

Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Gerçek Zamanlı Üstyapı Yönetim Sistemi Geliştirilmesi

Proje No: 108M052

Doç.Dr. Serdal TERZİ
Ahmet Gürkan GÜNGÖR
Dr. Emine Nazan ÜNAL
Prof.Dr. Mehmet SALTAN

Haziran 2011
ISPARTA

ÖNSÖZ

Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelere karayolu açısından özgü iki önemli sorun mevcuttur. Öncelikle sürekli artan bir taşıt sayısı ve buna bağlı olarak artmakta olan bir karayolu inşaatı ile yüzyüzedirler. İkinci sorun ise, bu artan karayolu ihtiyacına cevap verebilecek bütçenin mevcudiyetidir. Karayolu inşaatı belirli bir seviyeye ulaştığında ise, bu sefer artan bakım ve onarım ihtiyacına cevap vermek bir sorun haline gelecektir. Sınırlı bir bütçe içerisinde, karayolu üstyapısını belirli bir performans seviyesinde tutmak ve bunun için yapılması gereken bakım ve onarım çalışmalarının türünü ve zamanlamasını belirlemek üstyapı yönetim sisteminin oluşturulmasını zorunlu kılmaktadır.

Bu çalışmada, ülkemiz karayolları için bir üstyapı yönetim sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilecek olan bu sistemin, ülkemiz karayollarına özgü, esnek, güncel ve fonksiyonel olması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan performans ölçümleri ile tahribatlı ve tahribatsız testlerle yapılan ölçümler kullanılarak performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Ülkemiz için karayolu fayda ve maliyetler belirlenerek bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Tüm bu modellerin birlikte çalışacağı ve internetten veri girişi yapılabilecek bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı yazılmıştır.

Süleyman Demirel Üniversitesi ile Karayolları Genel Müdürlüğü çalışanları tarafından yapılan bu çalışma TÜBİTAK tarafından maddi olarak desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER LİSTESİ.....	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xvi
ÖZET.....	xvii
ABSTRACT	xviii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ	3
2.1. GİRİŞ.....	3
2.2. ÜSTYAPI YÖNETİMİNİN AMACI.....	5
2.3. AĞ DÜZEYİNDEKİ YÖNETİM	7
2.3.1. Üstyapı Envanteri ve Mevcut Durumu.....	7
2.3.2. Performans Tahmini	7
2.3.3. Bütçe Tahmini	17
2.3.4. Sınırlandırılmış B ve R Programı	17
2.3.5. Yıllık ve Uzun-Süreli İş Planları	18
2.4. PROJE DÜZEYİNDEKİ YÖNETİM.....	18
2.4.1. Geçmiş Veri Toplama	19
2.4.2. Tahribatsız Defleksiyon Testi.....	21
2.4.3. Tahribatlı Testler	28
2.4.4. Düzgünsüzlük (Roughness)	29
2.4.5. Kayma Direnci	34
2.5. ASFALT BETONU KAPLAMALI ESNEK ÜSTYAPILARDA OLUŞAN BOZULMALAR.....	41
2.5.1. Kırılma	42
2.5.2. Yama ve Oyuklar.....	46
2.5.3. Yüzey Deformasyonu.....	47
2.5.4. Yüzey Kusurları.....	48
2.5.5. Sökülme/Ayrışma.....	49
2.6. ASFALT ÜSTYAPILAR İÇİN BAKIM VE REHABİLİTASYON YÖNTEMLERİ.....	50
2.6.1. Sınırlandırılmış B ve R.....	51
2.6.2. Genelleştirilmiş B ve R.....	52
2.6.3. Ana B ve R.....	54
2.7. EKONOMİK DEĞERLENDİRME İLE BAKIM TAKVİMİNİN VE YÖNTEMİNİN BELİRLENMESİ	54
2.7.1. Temel Prensipler.....	55
2.7.2. Üstyapı Maliyetleri	56
2.7.3. Üstyapı Faydalarının Belirlenmesi.....	56
2.7.4. Üstyapı Projeleri için Kullanıcı Maliyetlerinin ve Faydalarının Ölçümü.....	57
2.7.5. Tasarım veya Analiz Periyodu	58

2.7.6. İskonto ve Faiz Oranı.....	58
2.7.7. Enflasyon.....	59
2.7.8. Kurtarılan veya Kalan Değer	59
2.7.9. Ekonomik Değerlendirme Metotları	59
2.7.10. Optimal Tasarım Stratejisinin Seçimi.....	64
2.8. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ LİTERATÜR TARAMASI	66
3. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ İÇİN VERİ TABANI OLUŞTURULMASI	81
3.1. KGM TARAFINDAN GELİŞTİRİLMİŞ VE TEST AŞAMASINDA OLAN CBS WEB ARA YÜZÜ	85
3.2. PROJE VERİ TABANININ WEB ARAYÜZÜ İLE KULLANIMA SUNULMASI	90
4. PROJEDE KULLANILAN VERİ TOPLAMA ARAÇLARI	94
4.1. TAHRİBATSIZ DENEYLER VE ALETLERİ	94
4.1.1. Üstyapı Defleksiyon Ölçüm Araçları.....	95
4.1.1.1. Ani Defleksiyon Ölçüm Araçları	96
4.1.1.2. Sürekli-Dinamik Defleksiyon Araçları	96
4.1.1.3. Statik Defleksiyon Araçları.....	97
4.1.2. LWD (Light Weight Deflectometer)	97
4.2. PROFİLOMETRE ÖLÇÜM CİHAZI	101
4.2.1. Profilometre Ölçüm Cihazının Sistemleri.....	105
4.2.2. Saha Ölçüm Programları.....	111
4.2.3. Analiz Programları.....	117
4.3. NÜKLEER YOĞUNLUK VE RUTUBET (NEM) ÖLÇÜMÜ	123
4.3.1. Beton ve Asfalt Kaplamaların Değerlendirilmesi.....	123
4.3.1.1. Lcn Testleri	123
4.3.1.2. Pcn Testleri.....	123
4.3.1.3. Yüzeysel Pürüzlülük Testleri	124
4.3.1.4. Tahribatsız Test Yöntemleri İle Yapılan Testler.....	124
4.3.2. Sıkışma Testleri.....	124
4.3.2.1. Troxler 3440.....	125
4.3.2.1.1. Geri Dağılım Modu	126
4.3.2.1.2. Doğrudan İletim Modu	127
4.3.2.1.3. Nem Algılama.....	128
5. ESNEK ÜSTYAPILARDA OLUŞAN BOZULMALAR, BAKIM VE REHABİLİTASYON	129
5.1. ASFALT BETONU KAPLAMALI ESNEK ÜSTYAPILARDA OLUŞAN BOZULMALAR.....	129
5.1.1. Kırılma	130
5.1.2. Yama ve Oyuklar.....	135
5.1.3. Yüzey Deformasyonu.....	135
5.1.4. Yüzey Kusurları.....	136
5.1.5. Sökülme/Ayrışma.....	137
5.2. SATHİ KAPLAMALI ESNEK ÜSTYAPILARDA OLUŞAN BOZULMALAR.....	138

5.2.1. Tekerlek izi oturması.....	138
5.2.2. Yama ve çukurlar	139
5.2.3. Yüzey hataları	139
5.3. ASFALT ÜSTYAPILAR İÇİN BAKIM VE REHABİLİTASYON YÖNTEMLERİ.....	140
5.3.1. Sınırlandırılmış B ve R.....	141
5.3.2. Genelleştirilmiş B ve R.....	142
5.3.3. Ana B ve R.....	143
6. ESNEK ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMLERİ	145
6.1 KARAYOLU ESNEK ÜSTYAPI DURUMLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	146
6.1.1 Üstyapı Durum Değerlendirmesi ile İlgili Genel Bilgi.....	146
6.1.2 Üstyapı Bozulmalarını Belirleme Yöntemleri	147
6.1.2.1. Fotoğrafik Gözlem Yöntemleri	148
6.1.2.2. Optik Gözlem	148
6.1.2.3. Bozulmaların Ölçülmesi.....	149
6.2. BAKIM İÇİN ÖNCELİK VE GEREKSİNİM DEĞERLENDİRİLMESİ	153
6.2.1. Bir Değerlendirme Sistemi Geliştirme.....	154
6.2.2. Önceliklerin Saptanması	155
6.3. YOL ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNİN YAPISI VE ÖZELLİKLERİ	155
6.4. YOL ÜSTYAPI BAKIM İŞLETİM SİSTEMLERİNDE VERİ TABANI (DATA BASE) KULLANIMI	157
6.4.1. Veri Bankasında Verilerin Referanslanması	158
6.4.2. ÜYS için Hazırlanan Bir Veri Bankasında Veri İçerikleri.....	159
6.4.3. Veri Bankasında Çıktı Ortamı	160
6.5. ÜSTYAPI PERFORMANSININ TAHMİN YÖNTEMLERİ	160
7. ESNEK ÜSTYAPILARDA KORUYUCU BAKIMIN OPTİMUM ZAMANLAMASI VE MALİYET ETKİNLİĞİ	162
7.1. BAKIM YÖNTEMLERİNİN OPTİMUM ZAMANLAMASI	162
7.2. EN UYGUN MALİYETLİ İYİLEŞTİRME YÖNTEMİNE KARAR VERMENİN ANALİZİ	164
7.2.1. Uygun Maliyeti Değerlendirme Teknikleri	165
7.2.2. Uygun Yöntem Seçeneklerinin Karşılaştırılması ve Analiz Edilmesi	165
7.3. MALİYET ETKİNLİĞİ	166
7.3.1. Bir Yöntemin Maliyet Etkinliğine Karar Verme	166
7.3.2. Faktörleri Seçme	167
7.4. EKONOMİK DEĞERLENDİRME	168
7.4.1. Temel Prensipler.....	168
7.4.1.1. Üstyapı Maliyetleri.....	169
7.4.1.2. Üstyapı Faydalarının Belirlenmesi.....	170
7.4.1.2.1. Taşıt İşletme Maliyeti (TİM).....	172
7.4.1.2.2. Zamanın Değeri	174
7.4.1.2.3. Trafik Kaza Maliyeti	175
7.4.1.3. Tasarım veya Analiz Periyodu	178

7.4.1.4. İskonto ve Faiz Oranı	178
7.4.1.5. Enflasyon.....	179
7.4.1.6. Kurtarılan veya Kalan Değer.....	179
7.4.2. <i>Ekonomik Değerlendirme Metotları</i>	180
7.4.2.1. Bir Değerlendirme Metodunun Seçiminde Temel Düşünceler	180
7.4.2.2. Eşdeğer Düzenli Yıllık Maliyet Metodu	181
7.4.2.3. Bugünkü Değer Metodu	181
7.4.2.4. Dönüş Oranı Metodu	183
7.4.2.5. Fayda-Maliyet Oranı Metodu.....	183
7.4.2.6. Maliyet Etkinlik Metodu	184
7.5. ÜSTYAPI SERVİS YETENEĞİ KAVRAMI.....	184
7.5.1. <i>Üstyapı Servis Yeteneği – Hız İlişkisi</i>	186
8. ARAZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	188
8.1. GİRİŞ.....	188
8.2. TAHRİBATSIZ DENEYLER VE ALETLERİ İLE ARAZİDE VERİ TOPLAMA İŞLEMLERİ.....	188
8.3. NÜKLER YOĞUNLUK ÖLÇER (RADYOAKTİF YÖNTEM) İLE ASFALT BETONU YOĞUNLUK TAYİNİ.....	195
8.4. KAYMA DİRENCİ VE SÜRTÜNME ÖLÇÜMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	201
8.5. TAHRİBATLI TEST YÖNTEMLERİNİN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	209
9. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ.....	216
9.1. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ İLE İLGİLİ TANIMLAMALAR	216
9.2. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN BİLEŞENLERİ.....	217
9.3. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİNİN FONKSİYONLARI	217
9.3.1. <i>Veri Girişi</i>	218
9.3.2. <i>Verilerin İşlenmesi</i>	218
9.3.3. <i>Yönetim</i>	219
9.3.4. <i>Sorgulama ve Analiz</i>	219
9.4. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ VERİ YAPISI	219
9.4.1. <i>Grafik Veriler</i>	220
9.4.2. <i>Grafik Olmayan Veriler</i>	220
9.4.3. <i>Coğrafi Verilerin Bilgisayarda Gösterimi (Veri Depolama Formatları)</i>	221
9.4.3.1. <i>Vektör Veri Yapısı</i>	221
9.4.3.2. <i>Raster (Hücreli) Veri Yapısı</i>	222
9.4.3.3. <i>Tablosal Veri Yapısı</i>	222
9.5. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİNDE YER ALAN VERİLER.....	223
9.6. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİNİN SAHİP OLMASI GEREKEN TEMEL ÖZELLİKLER	226
9.7. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ OLASI KULLANICILARI.....	227
9.8. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ UYGULAMA ALANLARI	228
9.9. COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNİN YARARLARI	229
9.10. ULAŞTIRMA MÜHENDİSLİĞİNDE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ KULLANIMI	231
9.10.1. <i>Geleneksel Veri Yönetimi Sistemi</i>	231

9.10.2. Veri İşlerliği	232
9.10.3. Gerçek Zamanlı (Real-Time) Coğrafi Bilgi Sistemi.....	235
9.11. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ KAYNAK ÖZETLERİ	237
9.12 İNTERNET ORTAMINDA COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ	246
9.12.1. Projede Web Ara Yüzünün Oluşturulmasında Kullanılan Aracı Yazılımlar	249
9.12.1.1. Geomedia Professional.....	249
9.12.1.2. Geomedia Web Map Professional.....	251
10. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ.....	255
10.1. BULANIK KÜMELER VE ÜYELİK DERECELERİ	255
10.2. ÜYELİK FONKSİYONLARI	258
10.3. BULANIKLAŞTIRMA	259
10.4. DURULAŞTIRMA.....	260
10.5. BULANIK KURALLAR VE SİSTEMLER	263
10.6. GRAFİK ÇIKARIM TEKNİKLERİ.....	263
11. YAPAY SİNİR AĞLARI METODU.....	265
11.1 BİYOLOJİK SİNİR HÜCRESİ.....	265
11.2. YAPAY SİNİR HÜCRESİ	266
11.1.1 Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar.....	266
11.1.1.1. Girdiler	266
11.1.1.2. Ağırlıklar	266
11.1.1.3. Toplam Fonksiyonu.....	267
11.1.1.4. Aktivasyon Fonksiyonu.....	267
11.1.1.5. Çıktılar.....	268
11.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı.....	268
11.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri	268
11.1.3.1. Doğrusal Olmama	269
11.1.3.2. Öğrenme	269
11.1.3.3. Uyarlanabilirlik	269
11.1.3.4. Hata Toleransı	269
11.1.4. Yapay Sinir Ağlarında Olumlu – Olumsuz Yönler.....	269
11.1.5. Ağ Eğitimi	270
11.1.5.1. Performans Fonksiyonu.....	271
11.1.5.2. Öğrenme Katsayısı	272
11.1.6.Yapay Sinir Ağlarında Sınıflandırma.....	272
11.1.7. Öğrenme Metotlarına Göre Sınıflandırma	272
11.1.7.1. Danışmanlı Öğrenme.....	272
11.1.7.2. Danışmansız Öğrenme	273
11.1.7.3. Takviyeli Öğrenme.....	273
11.1.7.4. Karma Öğrenme Metotları	274
11.1.8.Yapılarına Göre Sınıflandırma	274
11.1.8.1. İleri Beslemeli Ağlar	274

11.1.8.2. Geri Beslemeli Ağlar.....	275
12. GEN İFADE PROGRAMLAMA (GEP).....	276
13. ARAŞTIRMA BULGULARI	277
13.1. BİTÜMLÜ SICAK KARIŞIM KAPLAMALI İL VE DEVLET YOLLARI İÇİN BİLGİ SİSTEMİ OLUŞTURULMASI.....	277
13.2. PERFORMANS TAHMİN MODELLERİ	280
13.2.1. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Geliştirilen Modeller.....	283
13.2.2. Çoklu Regresyon Yöntemi ile Geliştirilen Modeller	286
13.2.3. Gen İfade Programlama Yöntemi ile Geliştirilen Modeller	288
13.2.4. Bulanık Mantık Yöntemi ile Geliştirilen Modeller.....	291
13.2.5. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Geliştirilen Performans Tahmin Modeli.....	301
13.2.5.1. Sonuçlar.....	308
13.2.6. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Geliştirilen Stabilitate Tahmin Modeli	309
13.2.6.1. Sonuçlar.....	311
13.3. OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI	312
13.3.1. Optimizasyon Çalışması ile Önceliklerin Belirlenmesi	312
13.3.1.1. Faydaların Belirlenmesi	312
13.3.1.2. Maliyetlerin Belirlenmesi.....	314
13.3.1.3. Amaç Fonksiyonu	315
13.3.1.4. Kısıtlar	316
14. CBS İLE TASARLANMIŞ ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ PLATFORMU	318
14.1. WEB TABANLI ARA YÜZ İLE VERİ GİRİŞİ	319
14.2. WINDOWS TABANLI ARA YÜZ İLE VERİLERİN GÖRÜNTÜLENİP İŞLENMESİ	324
14.3. SONUÇLAR.....	328
14.4. ÖRNEK ÇALIŞMA	329
14.4.1. Ağ Tanımı.....	330
14.4.2. Ağın Kesimlere Ayrılması	331
14.4.3. Veri Tabanı ve Veriler	331
14.4.4. Performans Tahmini	334
14.4.4.1. Gen İfade Programlama Yöntemi ile Geliştirilen Modeller.....	334
14.4.4.2. Çoklu Regrasyon Yöntemi ile Geliştirilen Modeller	336
14.4.5. Optimizasyon Çalışması ile Bakım ve Onarım Takviminin Belirlenmesi	338
14.4.5.1. CBS ile Optimizasyon Çalışması ile Bakım ve Onarım Takviminin Belirlenmesi	342
14.4.6. Sorgulamalar	352
14.4.7. Raporlamalar.....	353
14.4.8. Yardımcı Özellikler.....	353
14.4.8.1. Veri Tabanına Ait İstatistiksel Bilgiler	353
14.4.8.2. Tanımlama.....	355
14.4.8.3. Veri tabanı görüntüleme.....	355
15. SONUÇLAR	357

15.1. ÖNERİLER	359
KAYNAKLAR.....	360
TÜBİTAK	378

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Mevcut hizmet yeteneği indeksi (PSI) formu.	4
Şekil 2.2. Bir ÜYS' nin yapısı.....	6
Şekil 2.3. Bir üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi.....	8
Şekil 2.4. Lineer azalan tahmin modeli.....	9
Şekil 2.5. Örnek bir S şekilli eğri	13
Şekil 2.6. Üstyapı yaşının farklı noktalarında yığılımlı yoğunluk eğrisi.....	14
Şekil 2.7. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi	18
Şekil 2.8. DAD' nin şematik gösterimi (COST 337, 2000)	23
Şekil 2.9. Dynatest DAD.....	24
Şekil 2.10. KUAB DAD.....	24
Şekil 2.11. Kararlı tip vibratörün tipik dinamik kuvvet uygulaması.....	25
Şekil 2.12. Dynaflect.....	26
Şekil 2.13. Road Rater.....	27
Şekil 2.14. Benkelman Kirişi	28
Şekil 2.15. Enine ve boyuna profiller.....	30
Şekil 2.16. Hareketli filtre ortalaması	31
Şekil 2.17. Çeyrek Taşıt Modeli.....	32
Şekil 2.18. IRI ve Sürüş Sayısı ile Ortalama Panel Oranı (PSI) arasındaki ilişki.....	33
Şekil 2.19. Kayma direncinin mevsimsel değişimi	35
Şekil 2.20. Yol yüzey dokusunu açıklamada kullanılan terimler (Shahin, 2002).....	36
Şekil 2.21. Kilitli tekerlekli kayma treyleri.....	37
Şekil 2.22. Kaymanın bir etkeni olarak sürtünme katsayısı.....	38
Şekil 2.23. Yan kuvvet katsayısı olağan inceleme makinesi.....	39
Şekil 2.24. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme deneyi.....	40
Şekil 2.25. Esnek üstyapılarda çatlak genişliği ölçümü (SHRP, 1993)	42
Şekil 2.26. Timsah sırtı çatlak	42
Şekil 2.27. Blok kırılması.....	43
Şekil 2.28. Kenar çatlağı	44
Şekil 2.29. Tekerlek izinde orta önemde boyuna kırılma	44
Şekil 2.30. Yüksek önemde boyuna çatlak	45
Şekil 2.31. Yüksek önemde yansıma çatlağı.....	45
Şekil 2.32. Yüksek önemli enine kırılma	46
Şekil 2.33. Orta önemde yama	47
Şekil 2.34. Oyuklar.....	47
Şekil 2.35. Ondülasyon ve yığılma	48
Şekil 2.36. Yüksek önemde kumada açıkça görülen tekerlek izleri	49
Şekil 2.37. Cilalanmış agrega.....	49
Şekil 2.38. Sökülme örneği	50
Şekil 2.39. Ontario' da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri (Haas vd., 1994)	51
Şekil 2.40. Tam derinlikte yama	52
Şekil 2.41. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği	66
Şekil 3.1. Grafik ve Grafik Olmayan Veriler	81
Şekil 3.2. KGM Web Ara Yüzü Ana Sayfası (http://yol.kgm.gov.tr).....	86
Şekil 3.3 KGM Web Ara Yüzünde Zamana Göre Güzergah Belirleme	86
Şekil 3.4. KGM Web Ara Yüzünde Mesafeye Göre Güzergah Belirleme	87
Şekil 3.5. KGM Web Ara Yüzünde Harita Üzerinde Yakınlaştırma Seçeneği.....	88
Şekil 3.6 KGM Web Ara Yüzünde Harita Üzerinde Uzaklaştırma Seçeneği.	88

Şekil 3.7 KGM Web Ara Yüzünde Katman Belirleme	89
Şekil 3.8. KGM Web Ara Yüzünde Serbest Nokta Seçerek Yol Bilgisi Alma.....	90
Şekil 3.9. KGM Şubeler ve Genel Merkez Arasındaki Veri Paylaşım Ağı	91
Şekil 3.10. Tematik Haritalar Üzerinde Sorgulama ve Analizler	92
Şekil 3.11. Tematik Haritalar Üzerinde Sözelden Grafik Tabana Sorgulama	93
Şekil 4.1. Sürekli Vibratörlerin Tipik Dinamik Güç Çıktısı	97
Şekil 4.2. Light Weight Deflectometer	98
Şekil 4.3. LWDMod İle Alınmış Ölçüm Örneği	98
Şekil 4.4. LWDMod Ölçümünde Defleksiyonun Zamanla İlişisini Gösteren Grafik.....	99
Şekil 4.5. LWDMod Ölçümünde Yüzey Defleksiyon Modülü İle Düşen Ağırlık Arasındaki İlişkiyi Gösteren Grafik.....	99
Şekil 4.6. LWDMod Ölçümünde Normalize Edilmiş Defleksiyonu Gösteren Grafik.....	100
Şekil 4.7. LWDMod Ölçümünde Elastiklik Modülü Hesaplanması	100
Şekil 4.8. Profilometre Ölçüm Cihazı	102
Şekil 4.9. Boyuna Profil	102
Şekil 4.10. Enine Profil	103
Şekil 4.11. Geometrik Özellikleri (kurb yarıçapı, enine ve boyuna eğim)	103
Şekil 4.12. Makro Yüzey Dokusu	103
Şekil 4.13. Boyuna Profil	104
Şekil 4.14. Tekerlek izinde oturmasını (rutting),	104
Şekil 4.15. Kurb Yarıçapı ($r = v/\omega$).....	105
Şekil 4.16. Profilometre Ölçüm Cihazının Sistemleri.....	106
Şekil 4.17. Lazer Sensorlar	106
Şekil 4.18. Doku Lazer Sensorları	107
Şekil 4.19. GPS Küresel Konumlama Sistemi	107
Şekil 4.20. Araç İçindeki Veri Aktarım Sistemi	108
Şekil 4.21. Veri İşleme Sistemi	108
Şekil 4.22. Görüntü Sistemi	109
Şekil 4.23. Yüksek Çözünürlükte (HD) Kamera.....	110
Şekil 4.24. Mesafe Kodlayıcı	110
Şekil 4.25. RSP WIN.....	111
Şekil 4.26. IRI, Mesafe, Hız, Küresel Konum, Tekerlek İzinde Oturma, Geometrik Özellikler	112
Şekil 4.27. Makro Yüzey Dokusu, Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi, Tekerlek İzi.	113
Şekil 4.28. Veri Yakalama Uygulaması, Tüm Yazılım Uygulamaları, Donanımın Kontrol ve Koordinesi.	113
Şekil 4.29. Yüksek Çözünürlük Kamera İle Elde Edilen Gerçek Zamanlı Yol Yüzey Bilgilerinin Monitörde Gösterilmesi Ve Kaydedilmesi.	114
Şekil 4.30. Görüntünün Aktarılması	114
Şekil 4.31. Görüntünün İşlenmesi	115
Şekil 4.32. Gerçek Zamanlı Görüntünün Elde Edilmesi	115
Şekil 4.33. Profilometre Ölçüm Cihazı (Arka profilden).....	116
Şekil 4.34. Hareket Halindeki Profilometre Ölçüm Cihazı (Yan Profilden)	117
Şekil 4.35. Dynatest Explorer İle Analiz.....	118
Şekil 4.36. Dynatest Explorer	118
Şekil 4.37. Implex İle Analiz	119
Şekil 4.38. Implex İle Analiz	119
Şekil 4.39. Implex İle Analiz	120
Şekil 4.40. Multimedia Karayolu Enformasyon Sistemi (MHIS) Deluxe	120

Şekil 4.41. Multimedia Karayolu Enformasyon Sistemi (MHIS) Deluxe	121
Şekil 4.42. Google Earth'den Verilerin Aktarılması.....	121
Şekil 4.43. Verilerin İşlenmesi	122
Şekil 4.44. Troxler 3440.....	125
Şekil 4.45. Geri Dağılım	127
Şekil 4.46. Doğrudan İletim	128
Şekil 4.47. Nem Algılama	128
Şekil 5.1 Esnek üstyapılarda çatlak genişliği ölçümü (SHRP, 1993)	130
Şekil 5.2. Timsah sırtı çatlak.....	131
Şekil 5.3. Blok kırılması.....	131
Şekil 5.4. Kenar çatlağı	132
Şekil 5.5. Tekerlek izinde orta önemde boyuna kırılma	133
Şekil 5.6. Yüksek önemde boyuna çatlak	133
Şekil 5.7. Yüksek önemde yansıma çatlağı.....	134
Şekil 5.8. Yüksek önemli enine kırılma	134
Şekil 5.9. Orta önemde yama	135
Şekil 5.10. Oyuklar.....	135
Şekil 5.11. Ondülasyon ve yığılma	136
Şekil 5.12. Yüksek önemde kumada açıkça görülen tekerlek izleri	137
Şekil 5.13. Cilalanmış agrega.....	137
Şekil 5.14. Sökülme örneği	138
Şekil 5.15. Agreganın soyulması.....	139
Şekil 5.16. Tarak şeklinde boyuna çizgiler	140
Şekil 5.17. Ontario' da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri (Haas vd., 1994). ...	141
Şekil 6.1. Farklı bozulma ve müdahale düzeyleri arasındaki ilişki.....	154
Şekil 6.2 Üstyapı Yönetim Sistemi Çalışma Şeması (Haas, 1994).	157
Şekil 6.3. Bir Üstyapının Performans Eğrisi ve İyileştirme Seçeneklerinin Etkisi.....	161
Şekil 7.1. Toplam maliyetin süre ile ilişkisi (Türkyılmaz, 2007)	163
Şekil 7.2. Çeşitli bakım ve onarımın zamanlama ile ilişkisi (Türkyılmaz, 2007).....	163
Şekil 7.3. Bakım veya onarımın yaşlanma fonksiyonuna göre maliyeti (Türkyılmaz, 2007)	164
Şekil 7.4. Kaplama koşullarının zaman fonksiyonu ile çeşitlendirilmesi	166
Şekil 7.5. Ortalama Taşıt İşletme Maliyetleri	173
Şekil 7.6. Düzgünsüzlük ile hız arasındaki ilişki	187
Şekil 8.1. LWD ölçümleri	192
Şekil 8.2. Troxler 3440.....	196
Şekil 8.3 Asfalt betonu yoğunluk tayininin gerçekleştirilmesi	197
Şekil 8.4 Asfalt betonu yoğunluk tayininin gerçekleştirilmesi	197
Şekil 8.5. Radyoaktif yöntemle asfalt beton yoğunluğu tayini	198
Şekil 8.6. Kilitli tekerlekli kayma treyleri.....	202
Şekil 8.7. Kaymanın bir etkeni olarak sürtünme katsayısı	203
Şekil 8.8. Yan kuvvet katsayısı olağan inceleme makinesi.....	204
Şekil 8.9. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme deneyi.....	205
Şekil 8.10. Pandül ile asfalt betonu sürtünme ölçümlerinin gerçekleştirilmesi.	206
Şekil 8.11. Pandül ile asfalt betonu sürtünme ölçümlerinin gerçekleştirilmesi	206
Şekil 8.12. Asfalt karot numunelerin alınması	211
Şekil 8.13. Asfalt karot numunelerin alınması	211
Şekil 8.14. Marshall Stabilitate Test Cihazı.....	212
Şekil 8.15. Marshall Stabilitate Test Cihazı.....	212
Şekil 9.1. Coğrafi Bilgi Sisteminin temel fonksiyonları (Yomralıoğlu, 2000).	218

Şekil 9.2. Grafik ve grafik olmayan veriler.....	220
Şekil 9.3. Kent ölçeğinde coğrafi veriler.....	223
Şekil 9.4. CBS veri kaynakları.....	225
Şekil 9.5. Virtual Tourist (www.vtourist.com)	247
Şekil 9.6. İstanbul Şehir Rehberi.....	247
Şekil 9.7. İstanbul Kent Planı.....	248
Şekil 9.8. Geomedia Professional CBS yazılımı Ekran Görüntüsü	250
Şekil 9.9. Geomedia Web Servis Ekran Görüntüsü	253
Şekil 10.1. Klasik sistem.....	256
Şekil 10.2. Bulanık mantığın temel elemanları	257
Şekil 10.3. Bitişik dikdörtgen gösterim.....	258
Şekil 10.4. Örtüşmeli üçgen gösterimi	259
Şekil 10.5. İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi.....	260
Şekil 10.6. En büyük üyelik derecesi durulaştırması	260
Şekil 10.7. Sentroid yöntemi durulaştırması	261
Şekil 10.8. Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması	261
Şekil 10.9. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması	262
Şekil 10.10. En büyük alan merkezi ile durulaştırma	262
Şekil 10.11. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması.....	264
Şekil 10.12. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması.....	264
Şekil 11.1. Biyolojik sinir hücresinin yapısı (Öztemel, 2003).	265
Şekil 11.2. Yapay sinir hücresi (Öztemel, 2003).	266
Şekil 11.3. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları (Öncül, 2003)	267
Şekil 11.4. Bir yapay sinir ağı örneği (Öztemel, 2003).....	268
Şekil 11.5. İleri beslemeli üç katmanlı YSA (Bayır, 2006)	274
Şekil 12.1. Örnek bir ifade ağacı.....	276
Şekil 12.2. Karva dil örneği	276
Şekil 13.1. BSK Yol Bilgileri Giriş ve Düzenleme Ekranı	279
Şekil 13.2. BSK Kaplamalı Yolların Sorgulanması	279
Şekil 13.3. Geliştirilen ilk YSA mimarisi	284
Şekil 13.4. Geliştirilen ikinci YSA mimarisi	285
Şekil 13.5. Sekiz girdili modele ait sonuçlar.....	289
Şekil 13.6. Sekiz girdili modele ait eğitim seti grafiği.....	289
Şekil 13.7. Sekiz girdili modele ait test seti grafiği	290
Şekil 13.8. Tek girdili modele ait sonuçlar	290
Şekil 13.9. Tek girdili modele ait eğitim seti grafiği	291
Şekil 13.10. Tek girdili modele ait test seti grafiği	291
Şekil 13.11. Geliştirilen modelin mimarisi	292
Şekil 13.12. Üstyapı kalınlığı girdisine ait üyelik fonksiyonu	292
Şekil 13.13. T 8.2 girdisine ait üyelik fonksiyonu	292
Şekil 13.14. Maksimum kaplama yüzeyi sıcaklığı girdisine ait üyelik fonksiyonu.....	293
Şekil 13.15. Minimum kaplama yüzeyi sıcaklığı girdisine ait üyelik fonksiyonu	293
Şekil 13.16. Maksimum toplam sıcaklık girdisine ait üyelik fonksiyonu	293
Şekil 13.17. Maksimum nem TS girdisine ait üyelik fonksiyonu.....	294
Şekil 13.18. YMAX MİN SF MAX SFTS girdisine ait üyelik fonksiyonu.....	294
Şekil 13.19. YMAX KAR ORT TS girdisine ait üyelik fonksiyonu	294
Şekil 13.20. IRI çıktısına ait üyelik fonksiyonu.....	295
Şekil 13.21. Çözüm ekranı	295
Şekil 13.22. Eğitim seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı	296

Şekil 13.23. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki	296
Şekil 13.24. Test seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı	297
Şekil 13.25. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki	297
Şekil 13.26. Modelin yapısı.....	297
Şekil 13.27. T 8.2 girdisine ait üyelik fonksiyonu	298
Şekil 13.28. IRI çıktısına ait üyelik fonksiyonu	298
Şekil 13.29. T 8.2 ile IRI değeri arasındaki ilişki	298
Şekil 13.30. Örnek bir çözüm ekranı.....	299
Şekil 13.31. Eğitim seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı	299
Şekil 13.32. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki	300
Şekil 13.33. Test seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı	300
Şekil 13.34. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki	301
Şekil 13.35. Yapay Sinir Ağları modelinin yapısı	307
Şekil 13.36. Yapay Sinir Ağları modeli	307
Şekil 13.37. Model sonuçları.....	308
Şekil 13.38. Yapay Sinir Ağları modelinin yapısı	310
Şekil 13.39. Yapay Sinir Ağları Modeli.....	310
Şekil 13.40. Model Sonuçları.	311
Şekil 13.41. Hizmet yeteneği değerine göre taşıt işletme maliyetleri	313
Şekil 13.42. IRI Değerleri ve Bakım-Onarımda Öncelik Sıralaması (KGM, 2010).	317
Şekil 14.1. Coğrafi Bilgi Sistemi İş Akış Adımları.....	318
Şekil 14.2. CBS, Web Ara Yüzü İş Akış Adımları	319
Şekil 14.3. Web Uygulaması Akış Şeması.....	320
Şekil 14.4. Şube yönetici giriş ekranı.....	321
Şekil 14.5. Arama Kriterini Belirleme.	321
Şekil 14.6. Web Ara Yüzünde Kayıtların Listelenmesi	322
Şekil 14.7. Web Ara Yüzünde Listelenen Kayıtın Düzenlenmesi	323
Şekil 14.9. CBS, Web Ara Yüzü İş Akış Adımları	324
Şekil 14.10. Geliştirilen Windows ara yüzü yazılımının akış diyagramı	325
Şekil 14.11. Geliştirilen yazılımın akış diyagramı	326
Şekil 14.12 Geliştirilen Windows Ara Yüz yazılımının Ana Ekranı	327
Şekil 14.13. Geliştirilen Windows Ara Yüz yazılımının kullanıcı arabirimi	327
Şekil 14.14. Bakım ve onarım yöntemlerinin maliyet ve ilave ömürlerine ait kullanıcı arabirimi	328
Şekil 14.15. Kaza maliyetlerine ait kullanıcı arabirimi.....	328
Şekil 14.16. Örnek çalışmanın yapısı.....	329
Şekil 14.17. Örnek ağın haritası	330
Şekil 14.18. Örnek bölgedeki karayollarının kesimlerini gösteren harita.....	331
Şekil 14.19. Tabaka ekleme menüsü	335
Şekil 14.20. Gen İfade Programlama Yöntemiyle Gerçekleştirilen Performans Tahmini	335
Şekil 14.21. Çoklu Regrasyon Metoduyla Gerçekleştirilen Performans Tahmini	338
Şekil 14.22. Optimizasyon çözümü.....	339
Şekil 14.23. Yıllık bakım ve onarım yöntemleri ile toplam fayda ve maliyetler	339
Şekil 14.24. Farklı bütçe değerlerinin bakım ve onarım maliyetlerine etkisi	340
Şekil 14.25. Farklı bütçe değerlerinin kullanıcı faydalarına etkisi	340
Şekil 14.26. Faydalar ile maliyetler arasındaki ilişki	341
Şekil 14.27. 6.000.000 TL bütçe kısıtının kullanıcı faydalarına etkisi	341
Şekil 14.28. 6.000.000 TL'lik bütçenin bakım ve onarım maliyetlerine etkisi.....	342
Şekil 14.29. 2010 yılı için tahmin edilen IRI değerleri	343

Şekil 14.30. 2010 yılı için IRI değerleri 1,59 ile 1,80' arasında olan kesimler	344
Şekil 14.31. 2015 yılı için tahmin edilen IRI değerleri	345
Şekil 14.32. 2015 yılı için IRI değerleri 1,81'den büyük olan kesimler	346
Şekil 14.33. 2015 yılı için IRI değerleri 1,81'den büyük olan kesimlerin raporlanması	346
Şekil 14.34. 2020 yılı için tahmin edilen IRI değerleri	347
Şekil 14.35. 2025 yılı için tahmin edilen IRI değerleri	348
Şekil 14.36. 2030 yılı için tahmin edilen IRI değerleri	349
Şekil 14.37. 2030 yılı için IRI değerleri 2,13'den büyük olan kesimler	350
Şekil 14.38. 2010 yılı çalışma alanı yol kalınlıklarının grafikler ile görüntülenmesi	350
Şekil 14.39. Türkiye Karayolu Ağı yol kesimlerinin görüntülenmesi	351
Şekil 14.40. 2010 yılı çalışma alanı yol kesim uzunluklarının grafikler ile görüntülenmesi.	351
Şekil 14.41. Çalışma alanı yol inşaat tarihlerinin görüntülenmesi	352
Şekil 14.42. Örnek bir sorgulama ekranı kullanıcı ara birimi	353
Şekil 14.43. Örnek bir raporlama ekranı kullanıcı ara birimi	354
Şekil 14.44. İstatistik alt programı ekran görüntüsü	354
Şekil 14.45. Bir tanımlama örneği sonucu	355
Şekil 14.46. Öznitelik görüntüleme kullanıcı ara birimi	356

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Farklı üstyapı tipleri için performans eğrisi örnekleri	11
Tablo 2.2. Markov modeli için örnek durum ifadeleri	15
Tablo 2.3. Markov modeli için örnek geçiş olasılıklı matris	15
Tablo 2.4. Taşıt eşdeğerlik katsayıları	20
Tablo 6.1. Üstyapıların yüzey durumlarını kaydetme örnekleri	148
Tablo 6.2. Ontario' da sökölme miktarını belirlemek için kullanılan şiddet düzeyleri	150
Tablo 6.3. Ontario'da sökölme miktarını belirlemek için kullanılan yoğunluk sınıfları	151
Tablo 6.4. Belirli bozulmaların genel önemlerini (şiddet ve yoğunluk) saptamak	152
Tablo 6.5. Üstyapı durumuna göre değerlendirme sayısı	153
Tablo 6.6. ÜYS İçin Hazırlanan Bir Veri Bankasında Veri İçerikleri	159
Tablo 7.1. Koruyucubakım yöntemlerinin umulan ömür süreleri ve birim maliyetleri (Türkyılmaz, 2007).....	165
Tablo 7.2. Taşıt işletme giderleri (2005 yılı vergiler hariç) (Dolar-Taşıtkm)	173
Tablo 7.3. Yıllar itibariyle kaza sayıları ve bu kazaların nedenleri (KGM, 2009)	175
Tablo 7.4. 2009 Yılında kaza sayıları ve bu kazaların nedenleri (EGM, 2010).....	175
Tablo 7.5. Yol kusurlarına göre meydana gelen kaza sayıları ve kusur oranları	176
(EGM, 2010)	176
Tablo 7.6. Araç bazında poliçe üretimi ve hasar ödemeleri	177
Tablo 8.1. LWD ölçüm sonuçları.....	192
Tablo 8.2. Radyoaktif yöntemle asfalt beton yoğunluğu tayini deney sonuçları	198
Tablo 8.3. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme deneyi ölçüm sonuçları	207
Tablo 8.4. Marshall Stabilitesi ve Ultrases deney sonuçları	213
Tablo 13.1. Mevcut verileri.....	282
Tablo 13.2. İlk YSA model sonuçları	285
Tablo 13.3. İkinci YSA model sonuçları.....	286
Tablo 13.4. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları	287
Tablo 13.5. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları	287
Tablo 13.6. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları	288
Tablo 13.7. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları	288
Tablo 13.8. Geliştirilen modelin yapısı	288
Tablo 13.9. Ankara – Polatlı Devlet Yolu dilim sayısı ve uzunlukları (Komsa, 2010)	301
Tablo 13.9. Ankara – Polatlı yolu YOGT ve YOGATT sayım bilgileri (tş/gün) (Komsa, 2010)	302
Tablo 13.10. Model verileri.....	304
Tablo 13.11. Kaza maliyetleri (Tramer, 2010).....	313
Tablo 13.12. Dikkate alınan B ve R yöntemleri ve ilave ömür değerleri	314
Tablo 13.13. Bakım ve rehabilitasyon maliyetleri	315
Tablo 14.1. Geliştirilen modelin yapısı	334
Tablo 14.2. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları	336
Tablo 14.3. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları.....	336
Tablo 14.4. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları	337
Tablo 14.5. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları.....	337
Tablo 14.6. IRI Değerleri ve Bakım-Onarımda Öncelik Sıralaması (KGM, 2010).	344

ÖZET

Otomotiv teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ortaya çıkan karayolu üstyapılarında malzemelerin ihtiyacının artması, daha fazla kaynağın üstyapı bakım ve rehabilitasyon işlerine aktarılmasını zorunlu kılmıştır. Üstyapı yönetimi kavramı, mevcut kaynakların en iyi şekilde kullanımını sağlamak amacıyla ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır.

Bu çalışmada öncelikle, bir veri tabanı oluşturulmuş ve mevcut bilgiler bu veri tabanında toplanmıştır. Daha sonra Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) yaptığı ölçümler kullanılarak performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Bu modellerin geliştirilmesinde yapay sinir ağları, bulanık mantık ve gen ifade programlama yöntemleri kullanılmıştır. Performans göstergesi olarak IRI (International Roughness Index, Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi) seçilmiştir. Performans tahmin modelleme işi için farklı veri kullanılmıştır. İlk grup KGM'nin otoyollarından topladığı verilerdir. İkinci grup veriler ise KGM tarafından özel bir firmaya toplatılan ve trafiğin değişken olmadığı verilerdir. İlk grup veri kullanılarak geliştirilen modellerde yüksek tahmin başarısı elde edilmişken, ikinci grup verilerin kullanıldığı modellerde kabul edilebilir olmasına rağmen yüksek başarı elde edilememiştir.

Fayda/maliyet oranının belirlenmesinde, Karayolları Genel Müdürlüğü'nün maliyet ve fayda değerleri kullanılmıştır. Genetik algoritma yöntemi kullanılarak bir bilgisayar programı yazılmıştır. Geliştirilen modelin uygulanması ile, veri tabanından alınan bilgiler kullanılarak çok yıllık bakım ve rehabilitasyon programlaması, verilecek bütçe sınırı içinde yapılabilmektedir.

Geliştirilen modellerin bir üstyapı yönetim sistemine uyarlanması, Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) şube müdürlüklerinin veri girişi ve oluşturulacak bir merkezden analiz ve sorgulamaların yapılabilmesi amacıyla bir Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) yazılımı kullanılarak geliştirilen modeller bu platformda birleştirilmiştir. Bu yazılım, Üstyapı Yönetim Sistemi için gerekli olan, verilerin sisteme aktarılmasına, çözümlenmesine ve sonuçların gösterimi için çeşitli senaryoların uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Bu yazılım web ara yüzü ile Windows tabanlı ara yüz organize çalışacak şekilde ortak bir veri tabanına bağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Üstyapı yönetim sistemi, coğrafi bilgi sistemleri, fayda-maliyet analizi, performans tahmini

ABSTRACT

In parallel developments in automotive technology, the resulting increase in highway pavements were constructed in order to meet the need, more resources necessary the transfer of pavement maintenance and rehabilitation works. Pavement management concept was first laid out in the 1960s for the use of available resources to ensure that the best way.

In this study, firstly it was created a database and the data base of existing information was collected. Later, the General Directorate of Highways (KGM) measurements were made using the performance prediction models were developed. Development of these models was used the artificial neural networks, fuzzy logic and gene expression programming techniques. The IRI (International Roughness Index, International Index of Roughness) was selected as performance indicator. Different data models used to predict job performance. The first group collects data KGM freeways. The second group of data specific to a company confiscated by the KGM and the traffic is not variable data. While the first group of models was the success of the high estimate, the second group of models is not high success but they can acceptable.

Benefit/cost ratio in determining the values used for cost and benefit of the General Directorate of Highways. A computer program was written with using genetic algorithm. With the implementation of the developed model, the data base using the information received from a multi-year maintenance and rehabilitation programming will be done within the budget limit.

Adaptation of the models developed a pavement management system, the General Directorate of Highways (KGM), branch offices and created a centralized data entry and inquiries for the purpose of analysis in a Geographic Information Systems (GIS) software developed using this platform, combined models. This software is necessary for Pavement Management System, data is transferred to the system, is analyzed and the results for the representation allows the implementation of various scenarios. This software was organized web interface to work with the Windows-based interface is connected to a common data base. Windows-based applications such as performance prediction and optimizations using the current data perform real-time.

Keywords: Pavement management system, geographic information systems, benefit-cost analysis, performance prediction

1. GİRİŞ

Üstyapı yönetimi kavramı, mevcut kaynakların en iyi bir biçimde dağıtımını sağlamak amacıyla ilk olarak 1960'lı yıllarda ortaya atılmıştır. Otomobil teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ortaya çıkan karayolu ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen üstyapıların artması ve zamanla bozulmaya başlaması, daha fazla kaynağın üstyapı bakım ve rehabilitasyon işlerine aktarılmasını zorunlu kılmıştır.

İlk yıllarda üstyapı durumunu belirlemede kullanılan görsel değerlendirmeler, daha sonraki yıllarda yerini çeşitli tahribatlı deneylere bırakmıştır. Tahribatlı deneylerin zorluğu ve çeşitli sakıncaları nedeniyle, tahribatsız deneyler geliştirilmiş ve uygulanmaya başlanmıştır. Bu deneyler üstyapının taşıma gücü ve yapısal durumu hakkında fikir vermesine karşın, özellikle kullanıcıların sürüş konforunu yansıtan fonksiyonel durumu hakkında fikir verememektedir.

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

Sonraki yıllarda hizmet yeteneğinin üstyapı düzgünsüzlüğünün bir fonksiyonu olabileceği düşünülmüştür. Düzgünsüzlük ilk olarak AASHO profilometresi kullanılarak ölçülmüştür. Bu aygıt, birbirine çok yakın iki küçük tekerlek kullanılarak, tekerlek izindeki eğim değişiminin bir fonksiyonu olan pürüzlülüğü ölçmek için tasarlanmıştır. Sonuçta bunların birbirleri ile olan ilişkileri üstyapılarda ortalama panel oranları ve fiziksel ölçümlerle belirlenmiştir. Bunların ortalaması ile ölçümler arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir yöntem geliştirilmiştir. Daha sonra bu ilişki, hizmet yeteneği göstergesi olarak kullanılmıştır (AASHTO, 1962). Carey ve Irick, yüzey profili ve düzgünsüzlük bilgisinin, üstyapının hizmet yeteneği hakkında % 95 civarında bilgi verdiğini göstermiştir. Çatlak, tekerlek izi ve yama gibi diğer etkenlerin istatistiksel olarak önemli olduğu düşünülmesine karşın tahminlerde çok az etkisinin olduğu görülmüştür.

Proje düzeyindeki bu değerlendirmeler önceleri yeterli görülmesine karşın, gelecek yıllarda oluşacak kaynak ihtiyacının belirlenmesi ve detaylı planlamaların yapılabilmesi amacıyla ağ düzeyinde değerlendirmelere gereksinim duyulmuştur. Bu amaçla performans tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Belirli bir zaman için performans eğrileri kullanılarak tahmin yapılabilir. Performans tahmini için çeşitli modellerin geliştirilmesi üstyapı mühendisleri için önemli bir değişim olmuştur. Bir üstyapı ağındaki kesimler için, gelecek yıllardaki durumu tahmin etmek amacıyla, dikkate alınan ölçütlerdeki değişim oranını belirlemek gerekir. Ayrıca, bakım gereksinimlerini tahmin etmek için üstyapıdaki çatlak türü bozulmaların ölçüm değerlerindeki değişim miktarının tahmini de önemlidir.

Herhangi bir tahmin modeli için gereksinim duyulan temel bilgiler; bir veri tabanı, bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi, gerçek yol koşullarını dikkate alacak şekilde bir model seçimi ve ölçütlerin belirlenmesidir. Üstyapı durum tahmini için kullanılan modeller; lineer azalan tahmin modeli, regresyon (ampirik) modeli, mekanistik-ampirik model, en küçük kareler yöntemi ile polinom modeli, S-şekilli eğriler, olasılık dağılımı, Markov modeli ve özellikle son yıllarda yapay zekâ yöntemlerini de kullanan yeni modeller olarak sınıflandırılabilir.

Performans tahmininden sonra, üstyapı yönetim sistemi (ÜYS) oluşturulabilmesi için gereken en önemli bileşen, üstyapı bakım ve rehabilitasyon işlemlerinden hangisinin, ne zaman ve hangi üstyapı kesimine uygulanacağını belirlenmesidir. Artan karayolu ağı ve azalan kaynaklar, üstyapıda oluşan bakım ve rehabilitasyon ihtiyacının tüm ağa aynı anda uygulanamaması sorununu ortaya çıkarmıştır. Kullanıcılara maksimum faydayı sağlayacak olan yöntemin seçimi ve mevcut kaynakların optimum dağıtımını sağlamak için optimizasyon yöntemleri geliştirilmiştir. Bu yöntemler; eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi, bugünkü değer yöntemi, dönüş oranı yöntemi, fayda maliyet oranı yöntemi ve maliyet etkinlik yöntemi olarak gruplandırılabilir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile beraber son yıllarda bu yöntemlere yapay zekâ yöntemlerinden genetik algoritma yöntemi de eklenmiştir.

Bilgisayar programlarının gelişimi ile sağlanan görselliğin ÜYS' de kullanılma isteği, bu alanda Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) kullanımını beraberinde getirmiştir. CBS'nin planlamada kullanımı 1990'larda kaynaklarda görülmeye başlamıştır. Aynı tarihlerde bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve masaüstü bilgisayar sistemlerinin yaygınlaşması, CBS teknolojisinde de önemli miktarda gelişmeler olmasında etkin rol oynamıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), program, donanım, yardımcı araçlar ve kullanıcılardan oluşur. CBS, coğrafi olarak referansı olan mekânsal veriyi, doğal ve yapay çevre içinde yer kaplayan sabit ve dinamik varlıkların yerlerini, konumlarını, mekânsal etkileşimlerini ve coğrafi ilişkilerini belirleyerek bu verileri bilgiye çevirir. Bu sistemin getirdiği pek çok kolaylık bulunmaktadır ve bunlar mekâna, haritaya bağlı çalışan çoğu branşta kullanılmaktadır. CBS' nin kullandığı metodoloji, görüntülemek, çözümlemek ve çeşitli kontrol noktalarından anında alınan veriyi grafik diliyle sunmaktır. CBS ile, karayolu ağı bilgisayar ekranında görüntülenebilmekte, veri tabanı çözümlenebilmekte ve sonuçlar raporlanabilmektedir.

Bu çalışmada, üstyapı yönetim sistemi ve coğrafi bilgi sistemleri detaylı olarak anlatılmış ve her bölüm sonunda konu ile ilgili literatür taramasına yer verilmiştir.

2. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ

2.1.GİRİŞ

Kaplama tabakası içeren karayolu üstyapılarının 1800'lerde otomobilin icadı ile başladığı düşünülür. Ancak bu düşünce yanlıştır, çünkü dünyada karayolları su yolların dan sonra en eski geçmişe sahip ulaşım türüdür.

İlk gerçek yol inşaatı M.Ö. 3500 yılları civarında tekerleğin icadından sonra Mısır'da yapılmıştır. İlk yol inşaatlarının nüfusun çok olduğu medeniyetlerde başlaması sürpriz değildir. Çünkü yollar ve nüfus birlikte büyür.

Bilimsel anlamda ilk yolu inşa edenler ise Romalılardır. Via Appia veya Appian Yolu M.Ö. 312'lerde Romalılar tarafından yapılmıştır. En eski ve en ünlü uzun mesafeli karayolu (yaklaşık 2825 km uzunluğunda) Persler tarafından "Kraliyet Yolu" olarak isimlendirilmiştir.

Appian Yolu 0,9 ile 1,5 m kalınlığındaki üç tabakadan oluşmuştur. Tüm tabakalarda taşlar el ile yerleştirilmiştir. Bu yapım yöntemi McAdam'ın hafif üstyapı tabakası 19. yüzyılda yerini alıncaya kadar 2000 yıl boyunca standart uygulama haline gelmiştir (Haas and Hudson, 1978).

Sistematik bir biçimde üstyapı yönetiminin ilk ne zaman başladığını söylemek zordur. Birçok kişiye göre, Mühendislik İlkeleri kullanılarak uygulanan Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) 1956-1960 yıllarında AASHO Road Test ile başlamıştır. ÜYS, yol deneylerinde üstyapıların mevcut hizmet yeteneğinin (sürüş konforu) kullanılmasını da esas alır. O yıllarda sürüş konforunun nasıl tahmin edileceği ve bunun uygulayıcılar tarafından nasıl kullanılacağı önemli bir problem idi. Çözüm, Carey ve Irick tarafından 1960'da Highway Research Bulletin 250' de yayınlanan "The Pavement Serviceability-Performance Concepts," isimli çalışmada basitçe tanımlanmıştır. Önce bir grup yol kullanıcısı, seçilen bölgede sürüş kalitesini kendi düşüncelerine göre belirleyecekti. Sonra aynı yol kesiminde fiziksel ölçümler yapılacaktı. Üçüncü olarak ise fiziksel durum için sürüş kalitesi ile fiziksel ölçümler arasındaki ilişkiden cevaplar bulunacaktı. Yol deneylerinde birçok mühendis, 1 ile 5 arasındaki oranlarda (çok kötü, kötü, orta, iyi ve çok iyi), seçilen üstyapılar için bu tahminleri yaptı. Bu oran, Mevcut Hizmet yeteneği Oranı (Present Serviceability Rating (PSR)) olarak isimlendirilmektedir. Her bir kesim için bu oranlama yapıldıktan sonra üstyapının kabul edilebilir olup olmadığı

sorgulanmıştır. AASHTO Road Test'in kullandığı Mevcut Hizmet yeteneği İndeksi (PSI) formu Şekil 2.1'de görülmektedir.

Kabul edilebilir?		5		
Evet	☐		Çok İyi	
	☐	4		
Hayır	☐		İyi	
		3		

Bölüm Tanımı.....Oranda

Puanlayıcı.....Tarih.....Zaman.....Araç.....

Şekil 2.1. Mevcut hizmet yeteneği indeksi (PSI) formu.

Bir sonraki adım bu üstyapılarda gerekli fiziksel ölçümleri yapmaktır. Tekerlek izi, çatlama, oyuk ve sökölme gibi alışılmış bozulmalar ölçüldü. Çünkü hizmet yeteneğinin (sürüş konforu) üstyapı düzgünlüğünün bir fonksiyonu olabileceği varsayılıyordu. Bu özellik ayrıca AASHO profilometresi (Clhoe-Carey, Leathers, Huckins, vd. tarafından geliştirilen) kullanılarak da ölçüldü. Bu aygıt, birbirine çok yakın iki küçük tekerlek kullanılarak, tekerlek izindeki eğim değişiminin bir fonksiyonu olan düzgünlüğü ölçmek için tasarlandı. Sonuçta bunların birbirleri ile olan ilişkileri Illinois, Indiana ve Minnesota' daki üstyapılarda ortalama panel oranları (PSRs) ve fiziksel ölçümle belirlendi. Bunların ortalaması ile ölçümler arasındaki ilişkiyi belirlemek için bir yöntem bulundu. Artık bu ilişki, hizmet yeteneği göstergesi olarak kullanıldı. Carey ve Irick, yüzey profili ve düzgünlük bilgisinin, üstyapının hizmet yeteneği hakkında % 95 civarında bilgi verdiğini göstermiştir.

1970'de, FHWA ve Karayolu Araştırma Odası (şimdiki adıyla Ulaştırma Araştırma Odası) Texas Üniversitesinde bir çalıştay düzenledi. Bu çalıştay katılımcıları ulusal seviyede ilk kez üstyapı yönetimini ve potansiyel uygulamalarını tartıştı. Yine 1970'de Haas ve Hutchinson, Australian Road Research Board' da "karayolu üstyapısı için bir yönetim sistemi" isimli bir çalışma sundular.

1974'de the Washington State Department of Transportation (DOT) çeşitli bakım ve rehabilitasyon uygulamalarının farklı tipleri için modeller ve zamanlama önerilerine sahip aşamalı bir ÜYS ortaya koydu.

1977’de, Haas ve Hudson, “Üstyapı Yönetim Sistemleri (Pavement Management Systems)” isimli kitaplarının ilk baskısını yayınladılar.

1979’ da Hudson, Haas ve Pedigo tarafından “Üstyapı Yönetim Sistemi Geliştirilmesi” isimli NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) Report 215 yayınlandı ve bu raporda ÜYS’ nin geliştirilmesi için bir rehber oluşturulmasına çalışıldı.

1980’den beri ÜYS’ nin gelişmesi yönünde birçok çalışma yapıldı. International Conferences on Pavement Management isimli konferansın üçüncüsü gerçekleştirildi. The American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), "ÜYS için Yönerge (Guidelines for Pavement Management Systems)" isimli rehberi yayınladı (Finn, 1997).

2.2. Üstyapı Yönetiminin Amacı

Yol ağının uygun bir durumda olmasının ülke ekonomisindeki önemi yaygın olarak kabul edilen bir gerçektir. Karayolu ulaştırması, birçok ülkede ulaştırmanın en önemli modudur ve ekonomi için hayati önem taşır. ÜYS’nin temel amacı, şu soruyu cevaplamada karayolu yapımçı kuruluşlarına yardım etmektir:

Hangi bakım ve rehabilitasyon (B ve R) yöntemi ile, verilen kesin bütçe, nerede ve ne zaman gerçekleştirilebilir?

ÜYS, toplam ağ için en yüksek kârla sonuçlanacak B ve R ölçümlerinin (proje aşaması) bir listesini üretebilmektir. En iyi çözüm önerisi, yol ağının mevcut durumu hakkında verilerin sağlıklı bir biçimde elde edilmesine bağlıdır.

ÜYS aşağıdaki soruları cevaplamaya yardım edebilir:

-Mevcut bütçeye bağlı olarak, yol ağının standart üstyapısı gelecekte ne olacak?

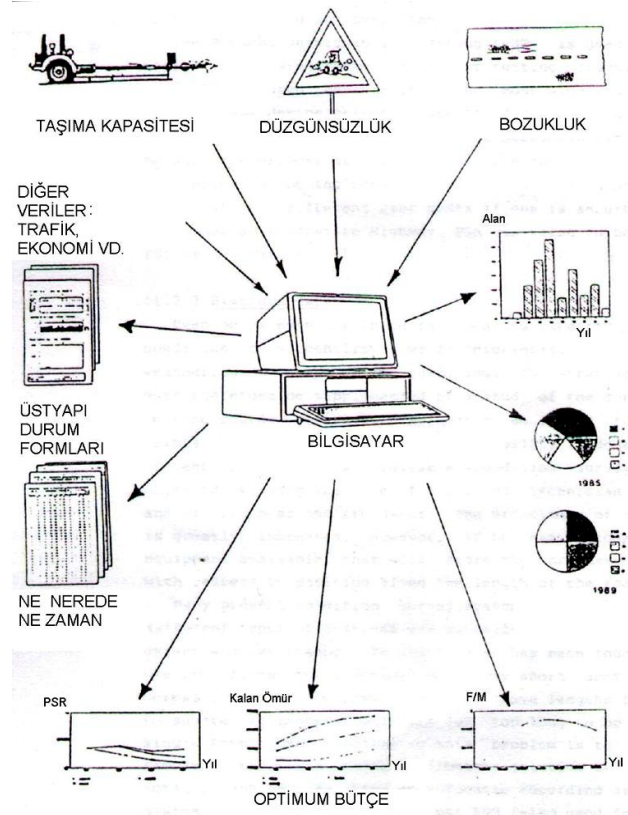
-Hangi B ve R stratejisi, yol üstyapısının korunmasında yapılacak yatırımların topluma en yüksek dönme oranıyla sonuçlanacak?

ÜYS bakım çalışmaları fon tahsisinden sorumlu olan yetkililer için olduğu kadar, yol ağının bakımından sorumlu karayolu mühendisleri için de yardımcı bir araç olabilir.

ÜYS, ağ aşamasında olduğu kadar proje aşamasında da gelecekteki yol durumunu tahmin etme yeteneğine sahiptir ve bütçenin optimum kullanımını sağlayacak B ve R ölçümlerini belirlemek amacıyla bir optimizasyon yöntemi içermektedir. Bu sistem tarafsız ölçme fonksiyonları ve yapısal yol karakteristiklerini temel almaktadır, fakat bunun yanında uygulayıcıların deneyim ve bilgisini birleştirmesine de olanak sağlar.

ÜYS, Taşıma Kapasitesi, Düzgünsüzlük, Bozukluk ve diğer veriler Üstyapı Durum Formlarında toplandıktan sonra Optimum Bütçeyi veren çözüm, bir bilgisayar yardımıyla yapılır. Sonuçta rapor ve grafikler oluşturularak bakım ve rehabilitasyon takvimi oluşturulur. Şekil 2.2’de şematik olarak bir ÜYS görülmektedir.

ÜYS, analizler için yoldan alınan verilerin toplanmasında veri akışını sağlar. Veri tabanı oluşturmada ve bilgisayardan veri elde etmede kullanılabilir (Ullidtz, 1987).



Şekil 2.2. Bir ÜYS' nin yapısı

ÜYS, Ağ Düzeyindeki Yönetim ve Proje Düzeyindeki Yönetim olmak üzere iki aşamadan oluşur.

2.3. Ağ Düzeyindeki Yönetim

2.3.1. Üstyapı Envanteri ve Mevcut Durumu

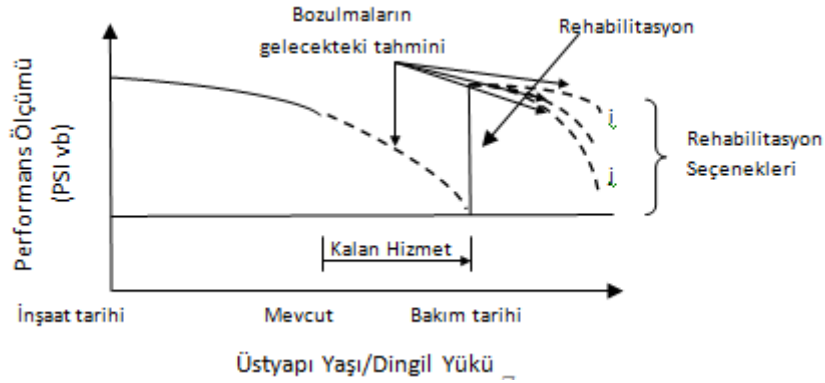
Üstyapı envanteri ve mevcut durumu, kullanılan üstyapının tanımı (karayolu, park alanı vb), tipi (esnek, rijit vb), fonksiyonel sınıfını, yaşını, en son incelemedeki durumunu (PSI, RN vb. ölçüm), bölgesini ve diğer etkenleri içermelidir. Böyle bir rapor üzerinde istenilen istatistik değerlendirmeler ve grafik gösterimler yapılabilir. Ayrıca kullanıcı isterse sorgulama yapabilmeli, sorgulama sonucunu rapor olarak alabilmelidir (Shahin, 2002).

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 önemlidir. Hemen kullanılmayacak, fakat gelecekte yarar sağlayacağı düşünülen verilerin ekonomik getirileri dikkatli bir biçimde düşünülmelidir. Çünkü gereksiz yere saklanan veriler ciddi veri kirliliğine neden olabilir (Ullidtz, 1987).

2.3.2. Performans Tahmini

Bütün üstyapılar aynı zamanda incelenemeyeceği için, yolun incelendiği tarihte veya daha sonraki bir tarih için üstyapı kesiminin durumunun tahmin edilmesi gerekebilir. Belirli bir zaman dilimi için performans eğrileri kullanılarak tahmin yapılabilir. Performans tahmini için çeşitli modellerin gelişmesi üstyapı mühendisleri için önemli bir değişim olmuştur. Bir üstyapı ağındaki kesimler için gelecek yıllardaki durumu tahmin etmek amacıyla, dikkate alınan ölçütlerdeki değişim oranını belirlemek gerekir (Shahin, 2002).

Şekil 2.3, bir üstyapı kesiminde gelecekteki bozulma durumuna göre bakım zamanını tahmin etmek için kullanılacak performans eğrisini şematik olarak göstermektedir. Ayrıca aynı şekil, bakım yılında uygulanan rehabilitasyon seçenekleri için bozulma modellerinin uygulamasını gösterir.



Şekil 2.3. Bir üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi

Herhangi bir tahmin modeli için temel gereksinim duyulan bilgiler şunlardır (Haas vd., 1994):

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

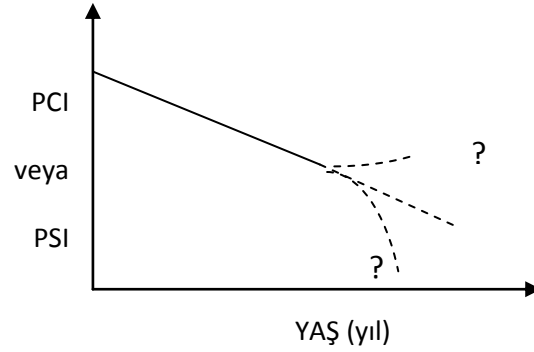
Üstyapı performans tahmini için kullanılan modeller aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

- a) Lineer azalan tahmin modeli,
- b) Regresyon (ampirik) modeli,
- c) Mekanistik-Ampirik model,
- d) En küçük kareler yöntemi ile polinom modeli,
- e) S-şekilli eğriler
- f) Olasılık dağılımı
- g) Markov modeli,
- h) Yapay zeka modelleri.

a- Lineer azalan tahmin modeli

En basit performans tahmin yöntemidir ve iki ölçüm noktasından azalan bir doğru ile gelecekteki durum tahmin edilir. Bu model, sadece tek bir kesim için uygulanabilir ve genelleştirilemez. Model, geçmişteki trafik yükleri ve bakım düzeylerinin gelecekte de değişmeyeceğini varsayar. İnşaattan sonra performans tahmini için en az bir ölçüm gerektirir. Bu model kısa zaman periyotları için (birkaç yıl) kullanılabilir, daha uzun periyotlar için

kullanılmamalıdır. Yeni yapılmış veya yeni bakımdan çıkmış kesimlerde kullanılamaz. Şekil 2.4, lineer azalan tahmin modelinin şematik bir gösterimidir (Shahin, 2002).



Şekil 2.4. Lineer azalan tahmin modeli

b- Regresyon (Ampirik) Modeli

Daha çok, üstyapı bozulmaları veya takviye tabakası tasarımı gibi durumlarda kullanılması faydalı olur. Bu tip modellere iyi bir örnek Querioz tarafından 1983’ de geliştirilen lineer elastik modeldir. Bu model ile düzgünsüzlük veya çatlak gelişimi kullanılarak çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir. Düzgünsüzlük için aşağıdaki eşitlik geliştirilmiştir (Haas vd., 1994):

$$\text{Log(QI)} = 1,297 + 9,22 \cdot 10^{-3} \text{ YAŞ} + 9,08 \cdot 10^{-2} \text{ ST} - 7,03 \cdot 10^{-2} \text{ RH} + 5,57 \cdot 10^{-4} \text{ SEN1 LogN} \quad (2.1)$$

Burada,

QI= Düzgünsüzlük (tekrar/km)

YAŞ= Üstyapının yaşı (yıl)

ST= Yüzey durumu (yeni inşa edilen üstyapı için 0, takviye edilmiş üstyapı için 1)

RH= Rehabilitasyon durumu göstergesi (yeni inşa edilen üstyapı için 0, takviye edilmiş üstyapı için 1)

SEN1= Asfalt tabakanın altındaki şekil değiştirme enerjisi (10^{-4} kgf cm)

N=Yığışımlı tek dingil yükü eşdeğeri (EDYS)

Bu eşitliğin regresyon katsayısı (R^2) 0,52 ve standart sapması 0,11'dir. Bir diğer tahmin eşitliği ise çatlak için önerilmiştir:

$$CR = -8,70 + 0,258 \text{ HST} \cdot \log N + 1,006 \cdot 10^{-7} \text{ HST} \cdot N \quad (2.2)$$

Burada,

CR= Üstyapı çatlak alanı yüzdesi,

HST=Asfalt tabakanın altındaki yatay gerilme

N=Yığışımlı tek dingil yükü eşdeğeri (EDYS)

Bu eşitliğin regresyon katsayısı (R^2) 0,54 ve standart sapması 0,154'tür.

Doğrudan regresyon, özellikle uzun süreli veri tabanını gerektirir. Örneğin, bozulma modeli geliştirmek için üstyapıya ait 25 yıllık veriler kullanılarak geliştirilmiş eşitlik ise;

$$RCI = -5,998 + 6,870 \text{ Log}_e (RCI_B) - 0,162 \text{ Log}_e (YAŞ^2 + 1) + 0,185 \text{ YAŞ} - 0,084 \text{ YAŞ} \text{ Log}_e (RCI_B) - 0,093 \Delta \text{YAŞ} \quad (2.3)$$

Burada,

RCI= Herhangi bir YAŞ'ta Sürüş Konforu İndeksi (0-10)

RCI_B = Bir önceki RCI

YAŞ=Üstyapının yaşı

$\Delta \text{YAŞ}$ =4 yıl

Bu eşitliğin regresyon katsayısı (R^2) 0,84 ve standart sapması 0,38'dir.

Benzer şekilde, Washington şehrinde uzun süreli üstyapı performansı veri tabanını esas alan eşitlik aşağıdaki şekilde geliştirilmiştir:

$$PCR = C - m * A^p \quad (2.4)$$

Burada,

PCR=Üstyapı Durum Oranlaması (0-100)

C= 100

M= Eğim katsayısı

A= Üstyapının yaşı, yıl

p= Bir sabit (eğrinin şekline göre)

Tablo 2.1’de farklı üstyapı tipleri için, eşitlik 2.4 kullanılarak oluşturulmuş standart performans eğrisi örnekleri görülmektedir (Haas vd., 1994).

Tablo 2.1. Farklı üstyapı tipleri için performans eğrisi örnekleri

Bölge	İnşaat tipi/ Üstyapı Yüzeyi	Analiz birimi sayısı	Performans eşitliği	PCR’nin 40 olacağı yaş
Washington	Yeni veya yeniden inşa edilmiş BSK	2	$PCR=100-0,086(YAŞ)^{2,50}$	13,7
	Yeni veya yeniden inşa edilmiş Asfalt Betonu	26	$PCR=100-0,22(YAŞ)^{2,00}$	16,5
	Yeni veya yeniden inşa edilmiş Beton yol	19	$PCR=100-0,85(YAŞ)^{1,25}$	30,1
	Yeniden kaplanmış/ Asfalt üzeri BSK	5	$PCR=100-8,50(YAŞ)^{1,25}$	4,8
	Yeniden kaplanmış / BSK üzeri BSK	6	$PCR=100-3,42(YAŞ)^{1,50}$	6,8
	Yeniden kaplanmış / Asfalt betonu takviye(1,2 inç’ten az)	75	$PCR=100-0,58(YAŞ)^{2,00}$	10,2

	Yeniden kaplanmış / Asfalt betonu takviye(1,2- 2,4 inç)	126	PCR=100- 0,76(YAŞ) ^{1,75}	12,1
	Yeniden kaplanmış / Asfalt betonu takviye(2,4 inçten fazla)	19	PCR=100- 0,54(YAŞ) ^{1,75}	14,8

c- Mekanistik-Ampirik Model

Mekanistik-ampirik yaklaşım ile modelleme, sadece üstyapının tepkisini (gerilme, şekil değiştirme ve defleksiyon) hesaplamak için kullanılabilir. Bu tepkiye genellikle trafik, iklim veya her ikisi birlikte neden olur. Gerilme ve şekil değiştirme hesaplaması için mekanistik modeller kullanılamayabilir, fakat hesaplamalardan sonra regresyon yöntemi kullanılarak performans tahmini yapılabilir. Bu nedenle yöntemin adı mekanistik-ampirik modeldir. Üstyapının yorulma ömrü için mekanistik-ampirik bir model örneği aşağıdaki gibidir:

$$N = A \left(\frac{1}{e} \right)^B \quad (2.5)$$

Burada;

N= yorulma ömrü

e= birim şekil değiştirme

A ve B= sabit

Bu tahmin modelinde birim şekil değiştirme (e), mekanistik olarak elde edilir. A ve B katsayıları ise regresyon yöntemi ile elde edilir (Shahin, 2002).

d- En Küçük Kareler Yöntemi ile Polinom Modeli

Bağımlı değişkenleri ($p'(x)$) (PCI veya düzgünsüzlük) bir x değişkeninin (yaş veya trafik) bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için kullanılan en iyi yöntemlerden biridir. Örneğin, PCI ve yaş arasındaki beklenen çok terimli eğri:

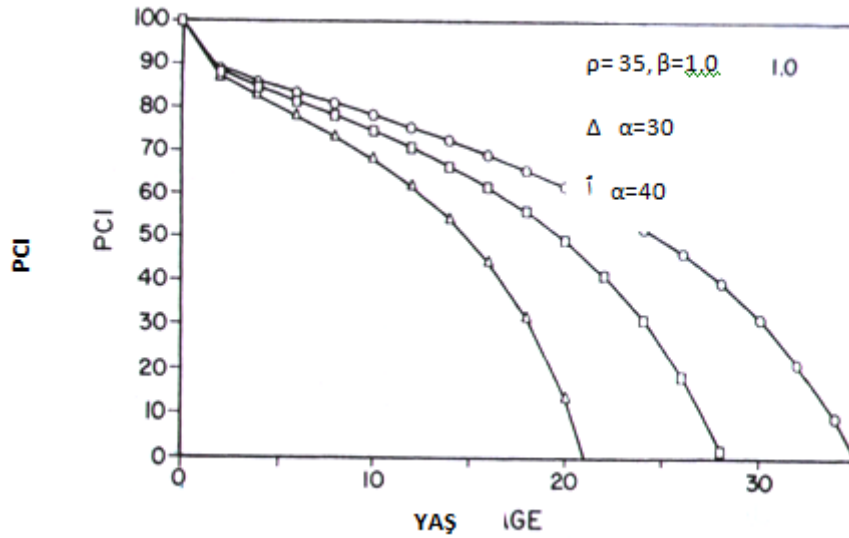
$$p'(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots + na_nx^{n-1} \quad (2.6)$$

e- S-Şekilli Eğriler

Polinom modele benzeyen S-şekilli eğri tekniği, üstyapı yaşı ile PCI ilişkisi için kullanıldığında daha iyi sonuç verir. Bu model aşağıdaki şekildedir:

$$PCI = \left(\frac{100 - \rho}{\ln(\alpha) - \ln(YAŞ)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (2.7)$$

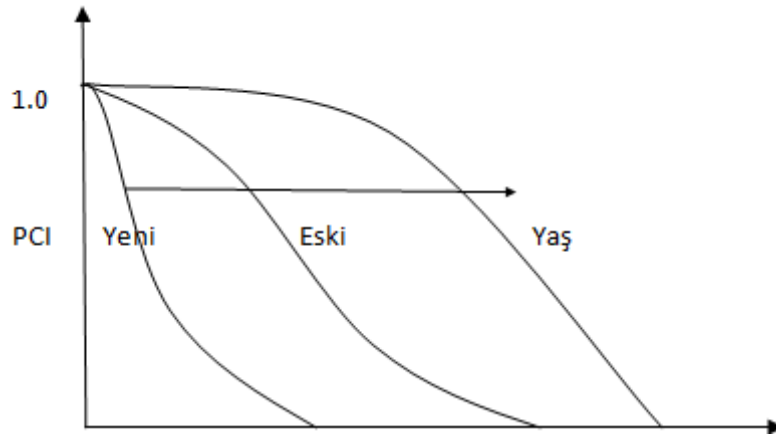
Burada, ρ , α ve β kısıtlardır. α kısıtı Şekil 2.5' de görüldüğü gibi PCI değerleri 0'a ulaşana kadar tüm yaş değerleri için PCI değerini tahmin eder. Bu üç kısıt, regresyon çözümlemesi ile belirlenir (Shahin, 2002).



Şekil 2.5. Örnek bir S şekilli eğri

f- Olasılık Dağılımı

Olasılık dağılımı, bir rasgele değişkenin alabileceği tüm değerler ile ilişkilendirilme olasılıklarını tanımlar. Örneğin, rasgele değişken PCI olarak seçilirse, olasılık yoğunluk fonksiyonu yığışımlı yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanabilir. Şekil 2.6, yığışımlı dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Şekildeki düşey eksen, belirli bir “PCI” değerine eşit veya daha az olma olasılığıdır. Bu şekil, seçilen PCI değeri için zamana bağlı olasılıkların “hayatta kalma eğrisini” göstermektedir. Bu teknik özellikle bireysel bozulma tahmini için yararlıdır (Shahin, 2002).



Şekil 2.6. Üstyapı yaşının farklı noktalarında yığışımlı yoğunluk eğrisi

g- Markov Modeli

Bu tip modellemede, Markov yönteminin tek adımlı geçiş olasılığı tekniği esas alınmıştır. Bu modelde, üstyapının gelecek durumu, elemanın mevcut durumundan tahmin edilir. Elemanın durumu, ölçümler ile belirlenir ve olasılık matrisi oluşturulur. Üstyapılar için durum ölçümü, düzgünsüzlük veya hizmet yeteneği, üstyapı durum indeksi, çatlak yüzdesi veya kayma direnci ölçümlerini içerir. Bu yöntemi kullanabilmek için, üstyapı durum ölçümlerinin aralığı tanımlanmalıdır. Tablo 2.2, her biri üç aşamalı iki durum ölçümüne (düzgünsüzlük ve yüzey bozulması) ait dokuz durum ifadesini göstermektedir (Haas vd., 1994).

Tablo 2.2. Markov modeli için örnek durum ifadeleri

Üstyapı Düzensüzlüğü	Yüzey Bozulması (çatlak alanı yüzdesi)		
	0-3	3-7	> 7
0-40	1	4	7
41-90	2	5	8
>90	3	6	9

Geçiş olasılıklı matris, gelecekte oluşabilecek bazı durumların olasılığını tanımlar. Tablo 2.3, Tablo 2.2’de tanımlanan dokuz durum için örnek bir geçiş olasılıklı matrislere bir örnektir. Çizelgede görüldüğü gibi, üstyapının büyük bir kısmı bir sonraki yıl yaklaşık aynı durumda olacaktır. Geçiş olasılıklı matrislerdeki özelliklerden biri de satırların toplamının 1’e eşit olmasıdır (Haas vd., 1994).

Markov modeli, mevcut şartlardan sadece bir tanesinin gelecekteki durumunu tahmin edebildiği için, üstyapı davranışını etkileyen diğer etkenler tek tek ele alınmalıdır. Bu etkenler (Haas vd., 1994):

1. Üstyapı tipi,
2. Üstyapı kalınlığı,
3. Trafik hacmi veya yükler,
4. Taban zemini tipi ve dayanımı,
5. Çevresel ve bölgesel etkenlerdir.

Tablo 2.3. Markov modeli için örnek geçiş olasılıklı matris

Başlangıç Durumu	Gelecekteki Durum								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,90	0,04	0,02	0,03	0,01	0	0	0	0
2	0,01	0,90	0,03	0	0,05	0,01	0	0	0
3	0	0,01	0,92	0	0,01	0,03	0	0,01	0,02
4	0	0	0	0,92	0,05	0,02	0	0,01	0
5	0	0	0	0,01	0,94	0,03	0,01	0,01	0
6	0	0	0	0	0,01	0,94	0	0,01	0,04

7	0	0	0	0	0,02	0	0,95	0,02	0,01
8	0	0	0	0	0	0	0,01	0,96	0,03
9	0	0	0	0	0	0,01	0	0,01	0,98

h- Yapay Zeka Modelleri

Yeni teknolojilerin üstyapı bakım işletiminde kullanımı her geçen gün artmaktadır. Uzman sistemler, insan deneyimlerini kullanan en yaygın yöntemdir. Bilgisayar teknolojisinin gelişmesiyle birlikte özellikle mühendislik uygulamalarında önemli bir uygulama alanı bulan yapay zeka yöntemleri performans tahmininde de kullanılmaktadır. Yapay zeka teknikleri genel olarak bulanık mantık, yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritma yönteminden oluşur (Sundin ve Braban-Ledoux, 2001).

Roberts ve Atttoh-Okine (1998), tekerlek izi, enine çatlak, blok kırılma ve eşdeğer dingil yükü sayısı (EDYS) verileri ile düzgünsüzlük indeksi (IRI) tahmini yapan iki farklı YSA modeli kurmuştur.

Owusu-Ababio (1998), YSA yöntemiyle, üstyapı yaşı, tabaka kalınlığı ve EDYS verilerini kullanarak çatlak genişliğini tahmin eden bir model geliştirmiştir.

Atttoh-Okine (1999), tekerlek izi, enine çatlak, blok kırılma ve eşdeğer dingil yükü verileri ile IRI tahmini yapan bir YSA modeli kurmuştur.

Atttoh-Okine (2001), yıllık ortalama günlük trafik (YOGT), eşdeğer dingil yükü, yaş, timsah sırtı çatlak, kenar çatlağı, çevre etkenleri, üstyapı kalınlığı, oyuk, tekerlek izi ve yama verileri ile IRI tahmini yapan bir YSA modeli kurmuştur.

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

veri madenciliği tekniğinin üstyapının mevcut hizmet düzeyi değerinin belirlenmesinde ve gelecek tahmininde çok sayıda veriyi süzerek rahatlıkla kullanılabileceğini göstermiştir.

Terzi (2007) çalışmasında, AASHO yol testi çalışmalarında geliştirilen PSI formülüne girdi teşkil eden ortalama eğim varyansı, üstyapı yüzeyindeki çatlak ve yama miktarı, tekerlek izi miktarı verilerini girdi kabul eden ve çıktı olarak PSR verilerini veren bir yapay sinir ağı modeli geliştirmiştir. Modelde AASHO formülü kullanılarak elde edilen PSI değerleri ile aynı kesime ait panel oranlamalarla uzman görüşlerini tasvir eden PSR değerleri karşılaştırılarak aralarındaki korelasyon belirlenmiş ve neticede, yapay sinir ağı kullanılarak oluşturulan modelin uzman görüşlerini, deterministik yaklaşımlara göre daha doğru yansıttığı ispatlanmıştır.

2.3.3. Bütçe Tahmini

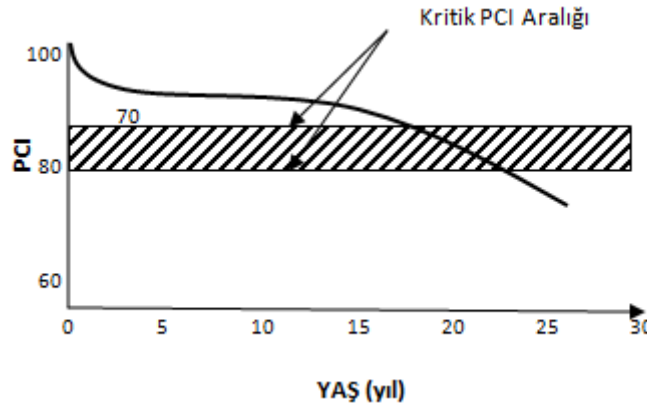
Üstyapıya belirli bir standardın üzerinde bakım ve onarım yapabilmek için gereken yıllık bütçenin tahmin edilmesi gereklidir. Bütçe tahmini yapıldığında, farklı senaryolar analiz edilebilir. Böyle bir rapor, üstyapı performansını belirli bir düzey üzerine getirebilmek için gereksinim duyulan ana Bakım ve Rehabilitasyon (B ve R) uygulamalarının gerektirdiği bütçe gereksinimlerini içerir. Bu maliyet, birim B ve R maliyeti ile yol üstyapı kesimi alanının çarpılmasıyla tahmin edilir. Kullanıcı, birim B ve R maliyeti ile enflasyon oranı arasındaki ilişkiyi mutlaka tanımlamalıdır.

2.3.4. Sınırlandırılmış B ve R Programı

Sınırlandırılmış B ve R programı, mevcut üstyapı bozulmaları ve B ve R için kurumun politikalarını esas alır. Sınırlı bütçe nedeniyle ağda bulunan ve bakım veya onarıma gereksinim duyan kesimlerin tamamına ödenek ayrılamayabilir. Bu gibi durumlarda B ve R uygulamalarını sınırlandırmak gerekir. B ve R farklı koşullarda ve farklı kullanıma açık üstyapılar için birden fazla sınırlandırılmış B ve R programı geliştirilmesi önerilmektedir. Örneğin, iyi durumdaki üstyapılar geciktirici B ve R için daha kapsamlı ölçüm gerektirebilir. Daha kötü durumdaki bir üstyapı için aynı politikanın uygulanmasının getireceği maliyet gerçekçi olmayacaktır.

2.3.5. Yıllık ve Uzun-Süreli İş Planları

Yıllık ve uzun süreli B ve R iş planları için, kritik durum (PCI veya diğer göstergeler) kavramı kullanılır. Kritik PCI süreci, kritik PCI değerinin üzerindeki üstyapıları korumak için daha ekonomiktir. Bu yöntem, dinamik programlama, ağ optimizasyon çözümlemesi sonuçları ve birçok projedeki ömür döngüsü (life-cycle) maliyet analizleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bir kritik PCI, zamanla PCI kaybındaki artış oranı olarak tanımlanır. Şekil 2.7, 55 ile 70 arasındaki alışlagelmiş kritik PCI aralığını gösteren örnek bir bozulma eğrisinin şematik gösterimidir (Shahin, 2002).



Şekil 2.7. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi

Üstyapı davranışı, tepkisi, performansı, bozulması veya gerçek ölçümlerle tahminlerin karşılaştırmasını yapılabilmesi için bazı ölçütler koymak gereklidir. Örneğin, PSI için minimum kabul edilebilir değer 2,0 olarak alınırsa, herhangi bir kesimde PSI değeri 2,0'ye eşit veya daha az olduğunda mevcut bir bozulma olduğu veya “bakım zamanının” gelmiş olduğu anlaşılır. 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 (Haas vd., 1994).

2.4. Proje Düzeyindeki Yönetim

Proje Düzeyindeki Yönetim, proje düzeyindeki araştırmaların yürütülmesini ve bir proje için en iyi bakım ve rehabilitasyon seçeneğinin seçimini sağlar. Proje düzeyi değerlendirmeleri, B

ve R projesi için planlar hazırlanmadan önce yapılır. Proje düzeyinden elde edilen üstyapıya ait veriler B ve R tasarım sürecinde kullanılacaktır (Shahin, 2002).

Proje Düzeyindeki 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 yapılabileceği gibi sadece bir tanesi de yeterli olabilir.

2.4.1. Geçmiş Veri Toplama

a) İnşaat ve Bakım Tarihi

Üstyapının inşaat ve bakım tarihinin bilinmesi proje gelişimi için çok önemlidir. İnşaat ve bakımın tarihsel verileri şunları içerir:

- Üstyapı yapımı ve orijinal inşaat tarihi,
- Sonradan yapılmış herhangi bir takviye tabakasının kalınlığı ve tarihi,
- Derz ve çatlak doldurma uygulaması ve yama gibi bakım uygulamalarının tarihi,
- Herhangi bir inşaat evresinde kullanılan malzemelerin özellikleri.

Herhangi bir kesimde daha önce ne yapıldığı ve ne yapılmadığı hakkındaki eski bilgileri elde etmek gereklidir.

b) Trafik Kayıtları

Trafik kayıtları, hem mevcut hem de gelecekteki trafik beklentilerini içerir. Doğru bir trafik kaydı, etkili bir bakım ve rehabilitasyon (B ve R) tasarımı yapılması için gereklidir (Shahin, 2002). Trafik kayıtları hem yıllık ortalama günlük trafik (YOGT) hem de eşdeğer dingil yükü sayısı (EDYS) olarak veri tabanına kaydedilebilir.

Eşdeğer standart dingil yükü, taşıt eşdeğerlik etkenleri kullanılarak hesaplanır. Taşıt eşdeğerlik etkenleri, projesi yapılacak yolu karakterize eden lodometre çalışması ve dingil yükü etütleri sonucunda çıkacak dingil yükü dağılımı ve dingil eşdeğerlik etkenleri kullanılarak hesaplanır. Lodometre çalışmasının mümkün olmadığı hallerde Tablo 2.4'de verilen taşıt eşdeğerlik etkenleri kullanılır. Bu çizelgede, dört çeşit taşıt grubu için değişik

trafik kategorilerine göre, etütler sonucunda hesaplanmış, ortalama eşdeğerlik etkenleri verilmektedir (KGM, 2001).

Tablo 2.4. Taşıt eşdeğerlik katsayıları

Taşıt Grubu	Taşıt Eşdeğerlik Katsayıları
Treyler	4,40
Kamyon	2,80
Otobüs	3,90
Otomobil	0,0006

c) Proje Seviyesi Üstyapı Durum İndeksi (PCI) Denetimi

Proje düzeyi denetiminin sonuçları bir kesimin ayrıntılı çözümlemesinde kullanılacağı için, kesim PCI değeri (veya PSI veya RN değeri), bozulma tipi, önemi ve miktarının belirlenmesinde hassas davranılmalıdır. Çünkü bu değerlere göre, B ve R takvimine alınacak kesimler belirlenecek ve bütçe gereksinimleri tahmin edilecektir. (Shahin, 2002).

d) Drenaj

Drenaj yapılarının durumu ve drenaj için üstyapı kesiminin tamamının drenaj açısından yeterliliği, ayrıntılı bozulma incelemesi esnasında mutlaka araştırılmalıdır (Shahin, 2002).

İncelenecek özel hususlar şunlardır:

1. Drenaj yapısı tasarlandığı gibi mi?
2. Kanallar ve hendekler temiz ve eğimi uygun mu?
3. Kaplamada su tutuluyor mu?

e) Sıcaklık

Sıcaklık; asfalt betonu kaplamalı üstyapıda sıcaklığın artışına bağlı olarak kalıcı deformasyon oluşumu ve alttemel malzemesinin donma ve çözülme etkisi ile bozulmasına neden olur. Üstyapı davranışı ve performansını etkileyen sıcaklık şartları üç tür bozulmaya neden olur:

1. Karıştırma ve yerleştirme esnasındaki yüksek sıcaklık dayanımı etkiler,
2. Servise açık üstyapıdaki orta sıcaklık stabiliteyi etkiler. Ayrıca tekrarlı yükler altındaki üstyapıda kalıcı deformasyona ve yorulma çatlaklarının oluşumuna neden olur.

3. Hizmete açık üstyapıdaki düşük sıcaklık üstyapıda büzülme çatlaklarına neden olur.

2.4.2. Tahribatsız Defleksiyon Testi

Servise açık bir üstyapının yapısal durumunu belirlemek için mevcut en güvenilir yöntemlerden biri, tahribatsız deney yöntemlerini (Nondestructive Deflection Testing-NDT) kullanmaktır. NDT, tahribatlı deneylere göre iki önemli faydaya sahiptir. Birincisi, tahribatlı deneyler üstyapıya zarar verir veya deney için üstyapı malzemesinin çıkarılmasını gerektirir. Oysa NDT üstyapıya zarar vermeden üstyapının değerlendirilmesini sağlar. İkinci faydası ise, tahribatlı deneylere göre trafiğin daha az kesintiye uğraması ve ucuz olmasıdır. Tabaka elastisite modülünün doğru bir şekilde geri hesaplanması için tabaka kalınlığının karot alınarak belirlenmesi önerilir. Ancak genellikle, bu gereksinim çok az ortaya çıkar.

Tahribatsız defleksiyon deneyi (NDT), proje çözümlemesi için değerli bilgileri içerir. NDT donanımlarının bir çok tipi mevcuttur. NDT sonuçları, esnek üstyapılarda aşağıdaki bilgileri belirlemede kullanılır:

- Yapısal tabakaların herbirinin elastiklik modülü,
- Üstyapı yapısal yeterliliği,
- Takviye tabakası kalınlık tasarımı,
- Hem trafiğe açık hem de açık olmayan alanlar için defleksiyon profili,
- Kalan yapısal ömür (Shahin, 2002).

Üstyapı durumunu belirleme çalışmalarında tahribatsız deneylerden elde edilen defleksiyon verileri; öncelikle kabaca üstyapının yapısal durumunu anlamak için aynı noktada belli aralıklarla ölçüm yapılarak üstyapının zamanla geldiği noktanın belirlenmesi, ya da üstyapı tabaka karakteristiklerinin ölçülmüş defleksiyon verileri yardımıyla belirlenmesi şeklinde kullanılmaktadır (Saltan, 1999).

NDT verileri, en iyi bakım ve rehabilitasyon (B ve R) seçeneğinin seçimi için bozulma incelemesinden elde edilen bilgilerle ilişkilendirilebilir. NDT, eğer gerekirse karot ve malzeme örnekleme için seçilecek bölgedeki tahribatlı deney için de ön bilgi verebilir.

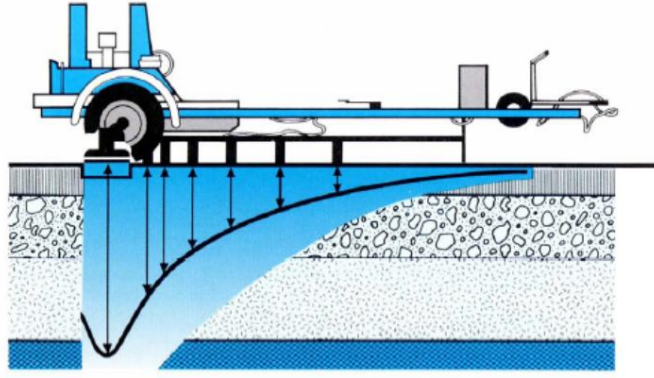
İtmeli Defleksiyon Ekipmanı

Bu bölümde açıklanan itmeli defleksiyon donanımı, “Düşen Ağırlıklı Deflektometre (Falling Weight Deflectometer)” dir. Bir kılavuz sistem ile bir kütle (düşen ağırlık) vasıtasıyla güç uygulanmasıdır. Bu kütle, önceden belirlenmiş bir veya daha fazla ağırlık şeklinde olabilir. Yük yaklaşık yarım sinüs dalgası şeklinde üstyapıya iletilir. Yük darbe şekli ve süresi defleksiyon miktarı üzerinde büyük etki yapar.

Düşen Ağırlıklı Deflektometre (DAD)’nin temel faydaları şöyle özetlenebilir:

- En büyük avantaj; tahribatsız olarak deney yapabilmesidir.
- Bir iş gününde 200-300 deney uygulayabilecek kadar basit ve hızlıdır.
- Esnek ve rijit üstyapılar için kullanılabilir.
- Yükün uygulandığı noktadaki maksimum defleksiyonla birlikte farklı mesafelerdeki defleksiyonları da elde etmek mümkündür.
- DAD; yük büyüklüğünü ve ağır araçların yükleme sürelerini simule edebilecek şekilde dizayn edilmiştir.
- Sadece bir kişiyle bile deney uygulanabilir.
- Ağır yükler uygulanabilir.
- Üstyapının aynı kesimine pek çok kez DAD deneyi uygulanarak zamanla durumunun gelişmesi hakkında doğru bilgi elde edilebilir.
- Bir üstyapının malzeme özellikleri hakkında bilgi edinilebilir (Saltan, 1999).

Günümüzde, mevcut defleksiyon deney aygıtlarının birçok farklı tipleri vardır. Bu aygıtlar, itme (impulse), kararlı tip dinamik ve statik olmak üzere yükleme modu esas alınarak gruplandırılabilir. İtmeli tahribatsız deney aygıtları, yakın zamanda geliştirilmiştir ve hareketli bir tekerlekten elde edilen yükü en iyi simule eden aygıtlardır. Düşen ağırlıklı defleksiyon ölçer (Falling Weight Deflectometer-DAD) cihazının şematik gösterimi Şekil 2.8’de görülmektedir.



Şekil 2.8. DAD' nin şematik gösterimi (COST 337, 2000)

İtmeli aygıtlar, kullanılan sisteme bağlı olarak 1360,8 ile 2268 kg (3000 ile 50000 lb) arasında yük uygular. İtmeli defleksiyon aygıtları düşük statik ön yüklere sahiptir. Bu ön yük, aygıtla bağlı olarak birkaç yüz ile birkaç bin pound (1 pound 453,6 gr) arasında değişebilir. Yüksek ön yükün olumsuz etkisinden kaçınılmalıdır. Üç farklı itmeli yük aygıtı vardır: Dynatest DAD, Phoenix DAD ve KUAB DAD.

(a) Dynatest (Şekil 2.9), bir treylere monte edilmiş bir sistemdir ve standart boyutta bir otomobil ile çekilebilir. Düşme yüksekliği ve ağırlık miktarının değişmesi ile, güç büyüklüğü 680,4 ile 10886,4 kg (1500 ile 24000 lb) arasında değişebilir. Yeni modeller, 22680 kg (50000 lb) üzerinde yük uygulayabilmektedir. Bu sistem, tetikleme bölgesinin elle değiştirilmesine gerek bırakmadan dört düşme yüksekliğine sahiptir. Düşen ağırlığın büyüklüğü değiştirilerek yaklaşık bir yarım sinüs dalgası şeklinde bir yük etkisi üretilir. Bu yükleme, 30 cm (11,8 inç) çaplı bir yükleme plağı ile üstyapıya iletilir ve yükün büyüklüğü transdüserler yardımıyla ölçülür. Ayrıca bu aygıt 45 cm (17,7 inç) çaplı bir yükleme plağı da içerir (Shahin, 2002).

Defleksiyonlar, bir çubuğa monte edilmiş transdüserler kullanılarak ve yükleme plağı üstyapı yüzeyine otomatik olarak düşürülerek ölçülür. Bir transdüser, yükleme plağının merkezine yerleştirilir. Sensörlerden elde edilen veriler ve tüm işlemler taşıta yerleştirilen bir bilgisayarda toplanır.



Şekil 2.9. Dynatest DAD

(b) Phoenix DAD, Dynatest'e benzer, ayrıca yük tek bir kütle düşürülerek elde edilir. Kullanımı Dynatest ve KUAB kadar yaygın değildir.

(c) KUAB DAD, Şekil 2.10' da görülen iki kütleli yük uygulama sistemini kullanır. Tek kütleli sistemde, bir kütle üstyapı yüzeyine yük uygulayan kauçuk tamponlara düşürülür. İki kütleli sistemde, bir kütle ikinci kütle (orta kütle) yük aktaran kauçuk tamponlara düşürülür. KUAB, kullanılan modele bağlı olarak 1360,8 ile 29937 kg (3000 ile 66000 lb) arasında değişen bir yük etkisi üretir. Yükleme plakları, 30 ile 45 cm (11,8 ile 17,7 inç) çaplarındadır. Bu yükleme plakları parçalıdır.



Şekil 2.10. KUAB DAD

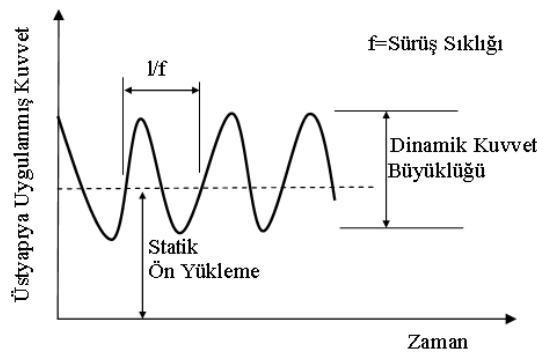
Tam sismik transdüserler kullanılarak defleksiyonlar ölçülürken, bir yükleme ünitesi ile yük darbesi ölçülür. Bir sismometre, yükleme plağının merkezine yerleştirilir. Diğer sismometreler, bir çubuğa monte edilir ve otomatik olarak yükleme plağı ile üstyapı yüzeyine düşürülür. Yük ünitesi ve sismometrelerden alınan sinyaller, aygıtın tüm işletimini de kontrol eden, taşıta yerleştirilen bir bilgisayarda toplanır (Shahin, 2002).

Sonuçta, hareket eden bir taşıt tekerleğinin üstyapıya uyguladığı yükü en yakın şekilde simule eden bir yük darbesi üretecek deney donanımını kullanmak arzu edilir. Yükleme büyüklüğü değiştirilmek suretiyle uçak ve ağır kamyon yüklerine kadar her türlü araç yükü simule edilebilmektedir. Üstyapının yük-defleksiyon ilişkisi doğrusal olmadığı için hafif yüklemeler uyarı düzeyinde değerlendirilebilir. Hafif yükler, üstyapının ağır yükler altındaki gerçek davranışını veremeyebilir.

Kararlı Tip Dinamik Defleksiyon Ekipmanı

Kararlı tip dinamik defleksiyon aygıtları, tüm benzer işletme tarzlarını kullanır. Üstyapıya büyük bir statik ön yükleme uygular ve dinamik güç üreticisi ile sinüzoidal vibrasyon üretilir. Dinamik güç üreticisi, elektro-mekanik ve elektro-hidrolik olarak sınıflandırılabilir. Elektromekanik sistem, titreşimli yük sağlamak için dönen bir kütleyi kullanır. Elektrohidrolik sistem ise, servo kontrollü hidrolik aktivatör ile yukarı ve aşağı hareket eden bir kütleyi kullanır. Elektrohidrolik sistem, elektro mekanik sistemden daha ağır yükler uygulayabilir.

Şekil 2.11, tipik yükleme şeklini gösterir. Tepeden tepeye genişlik, statik kuvvetten daha az olmalıdır. Aksi taktirde, aygıt üstyapı yüzeyinden zıplayıp çıkar. Birçok kararlı tip vibrasyon aygıtı, farklı yük büyüklükleri üreterek, dalga genişliği ve sıklığının değişimine izin verir. Üstyapı kesimi bu donanımla test edildiğinde, bir çok farklı yük büyüklükleri için defleksiyon verileri elde edilebilir. Yük büyüklüğü değiştirilerek, üstyapının yüke karşı tepkisi daha iyi belirlenebilir (Shahin, 2002).



Şekil 2.11. Kararlı tip vibratörün tipik dinamik kuvvet uygulaması

Bu donanımla ilgili temel problem, büyük ön yüklemenin deneyin doğruluğunu etkileyebilecek olmasıdır. Birçok malzemenin gerilme seviyesine bağlı olarak rijitliği değişir,

yani gerilmeye hassastır. Yüksek bir ön yükleme, hareketli teker yükü altında üstyapının nasıl tepki vereceğini yansıtmayan defleksiyon verileri üreterek malzemenin rijitliğini değiştirir. Dynaflect, Road Rater ve WES 16 kip Vibratör olmak üzere üç kararlı tip dinamik defleksiyon donanımı vardır.

(a) Şekil 2.12’de görülen Dynaflect, mevcut ilk ticari kararlı tip dinamik defleksiyon aygıtlarından birisidir. Bu aygıt bir taşıta monte edilebilir ve standart bir otomobil ile çekilebilir. Dynaflect, elektromekanik bir sistemdir. Bu sistem, 907,2 kg (2000 lb) statik ağırlığa sahiptir ve 8 devir/sn sabitlenmiş sıklıkta tepeden tepeye 453,6 kg (1000 lb) dinamik kuvvet üretir. Bu yük iki rijit tekerlek ile uygulanır ve defleksiyon sonuçları beş transdüser ile kaydedilir. Bu transdüserler bir çubuğa monte edilmiştir. Normalde bunlardan biri iki tekerlek arasında bir noktaya yerleştirilir ve kalan dört transdüser de 0,3048 m (1 ft) aralıklarla yerleştirilir.



Şekil 2.12. Dynaflect

Alet, deney bölgesine götürülür ve yükleme tekerleri ve transdüserler yüzeye düşürülür. Test bir kez tamamlandığında, sensörler yükseltilir ve bir sonraki deney bölgesine götürülür. Eğer deney bölgeleri arasında çok kısa bir mesafe varsa, bu ünite çelik tekerler üzerinde maksimum 25 km/st hızla hareket ettirilebilir (Shahin, 2002).

(b) Road Rater kararlı tip dinamik bir defleksiyon aygıtı olup, elektrohidrolik dinamik kuvvet uygulama sistemine sahiptir. Şekil 2.13’de görülen 2008 modeli yanında 400B ve 2000 gibi modelleri de mevcuttur. Bu modeller, öncelikle uygulayabilecekleri yükün büyüklüğüne göre değişir. 400B modeli 226,8 ile 1360,8 kg (500 ile 3000 lb), 2000 modeli 453,6 ile 2494,8 kg (1000 ile 5500 lb), ve 2008 modeli ise 453,6 ile 3628,8 kg (1000 ile 8000 lb) arasında yük uygulayabilir. Bu aygıtlardaki yükleme plağının birçok farklı boyutu vardır. Her bir aygıtın

oluşturduğu yükün büyüklüğü bir strenggeyç tipi transdüser yardımıyla ölçülür. Yükleme sıklığı, 5 ile 70 devir/sn arasında değişir. 10 ile 60 devir/sn arası normal olarak kabul edilir. Defleksiyon, yükleme plağı ile aynı zamanda üstyapıya düşürülen dört hız transdüseri kullanılarak ölçülür. Yükleme alanının merkezine bir sensör yerleştirilir, kalan üçü bir çubuğa 0,3048 m (1 ft) aralıklarla bağlanır. Daha yeni modeller bir bilgisayar ile kontrol edilir, tamamen otomatik olarak veri toplar ve çalışır. Bu aygıtın teknik sınırlamaları, sınırlı yük düzeyleri ve daha yeni modeller için yüksek statik ön yüklemedir (Shahin, 2002).



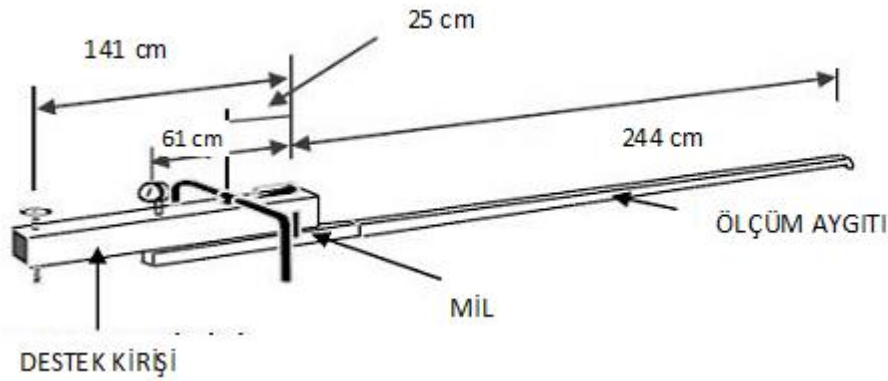
Şekil 2.13. Road Rater

(c) WES 16 kip vibratör, 10,97 m (36 ft) uzunluğunda yalnız arka tekerlekleri olan bir treylerde çalışır ve U.S. Army Waterways Experiment Station (U.S. Army WES) tarafından üretilmiştir. 7257,6 kg (16000 lb) statik ön yükleme ve 13608 kg (30000 lb) civarında yük büyüklüğü üreten dinamik bir güç yaratıcı kullanır. Yükleme frekansı, 5 ile 100 devir/sn arasında değişir. Normalde 15 devir/sn kullanılır. Dinamik yükleme, 45,72 cm (18 inç) çapındaki yükleme plağına monte edilen üç yük birimi ile ölçülür. Hız transdüserleri, daha önceden seçilen aralıklarda yerleştirilir ve yükleme plağının altındaki defleksiyonları ölçer. Tüm işlemler otomatiktir. Bu aygıt, ağır yüklere maruz kalan havaalanları için geliştirilmiştir.

Statik Defleksiyon Ekipmanı

Statik yükleme donanımı, üstyapı yüzeyine ya statik ya da yavaş hareketli yük uygular ve defleksiyon değerlerini ölçer. Yaygın statik defleksiyon aygıtları, Benkelman Kirişi ve La Croix Deflektografıdır.

(a) Şekil 2.14’de görülen Benkelman Kirişi, elle çalışan basit bir defleksiyon aytıdır. Destek kirişi ve sonda kolundan oluşur. Sonda kolu, 3,048 m (10 ft) uzunluğundadır ve üstyapı yüzeyi üzerine yerleştirilen bir sondadan 2,4384 m (8 ft) uzaklıktaki bir mildir. Tipik olarak, 8164,8 kg (18000 lb) dingil yüküne sahip bir kamyonun iki lastiği arasındaki sondanın ucuna yerleştirilmesiyle kullanılır. Yüklü araç kirişten uzaklaştığında, geri tepkime ve üstyapının yukarı hareketi kaydedilir. Bu aytı ile, defleksiyon eğrisinin şeklini belirlemek mümkün değildir (Shahin, 2002).



Şekil 2.14. Benkelman Kirişi

(b) La Croix Deflektograf, bir çerçeve ile bir kamyona monte edilmiş iki kiriş tipi aytı içerir. Kirişler, bu taşıtın arka dingilleri tarafından oluşturulan defleksiyonları ölçmede kullanılır. Test esnasında, bu taşıt 3 km/st hızda ilerler. Bu çerçeve, yaklaşan arka tekerlerin önündeki üstyapı yüzeyine düşürülür. Bu kiriş, yaklaşan tekerler tarafından oluşturulan defleksiyonlar sebebiyle dönecektir. Bu rotasyon yer değiştiren ilkel transdüserler ile ölçülür ve defleksiyona dönüştürülür. Bu ölçümler, üstyapıya kirişin temas ettiği yerlerde bu nokta üzerindeki tekerler geçene kadar devam eder. Bu yöntem, otomatik veri toplamaya ve analize olanak verir. Test bir kez tamamlandığında, kirişleri tutan çerçeve yükseltilir ve taşıt bir sonraki deney bölgesine hareket eder. Bu donanım, defleksiyon eğrisi analiz edilebilir. Arka dingillerdeki yük 5443,6 ile 11793,6 kg (12000 ile 26000 lb) arasında değişebilir.

2.4.3. Tahribatlı Testler

Tahribatlı deneyler, NDT olmaksızın gerekli bilgiyi sağlamak için veya NDT sonuçlarına ilaveler için kullanılabilir. Üstyapı çözümlemesindeki mevcut teknoloji uygulamaları ile, en

doğru sonuçları elde etmek için tahribatlı deneylerden faydalanmak gerekir. Tabaka özelliklerinin doğru hesaplanması için, deney yapılan bölgede tabaka kalınlıklarını belirlemek amacıyla karot alınması mutlaka önerilir. NDT'ye ilave olarak aşağıdaki tahribatlı deneyler kullanılabilir:

1. Kesin tabaka kalınlığının belirlenmesi için karot,
2. Temel ve alttemel malzemelerinin görsel sınıflandırması,
3. Esnek üstyapılar için Marshall stabilite deneyi,
4. Rijit üstyapılar için, birkaç örnekleyici numunedeki basınç dayanımı veya indirekt çekme dayanımı.

Bazı tahribatlı deney yöntemleri şunlardır:

1. Arazi Kaliforniya Taşıma Oranı (CBR) Testi: Bu deney, zemin direncini ölçer. CBR deneyi, esnek üstyapılar için alttemel ve granüler tabakaların davranışını belirler.

2. Dinamik Konik Penetrasyon Ölçer (DCP): CBR deneyine benzer. DCP de zemin direncini ölçer. Bununla beraber, 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 (Shahin, 2002).

3. Alttemel Reaksiyon Modülü: Bir plak yükleme deneyi kullanılarak belirlenen alttemel reaksiyon modülü (K), beton üstyapının tasarımı ve değerlendirmesinde kullanılır (Shahin, 2002).

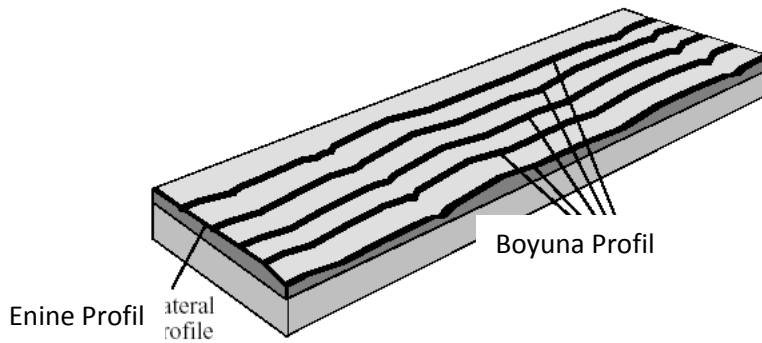
2.4.4. Düzgünsüzlük (Roughness)

Düzgünsüzlük ve kayma direnci ölçümleri, proje düzeyi değerlendirmesi için gereklidir. Üstyapıda bozulma olmadığı ya da az olduğu durumlarda düzgünsüzlük ölçümü en değerli bilgidir. Eğer yeniden inşa yakın bir zamanda yapılacaksa, mevcut üstyapının düzgünsüzlük ölçümünün herhangi bir değeri yoktur (Shahin, 2002).

Yapılan araştırmalar, yolların hizmet yeteneğinin büyük ölçüde yüzey düzgünsüzlüğüne bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yolu kullananlar genellikle düzgünlük veya düzgünsüzlük kavramlarını konfor açısından memnuniyet veya memnuniyetsizlik olarak tanımlarlar.

Düzgünsüzlük derecelendirmesi taşıt yolcu veya sürücüsünün tahammülü, taşıtın özellikleri ve hıza bağlı olarak değişir (Haas vd., 1994).

Genel olarak düzgünsüzlük enine, boyuna ve yatay (transverse, longitudinal ve horizontal) olmak üzere üç grupta toplanabilir. Şekil 2.15'te enine ve boyuna profiller görülmektedir. Yüzey bozulmaları, genellikle taşıt üzerinde hem düşey, hem de yanal ivme oluşturur. Düşey ivme, konfor kaybında esas etkindir ve üstyapı profilinin boyuna yönde bozulması dikkate alınarak ölçülür. Yanal ivme ise, taşıtın yoldan çıkması ve yalpa yapmasına neden olur (Haas vd., 1994).



Şekil 2.15. Enine ve boyuna profiller

Üstyapı düzgünsüzlüğüne neden olan birkaç etken vardır. Bunlar, trafik yükleri, çevre etkisi (iklim koşulları), üstyapıda kullanılan malzeme ve hatalı üstyapı inşaatıdır. Üstyapı yeni inşa edildiğinde bile bir miktar pürüzlülük vardır. Hatta tamamen pürüzsüz bir yüzeye sahip üstyapının trafiğe açılması, taşıt durma mesafesini artıracak doğru değildir (Gillespie, 1992).

Günümüzde düzgünsüzlük değerlendirmesi için birkaç gösterge kullanılmaktadır. Bu göstergeler ya üstyapı yüzey profilini ya da bir taşıta monte edilmiş bir cihazın çıktılarını esas alır. Bahsedilen ikinci yöntem tepki tipli yol düzgünsüzlük ölçüm sistemi (Response Type Road Roughness Measurement System -RTRRMS) olarak bilinir. Tepki tipli göstergeler taşıta bağımlıdır ve aynı taşıt ile tekrar uygulansalar bile aynı yol kesiminde farklı sonuçlar verebilirler. Profil tabanlı göstergeler ise, matematiksel bir model kullandıkları için aynı yol kesiminde tekrar ölçüm yapıldığında aynı sonucu verebilirler, yani tekrarlanabilirler (Shahin, 2002).

Bir düzgünsüzlük ölçüm istemi, profil ölçümü ve çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan matematiksel hesaplardan meydana gelir. Bir profil çeşitli dalga uzunluklarından oluşur. Düzgünsüzlük ölçümünde bu dalga uzunluklarının bazılarını gereksinim yoktur. Bunlar normal yol yüzeyinde bulunması istenen miktardaki dalgalardır. Sadece düzgünsüzlüğü gösteren dalgaları tüm dalgalardan ayırmak için bir filtreleme işlemi yapılır. Bu filtreleme işlemi için Sayers vd. (1986) tarafından geliştirilen ve “hareketli filtre ortalaması” olarak isimlendirilen bir teknik kullanılır. Bu teknikte, Şekil 2.16’da görüldüğü gibi seçilen bir taban genişliğindeki ortalama yükselmeler kullanılarak her bir noktada profil düzleştirilir. Eşitlik 2.8’de her bir noktadaki düzleştirilen yükselmelerin hesabı görülmektedir.

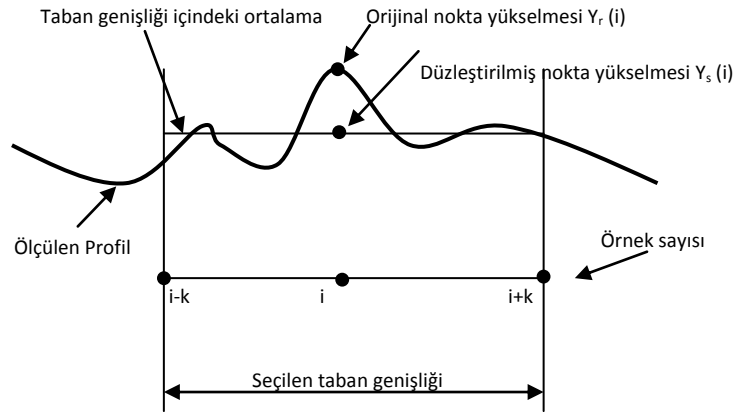
$$y_s(i) = [1/(2k + 1)] \sum_{j=i-k}^{i+k} y_r(j) \quad (2.8.)$$

Burada

$y_r(j)$ = j örneği için filtrelenmemiş (ham) düşey profil yükselmesi

$y_s(i)$ = i örneğinin düzleştirilmiş profil yükselmesi

k= hareketli ortalama taban genişliğinin yarısı

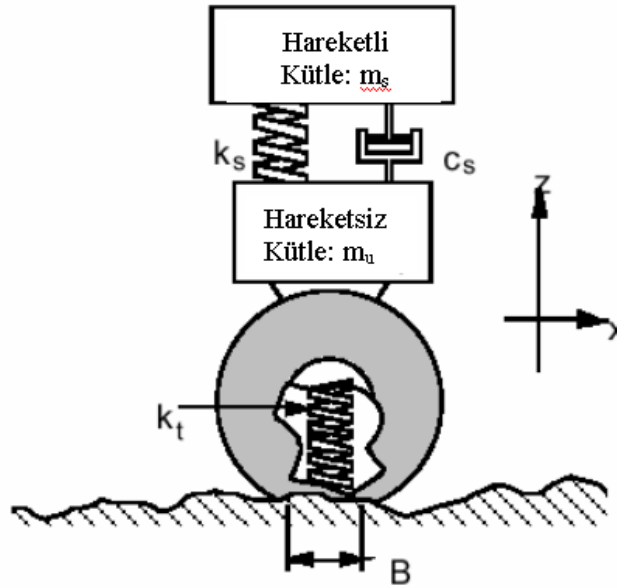


Şekil 2.16. Hareketli filtre ortalaması

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 (Haas vd., 1994).

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. Bu amaçla, 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. Bu model, Şekil 2.17'de görülen bir çeyrek taşıt sistemini kullanır.



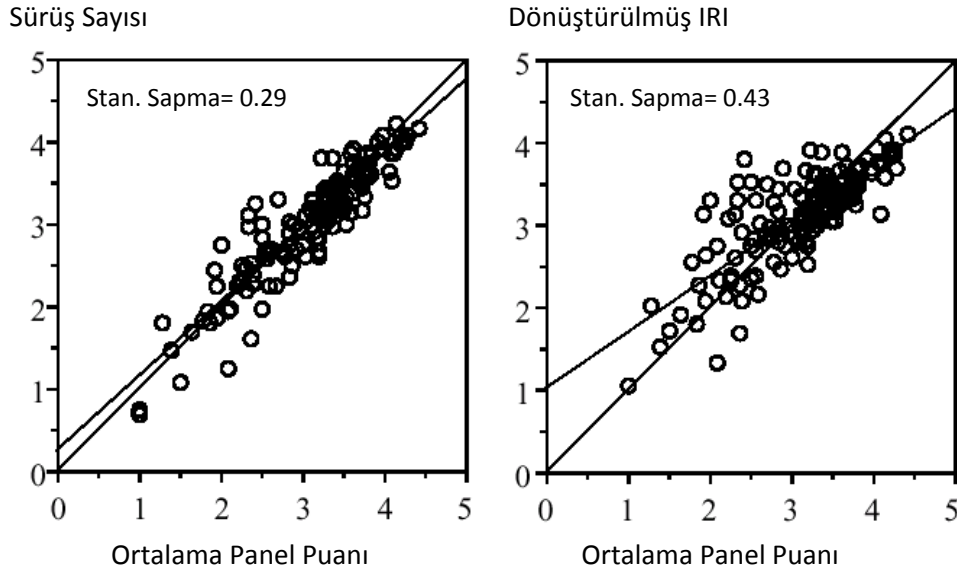
Şekil 2.17. Çeyrek Taşıt Modeli

Papagionnakis ve Delwar (1999), IRI değerleri kullanılarak PSI hesabı için bir yöntem önermişlerdir.

$$PSI = 5,0 e^{-0,18 IRI} \text{ (m/km)} \quad (2.9.)$$

Yüksek hızlı profil ölçme teknikleri geliştirilmeden önce, mühendisler değişik yol düzgünsüzlük ölçme aygıt ve yöntemleri kullanarak seçilen karayolunun durumunu tahmin etmeye çalışırlardı. Karayolu kurumları veya şirketleri için uygun bir teknoloji olan yol profil ölçümünün ortaya çıkmasından kısa süre sonra, profil özellikleri ile sürüş kabiliyeti arasındaki

ilişki araştırılmaya başlanmıştır. Daha sonra, Sürüş Sayısı (RN) hesabı için IRI hesabında da kullanılan Profil İndeksini kullanan bir algoritma geliştirilmiştir. Sürüş Sayısı hesabının amacı, IRI ile PSI hesabı yerine doğrudan PSI değerini hesaplamaktır. Özellikle Ohio’da yapılan çalışmalarda PSI değeri ve Sürüş Sayısı değeri ile PSI arasındaki ilişki ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır. Şekil 2.18’ de bu ilişkiler görülmektedir (Sayers and Karamihas, 1998).



Şekil 2.18. IRI ve Sürüş Sayısı ile Ortalama Panel Oranı (PSI) arasındaki ilişki

Sürüş Sayısı da PSI gibi 0-5 ölçeğini kullanır. Profil İndeksi (PI) genellikle 0 ile düzgünsüzlüğün tipine göre pozitif değerler alır. Sürüş Sayısı (RN) için bu değer aşağıdaki formül ile 0 (maksimum olası düzgünsüzlük) ile 5 (tamamen düzgün) arasında bir değer alır. Deneysel çalışmalar bu değer 1 ile 4,5 arasında değiştiğini göstermiştir.

$$RN = 5e^{-16Q(PI)} \quad (2.10)$$

Eğer sadece bir profil varsa bu RN değeri doğrudan kullanılır. Fakat bir profilin hem sağ hem de sol tekerlek izi ölçülmüşse, iki değer ortalama aşağıdaki formülden hesaplanır (Sayers ve Karamihas, 1998):

$$PI = \sqrt{\frac{PI_L^2 + PI_R^2}{2}} \quad (2.11)$$

Mevcut profil ölçüm aygıtları şunlardır:

- Çubuk ve Seviye (Rod ve Level)
- TRRL Beam Static Profilometre
- Dipstick Otomatik Okumalı Yol Profilometresi
- K. J. Law 690-DNC Profilometre
- K. J. Law Model 8300 Düzgünsüzlük İnceleyici
- Güney Dakota Profil Ölçeri
- Siometer
- İsveç VTI Lazer Yol Yüzeyi Test Aleti
- Boyuna Profil Analiz Cihazı
- ARAN
- TRRL Lazer Profilometresi

2.4.5. Kayma Direnci

Taşıt kontrolü ve uçak iniş güvenliği, büyük bir oranda üstyapı yüzey özelliklerine bağlıdır. Üstyapı kuru olduğunda, lastikler ile üstyapı arasında oluşan sürtünme normalde yüksektir. Yağışlı havalarda, özellikle üstyapının kayma direnci düşük olduğunda patinajdaki veya durma mesafesindeki potansiyel artışla kritik bir durum oluşabilir. Yeterli kayma direnci olmadığında, sürücü veya pilot direksiyon hakimiyetini sağlayamayabilir ve ıslak üstyapıda duramayabilir. Kayma direnci verisi toplamının ana sebebi, kazaları azaltmak veya artmasına engel olmaktır. Bu veriler, kayma direncinin yavaş veya hızlı bozulma düzeyine sahip üstyapı kesimlerini tanımlamada kullanılır. Bu bilgi daha sonra uygun bakım ve rehabilitasyon (B ve R) seçeneğini seçmek için ve öncelikli üstyapı B ve R bulmak için bir yönetim aracı olarak kullanılabilir (Shahin, 2002).

Kayma direnci, lastiklerin dönmesi engellendiğinde bir üstyapıda lastiklerin kayma gerilmesi dayanımı olarak tanımlanır. Kayma direnci bir üstyapı özelliği olarak düşünülmesine karşın, lastik dişi, suyun varlığı, sıcaklık, yük ve taşıt hızı gibi durumlar bir lastik ile üstyapı arasında oluşan kuvveti etkiler.

Kayma direncini etkileyen etkenler, daha önce de ifade edildiği gibi, kayma direnci değerlendirmesi, kayma değerine katkıda bulunan bir çok değişken ile ilgilidir. Trafik ve

mevsimsel değişim, taşıt etkenleri (hız, lastik basıncı, lastik yükü ve lastik dişi) ve üstyapı etkenleri (yüzey karakteristikleri ve drenaj) kayma direncini etkiler.

Trafik ve Mevsimsel Değişim: Aynı zamanda inşa edilen iki üstyapı kesimi, farklı trafiğe maruz kaldıklarında farklı sürtünme katsayısına sahip olurlar. Trafik üstyapıya yük transfer ettiği için, lastikler yüzey mikro yapısını cilalandırır. Özellikle ağır trafik altında agrega zayıflıktan dolayı ayrışır veya yer değiştirir. Genellikle, kayma direnci bir dengeye gelinceye kadar trafiğin artışıyla azalır. Kayma direnci mevsimsel olarak değiştii için (Şekil 2.19), trafik veya yüzey özelliklerinin bir fonksiyonu olarak sadece ortalama bir değer olabilir (Shahin, 2002).



Şekil 2.19. Kayma direncinin mevsimsel değişimi

Taşıt Etkenleri: Genellikle, sürtünme katsayısı hızın artışıyla azalır. Kuru üstyapılarda, sürtünme etkeninin hızın değişimiyle çok az değiştii belirlenmiştir. Fakat, ıslak üstyapılarda sürtünmedeki azalma çok fazladır.

Deneyimler, verilen bir tekerlek yükü için lastik basıncındaki artışın sürtünme katsayısında azalmaya neden olacağını göstermiştir. Büyük bir alanın yüksek sürtünme katsayısı ve soğuk lastikler sonucunda kayma ve yavaşlamayla ortaya çıkan ısı ve düşük basıncın neden olduğu alan artışı bu duruma katkıda bulunabilir.

Değişik tekerlek yükü kullanılan çalışmalar, tekerlek yükü artışıyla sürtünme katsayısının azalacağını göstermiştir. Böyle bir durum için açıklamalardan biri, tekerlek yükündeki artışın

lastik temas alanı ve daha sonra sürtünme katsayısında bir azalmaya neden olacaktır. Bunun aksine, arka dingil yükü arttığında oluşan sürtünme katsayısında da hafif bir artış oluşur.

Lastik dişinin tasarımı frenlemede önemli bir etkiye sahiptir. Lastik oluğu, lastik ile üstyapı arasındaki suyun kanallar vasıtasıyla yer değiştirmesini sağlar. Yüksek hızda veya ince su film tabakası bulunduğunda, suyun yer değiştirmesi için yeterince zaman olmayabilir ve kayma meydana gelir.

YÜZEY		Doku Ölçeği	
		Makro (Geniş)	Mikro (İnce)
A		Pürüzlü	Sert
B		Pürüzlü	Cılalı
C		Düz	Sert
D		Düz	Cılalı

Şekil 2.20. Yol yüzey dokusunu açıklamada kullanılan terimler (Shahin, 2002)

Yüzey dokusu, mikrodoku (microtexture) veya makrodoku (macrotexture) olarak tanımlanabilir (Şekil 2.20). Mikro doku, dokunma pürüzlülüğü veya agrega düzgünlüğünün yaptığı etkidir. Mikro dokunun sürtünmeye katkısı, lastik ile yapışması yoluyla oluşur. Makro doku ise, esnek üstyapı için agrega şekli, boyutu ve düzenlemesinin sonucudur.

Drenaj, üstyapı yüzeyinin bir diğer önemli özelliğidir. İyi bir drenaj sistemi, lastik ile üstyapı arasındaki temasa izin veren suyun kaçıışı için kanallarla sağlanır. Drenaj sisteminin etkisi, sürtünmedeki artışı belirlemek için yüzeye suyun uygulanmasından sonra ve sonraki sürelerde sürtünme etkeninin ölçülmesiyle değerlendirilebilir (Shahin, 2002).

Sürtünme Ölçme Metotları

Sürtünme daima harekete karşı bir kuvvettir. Sürtünme katsayısı arayüzey düzlemdeki sürtünme kuvveti ile yüzeydeki normal kuvvet arasındaki oran olarak tanımlanır. Üstyapılar için, sürtünme katsayısı sürtünme etkeni (f) olarak ifade edilir.

$$f = \frac{F}{L} \quad (2.12)$$

burada,

F = Sürtünme kuvveti,

L =Normal yük

Üstyapının sürtünme etkenini ölçmek için birkaç yöntem aşağıda tartışılmıştır (Shahin, 2002).

-Kilitli Tekerlek Modu

Bu yöntemde, bir veya iki tekerlekli treyler verilen bir hızda çekilir. Bu deney tekerleği daha sonra kilitlenir ve önüne su dökülür. Test tekerleği sabit sıcaklıkta belirli bir mesafe boyunca üstyapıda kaydırılır. Yüzeye temas eden lastikteki sürtünme kuvveti bir süre için kaydedilir. Sonuçlar bir kayma sayısı (skid number-SN) olarak kaydedilir.

$$SN=100 \times \text{sürtünme etkeni} \quad (2.13)$$

Sonuçların değişkenliğini minimize etmek için, ASTM E 274-90 (1992)'daki standart bir lastik özelliği kullanılır. Şekil 2.21, tipik bir kilitli teker kayma treylerini göstermektedir.



Şekil 2.21. Kilitli tekerlekli kayma treyleri

-Kayma Modu

Kayma (slip) aşağıdaki gibi tanımlanır:

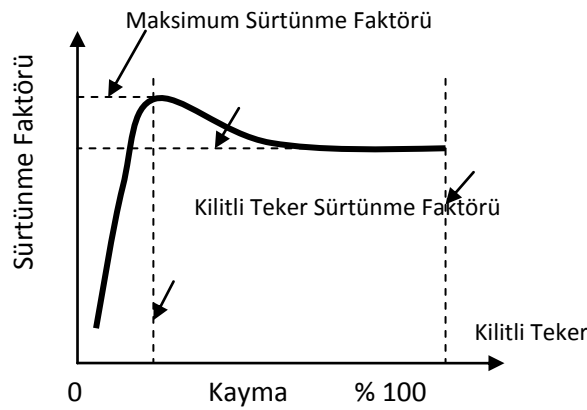
$$S = 100 \frac{W_0 - W}{W_0} \quad (2.14)$$

burada,

W_0 = Serbest yuvarlanmada açısal tekerlek hızı

W = ölçüm zamanında açısal tekerlek hızı

Eğer düz hareket eden bir tekerleğe fren yapılırsa kayma, tekerlek kilitlendiğinde % 100'e ulaşana kadar artar. Sürtünme etkeni, "kritik kaymada" f_{max} bir maksimum değere ulaşana kadar kayma artışıyla artar ve tekerlekler kilitlenene kadar azalmaya (f_{kilit}) başlar (Şekil 2.22). Kritik kayma ve f_{max}/f_{kilit} oranı, yüzey dokusu ve sıcaklığının bir fonksiyonudur ve sadece uygun ölçüm ile elde edilebilir. Kritik kayma olayı, tekerlekler kilitlendiğinde veya kayma % 10-15 olduğunda maksimum sürtünmenin olmadığını gösterdiği için çok önemlidir. Bu bilgi, birçok uçakta kullanılan otomatik fren kontrol sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır.



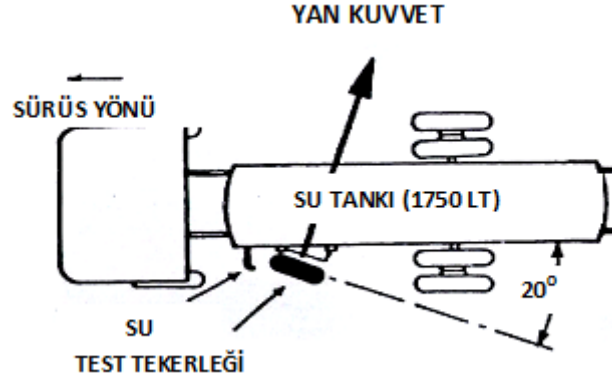
Şekil 2.22. Kaymanın bir etkeni olarak sürtünme katsayısı

-Yalpa Modu

Yalpa modu, hareket yönü (yalpa açısı) ile bir açıya deney tekerleğinin (frensiz) döndürülmesiyle yan sürtünme etkenini ölçer. Yan sürtünme etkeni yalpa açısının büyüklüğü ile değiştiği için, sürtünme etkenini küçük değişimlere duyarlı yapacak yalpa açısında deney

edilmesi arzu edilir. Yalpa modu deneyi için mevcut bir treyler, iki düz tekerleği olan Mu-Meter'dir.

Yan sürtünmeyi ölçmek için bir diğer cihaz, İngiliz Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (Britain's Transport and Road Research Laboratory) tarafından geliştirilen SCRIM'dir (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine) (Şekil 2.23).

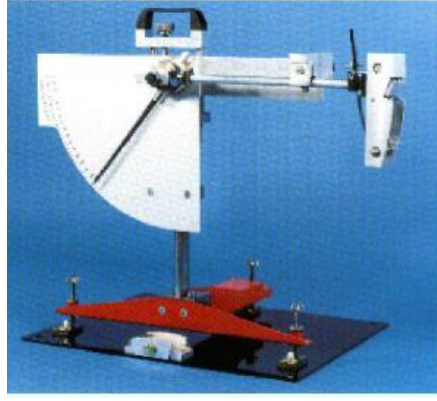


Şekil 2.23. Yan kuvvet katsayısı olağan inceleme makinesi

Bu taşıt, deney tekerleği ilerlerken yola yaymak için gerekli suyu taşır. Bu deney tekerleği, taşıt hareket yönüne 20 derecede monte edilmiştir ve kullanılmadığında yoldan kaldırılabilir. Bu cihaz, yan kuvvet katsayısını (Sideways Force Coefficient-SFC) ölçer. SCRIM sürekli kayıt yapabilir ve yüksek hızda (65 km/st) çalışabilir (Shahin, 2002).

-Laboratuvar ve Doku Ölçüm Metotları

En yaygın laboratuvar aygıtlarından biri İngiliz Yol Laboratuvarı (British Road Laboratory) tarafından geliştirilen İngiliz Taşınabilir Test Aletidir (Şekil 2.24). Çalışma esnasında yüzey numunesi üzerinde kayan bir pandüle eklenmiş kauçuk parça içerir. Bu yöntem ASTM E303-83 (1992)' de tanımlanmıştır. Sonuçlar, İngiliz Pandül Sayısı (British Pendulum Numbers - BPN) olarak ifade edilir.



Şekil 2.24. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme deneyi

Üstyapı yüzeyinin dokusunu ölçmek için birkaç yöntem mevcuttur. Fakat bunların bireysel ölçümleri ve kayma direnci ile arasında geliştirilen başarılı bir ilişki yoktur.

FAA Advisory Circular tarafından bir yüzey dokusu yöntemi (AC No. 150/5320-12A) geliştirilmiştir. Bu yöntem, makro doku derinliğini ölçmek için etkilidir. Fakat üstyapı yüzeyinin makro dokusal özelliklerini ölçmede etkili değildir. Pistler için, ortalama makro doku derinliği kayma direnci kuvveti için en az 0,381 mm (0,015) inç olmalıdır. Bu yöntem, bilinen bir yağ hacminin yayılmasını içerir. Yağ ile kaplı alan ölçülür. Doku derinliği, yağ hacminin yağ ile kaplı alana bölünmesiyle hesaplanır. Ortalama doku derinliği bireysel deney/toplam deney toplamıdır (Shahin, 2002).

Sürtünme İnceleme Prosedürü

-Sıklık

Üstyapı yüzey dokusu, lastik yuvarlanma ve frenleme trafiği nedeniyle zamanla yıpranır. Bu nedenle, sürtünme periyodik olarak ve ağır trafikte daha sık ölçülmelidir.

-Görsel İnceleme

Doğrudan sürtünme ölçümüne ilave olarak yüzey durumunun görsel olarak incelenmesi yönetim için daima yararlıdır. Görsel inceleme esnasında, üstyapı dokusunun durumu, drenaj problemleri ve kaymaya neden olan bozulmaların görünüşüne dikkat edilir. Kayma direncinin azalmasına neden olan bozulmalar; kuma, ondülasyon, tekerlek izi ve beton üstyapılarda oluşan derz bozulmasıdır.

-Ölçüm İşlemi

Sürtünme ölçümü, yol boyunca yapılabilir. Dört veya daha fazla şeritli karayollarında, dış şeritler deney edilir. Fakat bazı şirketler tüm dört şeridi de deney eder. Bu deney 160,93 m ile 1609,3 m (0,1 ile 1,0 mil) aralıklarla yapılır (Shahin, 2002).

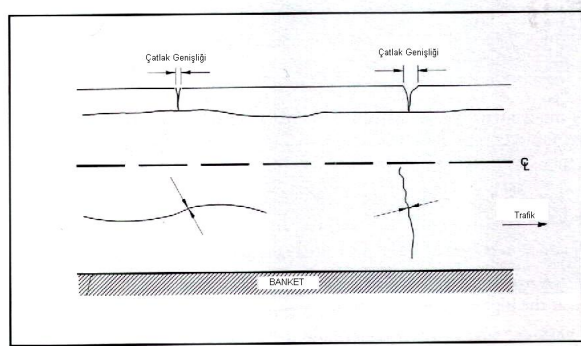
2.5. Asfalt Betonu Kaplamalı Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar

Asfalt betonu kaplamalı esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalar dört ana sınıfta toplanabilir.

1. Kırılma veya çatlama
 - a-) Yorulma kırılması (timsah sırtı çatlak)
 - b-) Blok çatlak (büzülme çatlağı)
 - c-) Kenar kırılması
 - d-) Tekerlek izi oturması
 - e-) Boyuna yönde kırılma (teker izi dışı)
 - f-) Yansıma çatlakları
 - g-) Enine yönde kırılma
2. Yama ve oyuklar
 - a-) Yama bozulması
 - b-) Oyuklar
3. Yüzey deformasyonu
 - a-) Ondülasyon ve Yığılma
4. Yüzey hataları
 - a-) Kusma
 - b-) Cilalanmış agrega
 - c-) Sökülme (ayrışma)

2.5.1. Kırılma

Genel olarak kırılma veya çatlak, çeşitli nedenlerle üstyapı yüzeyinde oluşan çeşitli şekillerdeki kırılmalara denir. Çatlak genişliğinin ölçümü, Şekil 2.25’de gösterilmiştir.



Şekil 2.25. Esnek üstyapılarda çatlak genişliği ölçümü (SHRP, 1993)

a) Yorulma Çatlağı (Timsah Sırtı Çatlak)

Stabil olmayan temel veya taban zemininden dolayı yükleme nedeniyle veya tekrarlı yükler altında belli bir süre sonra oluşur. Başlangıçta boyuna yönde çatlak oluşur, daha sonra enine yönde çatlamlar meydana gelerek boyuna çatlaklar ile birleşir.

Çatlaklar parçalanmamış ya da yarıkları doldurulmamış ise düşük önemde, çatlaklar gözle görünür biçimde parçalanmış ise orta önemde, kırık parçalar trafik etkisi ile yer değiştirdiyse yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.26. Timsah sırtı çatlak

b) Blok Çatlak (Büzölme Çatlağı)

Bir seri poligondan oluşan çatlaklardan meydana gelir. Poligonlar keskin köşeli veya açılıdır. Yükten dolayı meydana gelmez, genellikle asfaltın sertleşmesi ve rötresin den (büzölme) meydana gelir (tekerlek izi dışında).

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıklar düşük önemde, genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıklar orta önemde, genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıkların yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.27. Blok kırılması

c) Kenar Çatlağı

Kaplama kenarından yaklaşık 30 cm içerde meydana gelen boyuna çatlaklardır. Bazen bu çatlaklar ile banket arasında enine çatlaklar da meydana gelir (KGM, 1998).

Malzeme kaybı olmayan kırıklar düşük önemde, etkilenen üstyapı kısmı uzunluğunun % 10'nu kadar malzeme kaybı olan kesimlerin orta önemde, etkilenen üstyapı kısmı uzunluğunun % 10'dan daha fazla malzeme kaybı olan kesimlerin yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.28. Kenar çatlağı

d) Tekerlek izi çatlak

Yüklemeden dolayı oluşan yorulma kırıkları olarak adlandırılır. Tekerlek izinin şeklini aldığı ve tekerlek izleri altında meydana geldiği için tekerlek izi çatlak olarak isimlendirilir.

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği > 6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği > 19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da genişliği > 19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.29. Tekerlek izinde orta önemde boyuna kırılma

e) Boyuna Çatlak

Yüklemeden dolayı oluşmaz. Kötü yapılmış inşaat derzleri, yüzey tabakasının büzülmesi, yansıma çatlakları ve taban zemininin oturması nedeniyle oluşur.

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, orta genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, orta genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da orta genişliği >19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.30. Yüksek önemde boyuna çatlak

f) Yansıma Çatlakları

Asfalt takviye tabakası üzerindeki çatlaklar olup, altta kalmış olan esas kaplamada daha önce mevcut olan çatlakların takviye tabakasına yansımasıyla meydana gelir. Bu çatlaklar boyuna, enine, diyagonal veya bloklar şeklinde olabilirler (KGM, 1998).

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da genişliği >19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).

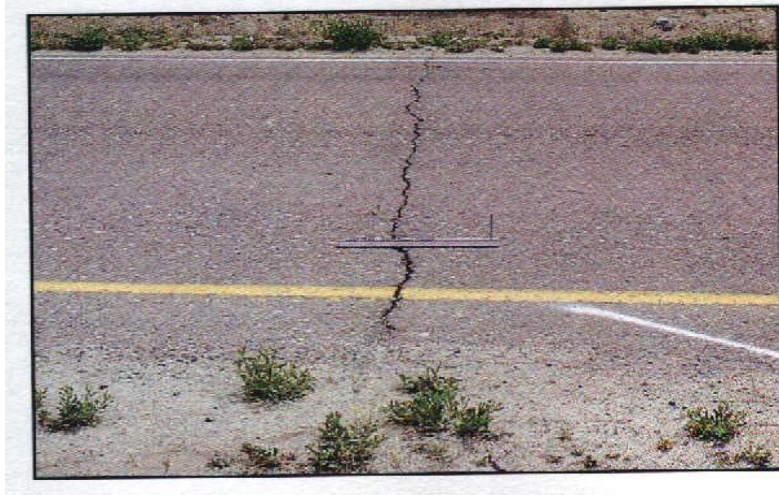


Şekil 2.31. Yüksek önemde yansıma çatlağı

g) Enine Kırılma

Genelde yüklemekten dolayı oluşmaz. Yüzey tabakasının büzülmesinden veya yansıma nedeniyle oluşur.

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da genişliği >19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.32. Yüksek önemli enine kırılma

2.5.2. Yama ve Oyuklar

a) Yama Bozulması

Üstyapı yüzeyinin $0,1 \text{ m}^2$ den daha büyük kısmına orijinal inşaatın sonra kaldırma, yer değiştirme veya ilave malzeme uygulamasıdır. Yama sınırındaki herhangi bir bozulma yama oranı içinde değerlendirilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.33. Orta önemde yama

b) Oyuklar

Üstyapı yüzeyindeki çeşitli yuvarlak şekilli deliklerdir. Minimum plan boyutu 15 cm (6 inç) 'dir (SHRP, 1993).

Derinliği 25 mm.den daha az olan oyukların düşük önemde, 25 mm ile 50 mm derinliğinde olanların orta önemde, 50 mm.den daha fazla derinliğe sahip olanların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.34. Oyuklar

2.5.3. Yüzey Deformasyonu

Bu bölüm yüzey deformasyonlarının ondulasyon ve yığılma tiplerini içerir:

a) Ondülasyon ve Yığılma

Ondülasyonlar, plastik bir hareket sonucu, asfalt kaplamalarda meydana gelen enine ve aralıklı kabarmalardır. Yığılmalar ise, plastik bir hareket sonucu asfalt kaplama yüzeyinde meydana gelen tümsekler ve şişkinliklerdir (KGM, 1998).

Etkilenen alanın metre kare cinsinden alanı veya ondülasyon yüksekliği kullanılarak tanımlanır. Yüksekliği 5 mm'den daha az olanların düşük önemde, 5 mm ile 10 mm yüksekliğinde olanların orta önemde, 10 mm'den daha fazla yüksekliğinde sahip olanların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir



Şekil 2.35. Ondülasyon ve yığılma

2.5.4. Yüzey Kusurları

a) Kasma (Terleme)

Sıcak havalarda, serbest bitümün yol yüzeyine çıkması ile meydana gelir. Kaygan bir yüzey oluşur. Soğuk havalarda işlem geri dönemez (SHRP, 1993).

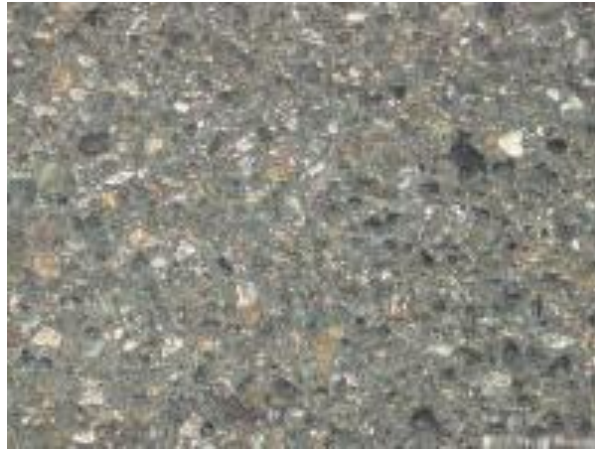
Aşırı asfalt nedeniyle kaplamadan taşıdığı için kaplama yüzeyinin nispeten rengi değiştiğinde düşük önemde, kaplama yüzeyinin yapısı kaybolduğunda orta önemde, asfalt parlak bir kaplama yüzeyi ortaya çıkardığında, agrega aşırı asfalt ile görünmediğinde ve tekerlek izleri aşırı sıcakta açıkça görülebildiğinde yüksek önemde kasma olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.36. Yüksek önemde kismada açıkça görülen tekerlek izleri

b) Cilalanma

Bu bozulma, kaplama yüzeyindeki agrega danelerinin cilalı ve pürüzsüz hale gelmesidir. Bu tip bozulma hem doğal olarak pürüzsüz yüzeyli kırılmamış agrega kullanılmasından, hem de kırmataşın trafik etkisiyle aşınmasından meydana gelir (KGM, 1998). Etkilenen alanın metre kare cinsinden alanı kullanılarak tanımlanır.



Şekil 2.37. Cilalanmış agrega

2.5.5. Sökülme/Ayrışma

Sökülmeler, asfalt kaplamadaki agrega daneleri arasındaki bağlantının yeteri kadar olmayışı nedeni ile yerinden çıkması ile oluşur. Yerinden çıkma (sökülme), trafiğin yarattığı yatay kuvvetler ve vakum nedeni ile kütledeki bağlantısı zayıf danelerin yerinden çıkması ve bu nedenle yolda delikler meydana gelmesi ile oluşur (KGM, 1998).

Bazı ince agregaların kayıp olduğu durumların düşük önemde, agrega ve/veya binderin kaplamadan ayrıldığı ve yüzey yapısının pürüzlü ve oyuklu olduğu durumların orta önemde ve yüzey yapısının çok pürüzlü ve oyuklu olduğu, aynı zamanda bazı kaba agregaların kayıp olduğu durumların yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 2.38. Sökülme örneği

2.6. Asfalt Üstyapılar için Bakım ve Rehabilitasyon Yöntemleri

Üstyapı rehabilitasyonu bir bilim olduğu kadar aynı zamanda da bir sanattır. Üstyapı rehabilitasyonu için “doğru” ve “yanlış” çözüm yoktur, “daha iyi” ve “optimum” çözümler vardır. Faydayı maksimize ederken maliyeti minimize eden “optimum” çözüm, kısıtlar (örneğin sınırlı sermaye) nedeniyle her zaman mümkün olmayabilir. Bununla beraber, ekonomik, diğer arzu edilen niteliklere sahip ve mevcut kısıtları karşılayan çözüm “tercih edilen” bir çözüm olacaktır. Mühendis, verilen özel durumlar ve sınırlamalara göre en “tercih edilen” rehabilitasyon yöntemini kendine göre belirlemekle yükümlüdür. Tercih edilen çözümün seçimi çok kompleks bir mühendislik problemi olmasına karşın, rehabilitasyon çözümlemesi adım-adım yaklaşım kullanılarak daha kolay yapılabilir. Bu yaklaşımın temelleri; üstyapı problemleri veya bozulmalarının sebeplerinin belirlenmesi, olası çözüm listesinin geliştirilmesi ve rehabilitasyon yönteminin seçim gereksinimlerini esas alır (ASSHTO, 1986).

Çeşitli seçenekler, hem geciktirici hem de düzeltici bakım ve rehabilitasyon amacıyla uygulanır. Şekil 2.41, Ontario Ulaştırma Bakanlığı (MTO) tarafından kullanılan bakım ve rehabilitasyon seçeneklerinin listesini göstermektedir. Mevcut bakım ve rehabilitasyon seçeneklerinin açıkça tanımlanması, mevcut stratejilere ilave yapmak veya silmek, ve mevcut

şartlardan en uygununa karar vermek 6nemlidir. B6ylece 6ncelik programlaması s6reci etkili bir biçimde uygulanabilir (Haas vd., 1994).

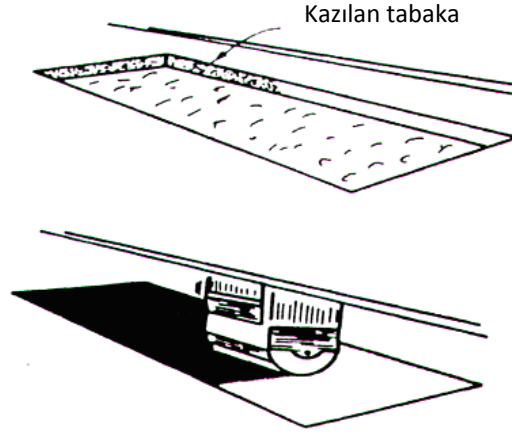
şekil 2.39. Ontario’ da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri (Haas vd., 1994)

2.6.1. Sınırlandırılmış B ve R

a) Tam Derinlikte Yama (Asfalt betonu)

Bu teknik asfalt betonu tabakası ve belki de temel ve alttemel tabakalarının tam derinlikte değiştirilmesidir (Shahin, 2002). T6m 6styapı tiplerine uygulanabilen bu y6ntem aynı zamanda y6ksek maliyete sahiptir. Fakat y6ksek maliyeti nedeniyle onarımı geciktirmek, daha y6ksek maliyete ve daha hızlı bozulmaya neden olur (AASHTO, 1986).

Tam derinlikte yama, timsah sırtı çatlak ve tekerlek izi gibi yapısal ve malzemeden kaynaklanan bozulmaların onarımı için kullanılır. Asfalt betonu tabakasının 6st6nde sınırlı miktarda k6ç6k çatlaklar olması durumunda, eğer kolayca kaldırılıbiliyorsa, yama derinliği sınırlandırılabilir (Shahin, 2002).



Şekil 2.40. Tam derinlikte yama

b) Çatlak Doldurma

Çatlak doldurma, asfalt betonunda temizleme, doldurma veya yeniden doldurma işlemleridir. Genellikle, en az maliyet etkili (ucuz) yöntemdir.

Bu teknik 0,3 cm (1/8 inç)'den geniş enine ve boyuna çatlakları doldurmak için kullanılır. Asfalt betonunda çatlak doldurmanın başlıca amacı, yüzeyden üstyapı tabanına su akışına engel olmaktır. Üstyapının genel durumu iyi olduğunda bu tekniğin kullanımı en düşük maliyetli yöntemdir.

2.6.2. Genelleştirilmiş B ve R

Genelleştirilmiş B ve R, geciktirici amaçla kullanıldığında en ekonomik uygulamadır. Asfalt betonu üstyapılar için yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

a) Püskürtme Uygulaması (Fog Seal)

Bu teknik, bir distribütör (dağıtıcı) kullanılarak mevcut üstyapının yüzeyine ince bir bitüm tabakası püskürtülmesidir. Bu yöntem, su geçirimsizliğini artırmak , ayrışmayı azaltmaya yardımcı olmak, asfalt betonu üstyapının ömrünü uzatmak amacıyla kullanılır. Püskürtme uygulaması, özellikle trafiğin olmadığı veya az olduğu üstyapıların bakımı için iyi bir yöntemdir. Asfalt betonu üstyapılar trafik olmadığında, ağır veya orta derecede trafiğin bulunduğu üstyaplardan daha çabuk sertleşme ve ayrışma eğiliminde olur.

b) Gençleştirme (Rejuvenators)

Gençleştirme yöntemi, püskürtme yöntemine benzer. İlave olarak, uygulama miktarının fazla olması sayesinde, asfalt tabakanın dayanımını artırır ve çatlak miktarını azaltır.

Bu yöntem genel olarak püskürtme uygulaması ile benzerlik göstermesine karşın, farklı olarak, asfalt betonunun içine işler ve binder tabakasını yumuşatır. Ayrıca, asfalt betonu yüzeyinin sertleşmesini ve sıcaktan meydana gelen çatlakların büyüklüğünü azaltır (Shahin, 2002).

c) İnce Karışım Uygulaması (Slurry Seal)

Bu teknik, iyi derecelenmiş agrega, su ve mineral fillerden oluşan asfalt emülsiyon karışımının ince bir tabaka şeklinde uygulanmasıdır.

Üstyapılarda, kayma direnci veya yüzey sızdırmazlığı sağlamak için kullanılır. İnce karışım uygulaması, küçük çatlakları (genişliği 0,3 mm'den küçük) doldurur. İnce karışım uygulaması, orta veya düşük trafik hacmine sahip üstyapılar için en uygun çözümdür(Shahin, 2002).

d) Sathi Kaplama Uygulaması (chip seal)

Bu teknik, bir agrega tabakasının asfalt bağlayıcı üzerine uygulanmasıdır. Eğer agrega yerine kum kullanılırsa, bu uygulama kum doldurma (sand seal) olarak isimlendirilir.

Üstyapılarda, kayma direnci veya yüzey sızdırmazlığı sağlamak için kullanılır. Bu uygulama, düşük trafik hacmine sahip üstyapılar için en uygun çözümdür. Uygulama kalınlığı 2,5 cm (1 inç) olabilir. Fakat, maliyetler sıcak karışım ince takviye tabakasına yaklaşıp. Bazı uygulayıcılar, yüzey uygulaması olarak ince takviye tabakası uygular.

2.6.3. Ana B ve R

Ana B ve R, düzeltme veya yapısal ve fonksiyonel özellikleri geliştirmek için kullanılır. Bu yöntemler, aşırı derecede bozulmuş, çabuk bozulan veya değişen trafik yüklerine maruz üstyapılar için genellikle ekonomiktir.

a) Soğuk Kazıma Uygulaması

Soğuk kazıma uygulaması, bir makine kullanılarak yüzey tabakasının belli bir kalınlıkta kaldırılarak takviye tabakasına uygulanmasıdır.

Asfalt üstyapıyı kabul edilebilir düzeye çıkarmak amacıyla uygulanır. Bozulmuş tabaka kaldırılır ve takviye tabakası ile alt tabakaların birbirine iyice bağlanması sağlanır. Soğuk kazımanın en sık kullanılan tipi, yeniden kullanım işlemidir. Mevcut asfalt üstyapı malzemesi kaldırılarak, yeni agrega ve asfalt ile karıştırılarak tekrar yerleştirilir (Shahin, 2002).

b) Asfalt Betonu Takviye

Bu yöntem, mevcut asfalt betonu veya portland çimentosu betonu üzerine bir veya daha fazla asfalt betonu tabakası ilave etmektir.

Bu yöntem, kayma direnci ve sürüş kalitesi gibi fonksiyonel gereksinimler veya yapısal kapasiteyi artırmak için kullanılır. Asfalt betonu takviyenin kullanımı, genellikle mevcut üstyapı durumu hala iyi iken daha ekonomiktir.

c) Yeniden inşaat

Bu yöntem, mevcut üstyapının kaldırılması ve yenisiyle değiştirilmesidir. Mevcut üstyapı aşırı derecede bozulduğunda ve ekonomik analiz değerlendirmeleri esas alındığında bu yöntem kullanılır. Bu işlem, yeni üstyapı tasarımı ve inşaatına benzer (Shahin, 2002).

2.7. Ekonomik Değerlendirme ile Bakım Takviminin ve Yönteminin Belirlenmesi

Mühendislik ekonomisi ilkelerinin üstyapıları da içeren ulaşım projelerine uygulanması temelde iki düzeyde gerçekleşir. Birincisi, projenin fizibilitesi ve zamanlamasını belirlemek

için gereksinim duyulan yönetim kararlarıdır; ikincisi, proje bir kere seçildikten sonra maksimum ekonomiyi sağlamak için gerekliliklerdir (Haas vd., 1994).

2.7.1. Temel Prensipler

Mühendislik ekonomisi ilkeleri ve ekonomik değerlendirme yöntemleri ile ilgili önemli miktarda kaynak mevcuttur. Üstyapı alanına uygulanabilir ilkeler şu şekilde özetlenebilir:

1. Değerlendirmenin yapılacağı yönetim düzeyi açıkça tanımlanmalıdır; örneğin: yatırım programlaması veya ağ düzeyi; veya ömür döngü stratejisinin proje düzeyi optimizasyonu.
2. Ekonomik analizler, yönetim kararları için temel oluştururken başlı başına birer karar değilleridir.
3. Böyle kararlar için bazı ölçütler açık ve sade olabilmesine karşın tüm ölçütler, kurallar veya rehberler ekonomik değerlendirmenin sonuçları uygulanmadan önce ayrı ayrı formüle edilmelidir.
4. Ekonomik değerlendirmenin, başlı başına bir yöntemle veya bir projenin finansmanı ile ilişkisi yoktur.
5. Ekonomik değerlendirme, zamanlama ve diğer tasarım kaynakları içinde tüm mümkün seçenekleri düşünmelidir. Bu, mevcut durumla tüm seçeneklerin karşılaştırılması demektir.
6. Tüm seçenekler, aynı zaman periyodu için karşılaştırılmalıdır. Değerlendirmede dikkate alınan etkenlerin bazı önemli güvenlik dereceleri ile tahmin edilebilmeleri için belirli bir zaman periyodu seçilmelidir. Alınan kararda en iyi seçeneğin seçiminde belirsizlikler dşnlebilmelidir.
7. Üstyapının ekonomik değerlendirilmesi mümkünse, yapımcı kuruluş maliyetleri, kullanıcı maliyetleri ve kârları içermelidir (Haas vd., 1994).

Kullanıcı maliyetinin hizmet yeteneği düzeyi, şartlar, rehabilitasyon büyüklüğü ve zamanı, bakım büyüklüğü ve zamanlaması gibi durumlarla değişmediği kabulü ile sadece sermaye ve bakım maliyetleri dşnlmek durumundadır. Bu yaklaşım uygun değildir, çünkü, Teksas, Kanada, Ulaşım ve Yol Araştırma Laboratuvarı ve Dünya Bankasındaki araştırmacılar, bu etkenler ile kullanıcı maliyetlerinin önemli miktarda değiştiğini göstermişlerdir. Kârlar, maliyet iskontosu olarak düşünülebilir (Haas vd., 1994).

2.7.2. Üstyapı Maliyetleri

Alternatif üstyapı stratejilerini ekonomik açıdan değerlendirmede düşünülebilecek en önemli maliyetler şunları içerir:

1. Yapımcı Kuruluş Maliyetleri:
 - a. İnşaatın ilk yatırım maliyeti
 - b. İnşaatın veya rehabilitasyonun gelecekteki maliyeti (kaplama, rehabilitasyon, yeniden inşa, vs.)
 - c. Tasarım periyodu boyunca tekrar oluşan bakım maliyetleri
 - d. Tasarım periyodu sonunda kurtarılan veya artan ücret dönüşü (negatif maliyet de olabilir)
 - e. Mühendislik ve yönetim
2. Kullanıcı Maliyetleri
 - a. Seyahat süresi maliyeti
 - b. Taşıt işletme maliyeti
 - c. Kaza maliyeti
 - d. Yüzey yenileme ve büyük bakımlar süresince seyahat süresi gecikmesi ve ek taşıt işletme maliyetleri
3. Kullanıcı ile ilgili olmayan maliyetler
 - a. Hava kirliliği
 - b. Ses kirliliği
 - c. Çevre bozulmaları (Haas vd., 1994)

2.7.3. Üstyapı Faydalarının Belirlenmesi

Ulaşım projesinin faydaları, doğrudan veya dolaylı maliyet iskontolarından ve arazi kullanımından oluşabilir. Önceki kısımda listelendiği gibi, üstyapı faydaları, birincil olarak, kullanıcının ulaştırma maliyetindeki direkt iskontosundan sağlanır. Aynı zamanda, faydayı ek yol kullanıcı vergileri olarak düşünmek de mümkündür. Bu kabul, bütün bir karayolu projesine uygulanabilir olmasına karşın, ek enerji tüketimi anlamında da sorgulanabilir. Bunun bazı eksiklikleri vardır ve üstyapılar için önerilmez.

Üstyapı faydalarını ölçmek ve hesaplamak için, taşıt işletmesi, seyahat süresi, kaza ve konfor bozukluğunun kullanıcı maliyetlerine etki edecek olan üstyapı karakteristiklerini açıklamak

gereklidir. Bunlar, hizmet yeteneği, kayganlık, görünüm, renk, ışık yansıtma karakteristiği olabilir. Yine de, hizmet yeteneği (taşıt işletme maliyetini, seyahat süresi maliyetini, kaza maliyetini, konforsuzluk maliyetini etkilediği için) ve kayganlık (kaza maliyetlerini etkilediği için) en büyük etkiye sahiptir.

Hizmet yeteneği düştükçe, seyahat süresi maliyetleri artar. Çünkü, ortalama seyahat hızı lineer olmayan biçimde düşer. Rehabilitasyon esnasında trafik gecikmelerinden dolayı, yüksek seyahat süresi maliyeti oluşur.

Kullanıcı maliyetlerinin diğer üç bileşeni önemli bir noktaya işaret eder: Üstyapı hizmet yeteneği bitiş düzeyine yaklaştıkça, kullanıcı maliyeti artar.

Proje değerlendirme amacıyla faydaları belirlemede, mevcut trafiğin mi yoksa aktarılan trafiğin mi dikkate alınacağı sorusu düşünülmelidir. Genellikle, bu sorun kendi başına üstyapıdan ziyade, bütün karayolu projeleri ile ilgili olarak ortaya çıkar. Bununla beraber, üstyapı gelişiminin kendiliğinden, mevcut veya aktarılan trafik ile sonuçlanabileceği olasıdır (Haas vd., 1994).

2.7.4. Üstyapı Projeleri için Kullanıcı Maliyetlerinin ve Faydalarının Ölçümü

Kullanıcı maliyetleri, seyahat süresi maliyeti, taşıt işletme maliyeti ve kaza maliyetini içerir. Genel olarak kullanıcı maliyeti (KM) modeli aşağıdaki formdadır:

$$KM = \text{Kaza Maliyeti} + \text{Taşıt İşletme Maliyeti} + \text{Seyahat Süresi Maliyeti} \quad (2.15)$$

Kullanıcı maliyeti hesaplamasında kullanılan anahtar değişkenler:

- Ortalama Günlük Trafik,
- Trafikteki ağır taşıt yüzdesi,
- Taşıt işletme maliyeti (taşıt başına birim uzunluk maliyeti),
- Seyahat süresi maliyeti (taşıt başına birim uzunluk maliyeti),
- Kaza oranları, durum değişkenlerindeki (PSI vd) değişim nedeniyle kaza oranındaki değişim (kaza başına birim maliyet)
- Bakım uygulaması esnasında trafik gecikmesi ve yolun uzaması nedeniyle ilave maliyetler (taşıt başına birim uzunluk maliyeti).

Yol durumu ile trafik arasındaki ilişki, özellikle bakım kararının ekonomik çözümlemesinde önemlidir. Yol durumu farklı şekillerde yol trafiğini etkiler. Bu etkiler:

- Taşıt maliyetleri (yakıt, bakım ve onarım maliyeti, lastik aşınması),
- Seyahat süresi (hızdaki değişimin maliyeti),
- Konfor,
- Yol güvenliği,
- Çevre (emisyon, gürültü).

Birçok trafik etkisi, trafik etki modelleri kullanılarak trafik durumu özelliklerinden tahmin edilebilir. Bu modeller, belirli bir süre için nispeten sabit kalabilir. Trafik etkileri para cinsinden belirlenebilir, böylece trafik maliyetine dönüştürülür. Bu değerler, hızlı bir biçimde değişir. Trafik maliyetinin tam değerini belirlemek oldukça zordur. Trafik ilave maliyetleri için önerilen seçenek parametre:

$$\text{Trafik maliyeti} = \text{Mevcut trafik maliyeti} - \text{En iyi durumdaki trafik maliyeti} \quad (2.16)$$

olarak kullanılabilir (RIMES, 1999).

2.7.5. Tasarım veya Analiz Periyodu

Trafik için tasarım veya analiz periyodu için üst limit olarak genellikle 20 yıl kullanılır. Kullanılan iskonto oranına bağlı olarak, gelecek zamanlardaki maliyetlerin veya faydaların bugünkü değeri önemsiz olabilir. Ulaşım projelerinin çoğunda, 20-30 yıllık bir dilim kullanır ve bu üstyapılar için mantıklı görünmektedir (Haas vd., 1994).

2.7.6. İskonto ve Faiz Oranı

İskonto oranı, gelecekte beklenen maliyet ve faydaları, bugünün terimlerine indirgemek için kullanılır. Bu oran, gelir ve sermaye kullanımlarını karşılaştırmayı sağlar. Terimler bazen birbirlerinin yerlerine kullanılabilirler de aslında borç alma ile ilgili olan faiz oranı ile karıştırılmamalıdır.

Yapımcı kuruluşların hesaplamalarında kullanılacak olan bu oran, temelde politika ile ilgilidir. Yapımcı kuruluşların çoğu, bütün ekonomik değerlendirmeleri için tek bir analiz yöntemi kullanırlar. Üstyapı alanında genellikle % 4 ila 10 arası iskonto oranı kullanılır.

İskonto oranı çok önemli bir etkidir ve ekonomik çözümlemenin sonuçları üzerinde büyük etkisi olabilir (Haas vd., 1994).

2.7.7. Enflasyon

Ekonomik bir değerlendirmede enflasyonun nasıl dikkate alınacağı sorusu, bir çok mühendisi ve yöneticiyi ilgilendirir. Fiyatların değişeceğine dair önemli delillerin olmaması durumunda, değerlendirmede enflasyon kullanılmaz. Üstyapı projelerinin ekonomik değerlendirmesinde enflasyon etkeninin kullanılmamasıyla ilgili sebepler şunlardır:

1. Enflasyonu tahmin etmesi çok zordur.
2. Karayolu ekonomi çalışmalarında enflasyon kullanılmışsa, bugünün daha büyük sermaye yatırımlarını doğrulama eğiliminde olmalıdır.
3. Eğer enflasyon dikkate alınırsa, maliyetler kadar faydalar da artar, böylece bunların nispi büyüklükleri de aynı kalır.
4. Ekonomik değerlendirmenin amacı, yönetime karar verme için bir araç sağlamaktır.
5. “Gerçek sabit dolarlar” ekonomik analizler için daha iyi bir araçtır.

2.7.8. Kurtarılan veya Kalan Değer

Kurtarılan veya kalan değer, ekonomik analizlerde bazı yapımcı kuruluşlarca kullanılır. Bu değer, tasarım periyodunun sonunda tekrar kullanılabilir materyallerin değerini gösterir. Özellikle tekrar çalışabilen ve tekrar kullanılabilir türde malzemelerin yeni bir üstyapıda dikkate alınması, gelecekte önem kazanabilirler. Bir malzemenin kurtarılan değeri, malzemenin hacmi, kirlenmesi, yaşı veya ömrü, tasarım periyodu sonunda beklenen kullanımı gibi birkaç etkene bağlıdır. Bu, toplam maliyetin yüzdesi olarak projelendirmede kullanılabilir (Haas vd., 1994).

2.7.9. Ekonomik Değerlendirme Metotları

Alternatif üstyapı tasarım stratejilerinin değerlendirilmesinde birkaç ekonomik analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar, şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi, basitçe *yıllık maliyet yöntemi*,
2. Bugünkü değer yöntemi:
 - a. Maliyetler

- b. Faydalar
 - c. Fayda eksi maliyet; genellikle *net bugünkü değer* olarak anılır,
3. Dönüş oranı yöntemi,
 4. Fayda maliyet oranı yöntemi,
 5. Maliyet etkinlik yöntemi.

Bu yöntemlerin, maliyetler ve faydaların gelecekteki eğilimlerini belirlemede önemli katkıları vardır. Böylece seçenek yatırımlar karşılaştırılabilir. Zaman geçtikçe paranın değerindeki farklılıklar, kullanılan bileşik faiz eşitliklerine yansıtıldığı gibi, bu tür karşılaştırmalar için yöntem sağlarlar.

a) Bir Değerlendirme Metodunun Seçiminde Temel Düşünceler

Alternatiflerin ekonomik değerlendirilmeleri için en uygun yöntemin seçiminde birkaç temel düşünce vardır:

1. Gelecekteki beklenen maliyetleri karşılaştırmada ilk yatırım maliyetleri ne kadar önemlidir? Bir ekonomik analiz, örneğin, özel bir seçenek için, bugünün küçük miktar yatırım maliyetlerinin gelecekteki büyük maliyetlerle sonuçlanabileceğini işaret edebilmektedir. Sınırlı fon durumunda, düşük yatırım maliyetleri en mantıklı çözüm olabilmektedir. Böyle durumlar ekonomikliği göstermeyebilir, fakat gerçekçidir.
2. Karar verici için, hangi analiz yöntemi en anlaşılabilir? Örneğin, bir yapımçı kuruluşların yıllarca, iyi bilinen bir fayda/maliyet oranı yöntemini kullandığını düşünelim. ancak, eldeki problem için bu en uygun yöntem olmayabilir. Fakat daha iyi bir metoda geçiş zor ve fazlasıyla uzun süre alabilir.
3. Belirli bir yapımçı kuruluşun gereksinimlerine hangi yöntem daha iyi uyar? Daha önce belirtildiği gibi üstyapı inşa eden yapımçı kuruluşlar için net bugünkü değer yöntemi daha tercih edilebilir olmasına karşın, özel olarak yapılmış bir üstyapı için yıllık maliyet yöntemi daha uygun olabilir.
4. Analizlerde faydalar dikkate alınmalı mıdır? Üstyapı seçenekleri arasındaki faydalardaki farklılıkları hesaplamayan her yöntem, temelde genel bir yapımçı kuruluşların kullanımı için eksiktir. Yine de, özel durumlarda, çeşitli seçenekler için eşit faydalar ön kabulü başarılı olabilir (Haas vd., 1994).

b) Eşdeğer Düzenli Yıllık Maliyet Metodu

Eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi, analiz periyodu üzerinde tüm ilk sermaye maliyetlerini ve gelecekte oluşacak tüm masrafları eşit yıllık ödemeler içine kombine eder. Bu yöntemde, yıllık bakım ve işletme maliyetlerini ve kullanıcı maliyetleri ortalama değerler olarak düşünülür. Eşdeğer düzenli yıllık maliyet yönteminin en önemli cazibesi, sadeliği ve anlaşılabilirliğidir. Fakat, değerlendirmede faydaları içermez. Sonuçta, seçenekler arası karşılaştırmalar, faydaların eşit olduğu temel varsayımı ile beraber, sadece maliyet temelinde yapılmalıdır. Yine de, bazı seçenekler arasında araç işletme maliyetlerindeki farklılıkların dahil edildiği durumlarda bu varsayım sorgulanabilir. Maliyetlerin bugünkü değeri yöntemi, eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi ile direkt olarak karşılaştırılabilir (Haas vd., 1994).

c) Bugünkü Değer Metodu

Bugünkü değer yöntemi, maliyetleri tek başına, faydaları tek başına veya maliyetleri ve faydaları birlikte inceleyebilir. Bütün gelecekteki toplamların uygun bir iskonto oranı kullanılarak bugüne indirgenmesini içerir. İndirgeme amacıyla maliyetler veya faydalar için kullanılan etken aşağıdaki gibidir:

$$pwf_{i,n} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (2.17)$$

burada;

$pwf_{i,n}$ = bugünkü değer etkeni

i = İskonto oranı

n = yıl sayısı

Analiz periyodunun sonundan önce ek sermaye masrafları çıktığı zaman, eşdeğer düzenli yıllık maliyet yönteminde maliyetlerin bugünkü değeri kullanılır.

Üstyapılar için, indirekt kullanıcı faydaları ve kullanıcıyla ilgili olmayan faydaların iyi bir biçimde ölçülüp ölçülmediği sorgulanabilir. Bu nedenle, diğer etkenlerin ölçülebileceği zamana kadar, sadece direkt kullanıcı faydalarını dikkate almak mantıklı olabilir. Net

bugünkü değer yöntemi, bahsedilen yöntemi takip eder. Çünkü, bu basitçe faydaların bugünkü değerleri ile maliyetlerin bugünkü değerleri arasındaki farktır. Eğer bir projenin ekonomik olduğu doğrulanacaksa, faydalar maliyetleri geçmelidir.

“Geleneksel” yıllık maliyet ve fayda/maliyet yöntemleri ile karşılaştırıldığında, net bugünkü değer yöntemini, karayolları alanında, belki de en uygun yöntem yapan bazı avantajlar vardır. Bu avantajlar şunlardır:

1. Bir projenin fayda ve maliyetleri tek bir değer olarak ilişkilendirilir ve açıklanır.
2. Farklı servis ömürleri ile projeler direkt olarak ve kolayca karşılaştırılabilir.
3. Tüm maliyetler ve faydalar bugünkü değer şeklinde açıklanır.
4. Parasal olmayan faydalar (veya maliyetler) değerlendirilebilir ve bir maliyet etkinlik değerlendirmesi uygulanabilir.
5. Analiz sonucu, proje için toplam ödeme olarak verilir.
6. Metot hesaplama açısından basit ve açıktır.

Net bugünkü değer yönteminin birkaç dezavantajı da şu şekilde sıralanabilir:

1. Metot, faydaları tahmin edilemeyen seçeneklere uygulanamaz. Böyle durumlarda, her bir seçenek, diğer seçenekler ile karşılaştırılarak değerlendirilebilir.
2. Toptan ödenen para şeklindeki sonuç, bazı insanlar için dönüş oranı veya yıllık maliyet gibi kolayca anlaşılabilir değildir. Aslında, bazı durumlarda, bu şekilde maliyetler toplamı, yatırımlar için caydırıcı bir rol oynayabilmektedir (Haas vd., 1994).

d) Dönüş Oranı Metodu

Bazı karayolu yapımcı kuruluşlarca kullanılan dönüş oranı yöntemi, hem faydaları hem maliyetleri dikkate alır ve bir proje için faydaların ve maliyetlerin eşit olduğu durumlardaki iskonto oranını belirler. Dönüş oranı, eşdeğer düzenli yıllık maliyetin eşdeğer düzenli yıllık faydaya eşit olduğu durumdaki orandır.

Dönüş oranı yönteminin, sonuçların karar vericiler tarafından iyi anlaşılması bakımından önemli bir avantajı vardır. Normal işletme terimleri ile yakınlığından dolayı, bir yatırımdaki dönüş miktarını belirlemek kolaydır. Bunun gibi sebeplerden ve ağ yatırımlarına

uygulanabilirliğinden dolayı, karayolu yapımcı kuruluşlarınca tercih edilir. Yine de, dönüş oranı yönteminin şüpheli sonuçlar verdiği durumlar olabilmektedir (Haas vd., 1994).

e) Fayda-Maliyet Oranı Metodu

Fayda/maliyet oranı yöntemi, karayolu alanında, tüm yöntemler arasında belki de en yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu, bir seçeneğin faydasının bugünkü değerinin, maliyetinin bugünkü değerine oranının veya eşdeğer düzenli yıllık faydanın, eşdeğer düzenli yıllık maliyete oranının bulunmasıdır. Faydalar, seçeneklerin karşılaştırılması ile oluşturulur. Mühendis, ekonomistlerin çoğu tarafından tercih edilen bugünkü değer formülasyonunu kullanarak, fayda/maliyet oranı aşağıdaki eşitlikteki gibi açıklanabilir (RIMES, 1999):

$$\text{Fayda/ Maliyet Oranı} = \frac{\text{TIM} + \text{KM} + \text{SSM}}{\text{BM}} \quad (2.18)$$

Burada,

TIM= Taşıt İşletme Maliyetindeki Azalma,

KM= Kaza Maliyetindeki Azalma,

SSM= Seyahat Süresi Maliyetindeki Azalma,

BM= B ve R maliyetini göstermektedir.

Önerilen bir dizi seçeneğin fayda/maliyet oranlarının hesaplanması, eşitlik 2.18 yardımıyla, standart veya temel seçenek ile karşılaştırılarak yapılır. Sonra, 1.0'den daha büyük oran veren seçenekler, detaylı bir şekilde karşılaştırılırlar.

Fayda/maliyet oranı yönteminin bazı dezavantajları da vardır. En önemlisi, oranın tek başına kavranması zor olan soyut doğasıdır. Diğer bir dezavantaj, bakım maliyet iskontosunun payda mı yoksa paydada mı olması gerektiği, maliyet iskontolarının fayda mı yoksa maliyet mi olduğu gibi karışıklıklardır (Haas vd., 1994).

f) Maliyet Etkinlik Metodu

Maliyet etkililik yöntemi, önemli, parasal olmayan çıktıların dikkate alındığı seçeneklerin karşılaştırılmasında kullanılabilir. Kazanılacak faydaların avantajlarının belirlenmesini içerir. Bu, estetik oranlama, konfor indeksi, hizmet yeteneği indeksi gibi etkililik veya faydanın ölçümlerinin belirlenmesini gerektirir.

Bu analiz yöntemindeki masraflar genellikle maliyetlerin bugünkü değeri şeklinde ifade edilir. Yine de, etkinlik ölçümleri bugünkü değere indirgenemez; bu sebeple bunlar, belli bir zaman dilimindeki ortalama değer ya da belli zamanlardaki değerler olarak gösterilmelidir.

Alternatif tasarım stratejilerini, maliyetler temelinde karşılaştırmak gerçekten bir maliyet etkinlik yöntemidir. Bu, minimum hizmet yeteneği indeksinin tasarımcı tarafından belirlendiği ve analiz periyodu boyunca bütün seçenek stratejilerin minimumundan geçmesi gerektiği ölçütüne dayanır. Yine de, kullanıcı maliyetleri ve faydalar hizmet yeteneği düzeyi ile değiştiği için, bütün seçeneklerin hizmet yeteneği düzeyleri minimumun altında kalırsa eşit etkililiklere sahip olduğu iddiası sorgulanabilir. Dahası, minimum hizmet yeteneği düzeyi bütün seçenek stratejileri için aynı olmayabilir (Haas vd., 1994).

2.7.10. Optimal Tasarım Stratejisinin Seçimi

a) Karar Vericinin Rolü

Üstyapı yönetim sistemi doğrudan karar vermez. Karar verme yöneticilerin işidir. Ne yazık ki, hâlâ, bir üstyapı yönetim sistemi kullanımının karar vericilerin karar verme fonksiyonlarını engellediği yanlış algılayışı vardır.

Bir üstyapı yönetim sistemi karar vericinin rolünü genişletir. İşlenmiş bilgileri veya girdileri önceden seçilmiş bir dizi modelle düzenler. Böylece, bilgileri organize etme ve işleme için etkili araçlar sağlar ve karar vericinin odağını ve etkinliğini artırır.

Üstyapı yöneticisinin rolü şudur:

1. Üstyapı yönetim sisteminin şartlara uygun yapılanmasını ve yapımcı kuruluş personeline doğru anlaşılıp kullanılmasını sağlar,
2. Doğru veriyi elde etme ve doğru kullanmayı sağlar.

Karar vericinin rolü ise şudur:

1. Üstyapı yönetim sisteminin çıktılarını analiz edip değerlendirme ve son karara ulaşmak için sonuçları kullanma,
2. Hem tahminleri güncelleme hem de bakım ve rehabilitasyonu içeren sonraki kararları vermede bilgileri takip etme ve kullanma.

Böylece, karar verme fonksiyonunda bir araç olarak geçerli bir üstyapı yönetim sisteminin kullanılmasını sağlamak karar vericinin sorumluluğundadır. Bir projenin seçilmesi için son tasarım kararlarının alınması şunları da içermelidir:

1. Trafik, malzeme özellikleri, iklim etkenleri ve birim maliyetler gibi proje tasarım etkenleri üzerinde elde edilen detaylı bilgi,
2. Minimum tabaka kalınlığı, “homojen” kısımların boyu ve maksimum maliyetler gibi kısıtlar,
3. Proje için tabaka malzemeleri ve kalınlık stratejileri (Haas vd., 1994).

b) Optimal Strateji Seçimi için Esaslar

Yürütme için bir tasarım stratejisinin son seçimi kısmen sübjektiftir. Karar için ekonomik analizlerin bir temel oluşturması gerekmesine karşın, tamamen takip edilebilecek kuralları yoktur.

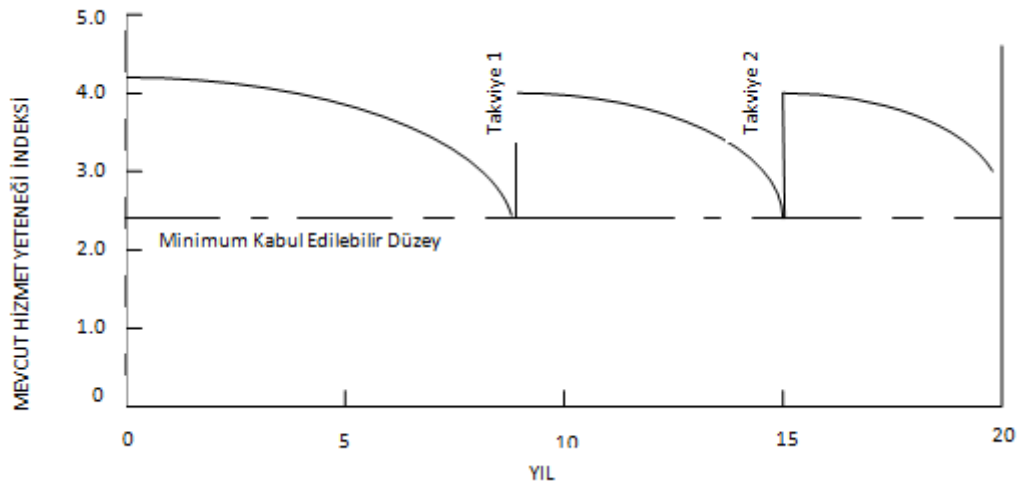
Son seçimi yapmak ve ekonomik analiz sonuçlarının maksimum kullanımını sağlamak için, sadece ekonomik olarak en optimal strateji değil, aynı zamanda birkaç yaklaşık optimal strateji de belirlemelidir.

Strateji seçiminde düşünülebilecek etkenlerden biri risktir ki bu, istenilen performansın başarıma olasılığıdır. Herhangi bir tasarım seçeneğinin güvenilirliği artarsa, yapımcı kuruluş maliyetleri ve bununla beraber kullanıcı maliyetleri büyük olasılıkla düşecektir.

Sonuçta karar alma, bir tasarım stratejisinin seçimi ile sona ermez. Üstyapı inşa edildikten sonra, kararlar periyodik olarak “yenilenmelidir” (Haas vd., 1994).

c) Sonuçları İletme

Bir tasarım projesinin analiz sonuçları, üstyapı yönetim sistemlerine girdi olan ölçülebilir etkenler ile üstyapı uygulayıcı tarafından değerlendirilmiş sübjektif etkenler dikkate alınarak üstyapı kesimi için optimum strateji seçilir. Üstyapı yönetiminin etkili olabilmesi için, analiz sonuçları yapımcı kuruluş tarafından dikkate alınmalıdır. Bu, sadece projenin ilk inşasını içermekle kalmaz; bununla beraber, üstyapı yönetim sistemi analiz boyunca geliştirilmiş bakım ve rehabilitasyon programlarını da içerir. Tasarım stratejisinin ilerletilmesinin önemi, özellikle tahmin edilen performans ve inşaat için gelecekteki bakım ve rehabilitasyon gereksinimlerinin belirlenmesidir. Şekil 2.43 optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneğini göstermektedir (Haas vd., 1994).



Şekil 2.41. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği

2.8. Üstyapı Yönetim Sistemi Literatür Taraması

Kırbaş (2007), yaptığı çalışmada, bir bölgeye ait üstyapıların bakım, onarım ve yenileme periyotlarını belirlemek amacıyla kurulacak bir ÜYS'de kullanılabilecek veri türleri ve bu veri türlerinin birbirleriyle ilişkileri açıklanarak üstyapı yönetiminde ne amaçlarla kullanılabileceğine değinmiştir. Bununla beraber, Beşiktaş ilçesi ana arter yol ağına ait belirlenen 20 kesimde Amerika test ve malzemeler derneğinin (American Society for Testing and Materials, 1999) yayımladığı üstyapı bozulma kılavuzu standardına uygun üstyapı bozukluk verilerini toplamıştır. Toplanan bu veriler PAVER adı verilen yönetim sistemi ile değerlendirilerek, kesimlere ait üstyapıların mevcut durumunu 0 – 100 aralığında bir değerle ifade edebilen Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index – PCI) değerlerini hesaplamıştır. Kesimlere ait bulunan bu PCI değerleri ile üstyapıların mevcut durum değerlendirmelerini yapmış ve söz konusu kesimlerde gerek ağ gerekse proje düzeyinde

kurulabilecek bir ÜYS'nin temelleri oluşturulmaya çalışılmıştır. Ayrıca çalışmada belirlenen ağdaki görülen bozulma türlerinin oluşma nedenleri yük, iklim ve diğer (malzeme özellikleri vs.) başlıkları altında incelenerek her kesimde ve tüm ağda bozulma değerlendirmeleri yapılmıştır.

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

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

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

Choi vd. (2004), uluslararası düzgünsüzlük indeksi (International Roughness Index - IRI) değerini tahmin edebilen bir model geliştirmiştir. Çalışmada literatürde IRI değerini tahmin

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

Abaza vd. (2004), 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 rasgele seçimini esas alırken, ikinci yaklaşım ise aynı durumdaki üstyapılardan en kötüsünün seçimini dikkate alır. Optimizasyon işleminde, penaltı fonksiyon yöntemi ve üniform araştırma yöntemi olmak üzere iki farklı optimizasyon yöntemi kullanmışlardır.

Uzan (2004) çalışmasında, esnek üstyapılardaki kalıcı deformasyonun değerlendirilmesi için mekanistik-ampirik bir model geliştirmiştir. Bu model, oransal malzeme özelliklerini kullanmaktadır ve analiz aracı olarak da kullanılabilir. Geliştirdiği yöntem, basit yaklaşımları ve lineer elastik ile nonlinear sonlu eleman yaklaşımlarını karşılaştırabilir. Ayrıca önerdiği yöntem, tüm tasarım periyodunda her saatteki gerçek sıcaklık dağılımını kullanmaktadır. Bunun yanında, iyi tasarlanmış üstyapılardaki tekerlek izi derinliğini de hesaplayarak değerlendirebilmektedir. Yazar, farklı koşullar altındaki üstyapı tepkilerinin sonuçlarının beklenen aralıkta olduğunu ifade etmiştir.

Kulkarni vd. (2004), 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 uygulandığında büyük sınırlılıklara sahip olduğunu ifade etmişlerdir. Yazarlar çalışmalarında, fayda/maliyet çözümlemesinin pratik sınırlılıklarını ve bu sınırlılıkların üstesinden nasıl bir gereksinim tabanlı yaklaşım ile gelinebileceğini tartışmışlardır. Kansas'ın şehir karayolu

yatırım programı için gereksinim tabanlı yaklaşımın başarılı bir uygulamasını da tanımlamışlardır.

Lee ve Russell (2004) çalışmalarında, panel verilerini kullanarak asfalt betonu üstyapının ve inşaat karakteristikleri ile düzgünsüzlük arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Birkaç panel modeli geliştirmişlerdir. Çalışmalarının sonucunda, rasgele etkili modelin en iyi tahmin sonucunu verdiğini görmüşlerdir. Ayrıca, bazı üstyapı ve inşaat karakteristiklerinin üstyapı düzgünsüzlüğünü önemli ölçüde etkilediğini belirlemişlerdir.

Chen vd (2004), trafik yükleri altındaki üstyapının tüm tabakalarının tekerlek izi derinliği ve yığışımlı plastik gerilmelerindeki artışlar nedeniyle oluşan malzeme özelliği değişimini belirlemek amacıyla bir mekanistik ampirik model geliştirmişlerdir. Ayrıca, kalıcı deformasyonu tahmin etmek amacıyla tekerlek izi modeline girdi olan üstyapı tepkilerini hesaplamak için üç eksenli dinamik sonlu eleman simülasyonu yapmışlardır. Çalışma sonucunda, geliştirdikleri mekanistik ampirik modelin tekerlek izi tahmininde tutarlı sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

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

Cline, Shahin vd. (2003), PAVER sisteminde kullanılan PCI değerini belirlemek için geliştirilmiş olan ve üstyapı mühendisleri tarafından ölçümler ve görsel değerlendirmeler şeklinde toplanan üstyapı bozulma verilerinin, günümüzde geliştirilmiş ve otomatik hale getirilmiş bilgisayar teknolojileriyle uygulanabilirliğini araştırmışlardır. Çalışmada mevcutta kullanılan 35 mm analog sürekli film, dijital kamera ve yol bozulma verilerini toplamak amacıyla geliştirilmiş dijital çizgi tarama teknolojisi kullanılarak toplanan veriler kendi yazılımlarıyla değerlendirilerek bozukluk verileri ve yoğunlukları elde edilmiştir. Elde edilen bu

bozulma verilerinden PCI değerlerine ulaşılmıştır. Aynı alanlar için sistemin temelinde kullanılan üstyapı mühendislerinin değerlendirmeleri ve ölçümleriyle elde edilen verilerden PCI değerleri hesaplanarak bu değerler karşılaştırılmıştır. Çalışmanın sonucunda her iki yöntemle elde edilen PCI verilerinin benzer sonuçları verdiği saptanmıştır. Ayrıca otomatik veri toplama yöntemleri kullanılarak çok daha hızlı ve güvenilir verilerin toplanabileceği, yaklaşık 340000 m² alanda yapılan gözlemler için iki yöntemin maliyetinin eşit kabul edilebileceği ve alan büyüdükçe otomatik veri toplama yönteminin daha ekonomik hale geldiği, değerlendirmeler sırasında üstyapı mühendislerinin verdiği bozulma tipi ve yoğunluğu kararlarının daha standart ve güvenilir hale geldiği sonucuna varılmıştır.

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

Prozzi ve Madanat (2003), trafik karakteristikleri, üstyapı yapısal özellikleri ve çevre şartlarının bir fonksiyonu olan üstyapı performansını tahmin etmek için bir devirli nonlinear model geliştirmişlerdir. Modelin tahmin hatasının, mevcut lineer modellerin hatalarının yarısı kadar olduğunu göstermişlerdir. Geliştirdikleri model, geleneksel olarak kullanılan değerlerden farklı olarak farklı dingil konfigürasyonları için eşdeğer yükleri tahmin edebilmektedir.

Herabat ve Songchitruksa (2003), mevcut Tayland karayollarında bakım ve rehabilitasyon uygulaması seçiminde mühendislik yargılarının kullanılması nedeniyle tutarsızlık ve etkisizlik problemlerinin ortaya çıktığını belirtmişlerdir. Bu problemin üstesinden gelmek için, esnek üstyapı bakım ve rehabilitasyon uygulaması seçiminde kullanılmak üzere Tayland Üstyapı Bakım Karar Destek Sistemini geliştirmişlerdir. Bu sistemin, hem veri tabanı yönetim sistemleri hem de bakım karar modellerini birleştirdiğini belirtmişlerdir. Sistemin ana bileşenlerini, Envanter Modülü, Alan İnceleme Modülü, Bozukluk Açıklama Kolaylığı ve

Rapor Modülünden oluşturmuşlardır. Geliştirdikleri sistemi gerçek deney değerleri ve uzman yargıları ile karşılaştırmış ve doğrulamışlardır.

Attoh-Okine (2002), çalışmasında üstyapı performans modellemesinde yapay sinir ağları ve düzgünsüzlük uygulamalarını birleştiren bir model geliştirmiştir. Geliştirdiği modelde, düzgünsüzlük verilerini yapay sinir ağı modeli için girdi olarak kullanmıştır. Modelin örnek uygulaması için Kansas Department of Transportation'dan alınan gerçek veriler kullanılmıştır.

Madanat vd. (2002), çalışmalarında öncelikle AASHO (American Association of State Highway Officials) yol deneyi ile toplanan verileri mevcut kaynaklardaki modeller kullanılarak analiz etmişlerdir. Daha sonra, esnek üstyapıların optimum tasarımını belirlemek için ekonomik optimizasyon ilkelerinin kullanımını göstermişlerdir. Son olarak ta, bu modelleri birbirleri ile karşılaştırmışlardır. Sonuçta AASHO modelinin, olasılıklar kuramına göre daha düşük ömür döngüsü maliyeti verdiğini bulmuşlardır.

Tsunokawa vd. (2002), üstyapı tasarım standartlarının gelişmekte olan ülkeler ile sanayileşmiş ülkeler arasında farklılık gösterdiğini belirlemişlerdir. Aynı tasarım standartlarını kullanmanın başlangıç inşa maliyeti ile sonraki bakım maliyetleri arasındaki ve yapımçı kuruluş maliyetleri ile kullanıcı maliyetleri arasındaki farklı ticari ilişkiler nedeniyle ekonomik olmadığını göstermişlerdir.

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

üstyapı durumunu tahmin etmeye yönelik modellerin sonuçlarının çoklu regresyon tekniği ile oluşturulan modellere göre uzman görüşlerini daha iyi yansıttığını vurgulamışlardır. Ayrıca PCI gibi üstyapı bozukluklarını değerlendirerek mevcut durumu belirleyen indekslerde verilerin otomatik toplanması ve değerlendirilmesinde kullanılan görüntü işleme tekniğinde, yapay sinir ağlarının önemi üzerinde durarak bu teknikle daha doğru sonuçlara ulaşılabilceğini belirtmişlerdir.

Ay (2001), Antalya kentinde bulunan devlet yollarının güncel üstyapı ve yüzey durumlarını araştırmıştır. Değişik performans ölçütleri altında yol kesimlerini incelemiş, mevcut durum çözümlemesi yapmış, gözlem ve fotoğraflama yöntemi ile üstyapıdaki bozulmaları tespit etmiştir. İncelediği 3 devlet yolundan yüzey bozulmalarının dağılımı ve miktarı ile YOGT değeri en fazla olan güzergah için üstyapı yönetim sistemi oluşturmuştur.

Gulen vd. (2001), 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 YOGT (Yıllık Ortalama Günlük Trafik) değerine bağlı olarak tahmin etmektedir. Genel olarak buldukları regresyon katsayısı (R^2) 0,50 civarında olmuştur.

Sundin ve Braban-Ledoux (2001) üstyapı mühendisliği alanında, 1980'lerden itibaren kaynaklardaki yapay zeka esaslı uygulamaları araştırmışlardır. Karşılaştıkları uygulamaların özellikle üstyapı yönetimi alanında yoğunluk gösterdiğini fark etmişlerdir. Bu uygulamaların da daha çok üstyapı gereksinimlerinin belirlenmesi ve bakım yönteminin seçilmesi konusunda olduğunu belirlemişlerdir. Kullanılan yapay zeka yöntemlerinin ise, uzman sistemler, yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma ve melez (hybrid) sistemler olduğunu görmüşlerdir.

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

Amado (2000), üstyapı yönetim sistemlerinde değerlendirmeler yapmak amacıyla toplanan çok fazla verinin veri tabanlarında bilgi keşfetme tekniği (Knowledge discovery in databases - KDD) ile değerlendirerek, bu verilerden kesimlere ait gelecek durumunu tahmin etmeye yönelik bir çalışma yapmıştır. Çalışmasında, Missouri Ulaştırma Bakanlığı 1995 ve 1999 yılları arasında otomatik veri toplama yöntemleri ve uzmanlar tarafından toplanan tekerlek izi, sürüş kalitesi, üstyapı bozulmaları, tabaka kalınlıkları vb. gibi çok sayıda üstyapı verisini değerlendirerek, verileri toplanan bu kesimlere ait mevcut hizmet verebilme oranı (Present Serviceability Ratings - PSR) değerini tahmin etmeye yönelik bir model oluşturmuştur. Sonucunda üstyapı yönetim sistemlerinde kullanılan bakım ve onarım stratejilerinin belirlenmesinde üstyapıya ait tüm verilerin etkili olduğunu ve bu stratejilerin tahmininde bu verilerin kullanılması gerektiğini göstermiştir.

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

Otto ve Ariaratnam (1999), performans ölçüm sistemlerinin genel kuramlarını açıklamış ve karayolu bakımında bu kuramların uygulamalarının örneklerinden bahsetmişlerdir.

Attoh-Okine (1999), esnek üstyapı performansını tahmin etmek amacıyla eğitilen yapay sinir ağları algoritmalarında momentum ve öğrenme oranının etkisini göstermek için, gerçek üstyapı durumu ve trafik verilerini kullanmıştır. Pan vd. (1999), 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. Bakım gereksinimlerini belirlemek için fayda/maliyet çözümlemesi yöntemini kullanmışlardır.

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

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

Owusu-Ababio (1998), 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 modeli kullanmıştır. En iyi modelin tek gizli tabakalı model olduğunu belirlemiştir.

Jahren vd. (1998), 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. Bu performansları nedeniyle, düşük hacimli yollarda rehabilitasyon için yeniden kullanılan soğuk asfaltı önermişlerdir.

İyınam (1997) çalışmasında, üstyapı yönetim sistemini genel çizgileri ile tanımlamış ve teknolojik gelişimi üzerinde durmuştur. 18 bölgeye ait uluslararası düzgünsüzlük indeksi (International roughness index - IRI) değerleri ile bu bölgelere ait trafik ve sıcaklık değerlerini kullanarak bir üstyapı performans tahmin modeli geliştirmiş ve buna bağlı olarak üstyapı iyileştirme programının oluşturulması ile ilgili bir yöntem önermiştir. Ayrıca, Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü (KGM) için Pavement Management System Ltd. tarafından 1994 yılında tasarlanan bir üstyapı yönetim sistemi ve yürütülmesi hakkında bilgiler vermiştir.

Ayvalık (1996), 1993 yılında Pavement Management System Limited şirketi ile Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan pilot çalışmanın sonuçlarını çözümlemiştir. Pavement Management System Limited tarafından önerilen tamsayı programını (integer programming) modifiye ederek kullanmıştır. Beş yıllık programlama periyodu için sekiz farklı rehabilitasyon seçeneğini çözümlemiştir. Performans tahmin modelini AASHTO 86’dan almıştır. Matematiksel modeli, maliyet verimlilik sayısını maksimize etmeyi amaçlamaktadır. Bir optimizasyon programı olan LINDO ile kendi modelinin sonuçlarını karşılaştırmış, sonuçta kendi modelinin üstyapı onarım projelerinde kullanılabileceğini göstermiştir.

Fwa ve Chan (1993), karayolu üstyapı bakım gereksinimlerinin öncelik ataması için yapay sinir ağları yönteminin kullanımını göstermişlerdir. Test sonuçları, yapay sinir ağlarının ağ düzeyinde öncelik oranlaması için karayolu yapımçı kuruluşları tarafından kullanılabileceğini göstermiştir.

Ramaswamy ve Ben-Akiva (1990) çalışmalarında, üstyapı verilerinden üstyapı bozulmasının tahmin edilmesi için geleneksel yöntemleri kullanmışlardır. Genel olarak kullanılan yöntemleri özetleyip örnek bir çalışmada kullanarak sonuçları karşılaştırmışlardır. Ayrıca bakım planlamasında performans tahmin modellerinin öneminden bahsetmişlerdir.

Tavakoli vd. (1990), çalışmalarında, küçük toplumlar için bir Üstyapı Yönetim Sistemi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri sistem yedi modül içermektedir: (1) Envanter, (2) Bozukluk incelemesi, (3) Bakım/Rehabilitasyon, (4) Birim maliyetler, (5) Bozulma oranları, (6) Öncelik oranlaması ve amaçlar, (7)Yedekleme. Geliştirdikleri modelin kolay kullanılabilir ve uygulanabilir olduğunu göstermişlerdir.

Uzun (1990), 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, AASHTO 86 parametrelerini kullanarak, yeni bir üstyapı tasarımı da yapmaktadır. Yeni üstyapı tasarım çıktıları, inşaat için tüm tasarım parametreleridir.

Jackson (1989), Washington eyaletinde uygulanan ÜYS çalışmasını tanımlamıştır. Dört bilgisayar programı kullanarak geliştirdiği sistemde, hem yıllık hem de 6 yıllık rehabilitasyon projeleri için en maliyet etkili stratejinin önerilmesini sağlamak amacıyla karar vericiler için bir öncelik rehberi elde edilmektedir. Veri dosyalarının açılması, veri işleme programlarının çalıştırılması, rehabilitasyon optimizasyon programlarının işletilmesi ve Washington eyaletinin üstyapı yönetiminde nasıl kullandığını tartışmıştır.

Hajek ve Phang (1989) 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. Hazırladıkları bu eylem planını, bölgesel çalışanların deneyimleri ile ilişkilendirmişlerdir. 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 duyarlık çözümlemesini yapmışlardır.

Markov vd. (1987), 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 (1987) çalışmasında, üstyapı performans tahmini ve modellemesi kavramlarını tanımlamıştır. Ayrıca tahmin modellerini gruplandırarak kısaca özelliklerinden bahsetmiş, performans modelinin geliştirilmesi ve kullanımı için kullanılan yöntemleri özetlemiştir. Ayrıca, performans modellerinin kısıtlarından da bahsederek ağ ve proje düzeyindeki kullanımını açıklamıştır.

Fwa ve Sinha (1986) çalışmalarında, üstyapı performansı ile olağan bakım arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu iki parametre arasındaki ilişkiyi belirlemede istatistiksel regresyon ve korelasyon çözümlemelerini yapmışlardır. Seksen beş karayolu güzergâhını çözümlemişlerdir. Bu güzergahların, 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. (1986), 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 kullanarak modelin kullanılabilirliğini göstermişlerdir.

Rada vd. (1985), 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. Coucci-Rios ve Sinha (1985), ağ düzeyinde yeniden yüzeyleme önceliklerini belirlemek için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Optimizasyon şemasında, düzgünsüzlük ölçümleri ve trafiği başlıca etkenler olarak dikkate almışlardır. Modelde farklı tip yeniden yüzeyleme çalışmaları uygulamışlardır. Üstyapı düzgünsüzlüğündeki azalma için yeniden yüzeyleme stratejileri ile ilişkili bir performans modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca, gelecekteki düzgünsüzlük tahmini için bir regresyon işlemi kullanmışlardır. Geliştirdikleri optimizasyon modeli, farklı bütçe senaryolarının etkisini çözümleyebilmektedir. Bu model, gelecek 5 yıllık periyotta optimal yeniden yüzeyleme programını elde edebilmek için üstyapı kesimi ve yeniden yüzeyleme stratejisinin ne

olacağını tahmin edebilir. Ayrıca çalışmalarında, optimizasyon modelinin örnek uygulamasını bir ağ üzerinde göstermişlerdir.

Riggins vd. (1985) çalışmalarında, üstyapı hizmet yeteneği indeksi ile başlıca dört bozulma tipini (tekerlek izi, timsah sırtı çatlak, boyuna çatlak ve enine çatlak) kullanarak üstyapı performansı tahmin modeli geliştirilmesi ve esnek üstyapı tasarımında bu yöntemin uygulamasını özetlemişlerdir. Geliştirdikleri yöntem performans tahmin yöntemi olarak S-şekilli eğrileri kullanmaktadır.

Templeton vd. (1985), üstyapı ağının örneklemek suretiyle incelenmesinin, üstyapının mevcut durumu hakkındaki bilgiyi elde etmede yeterli olacağını belirtmişlerdir. Örnekleme, bilgi toplamak için gereken zaman ve insangücü miktarını azaltmak için tercih edilir. Çalışmasında, farklı örnek boyutlarından elde edilen bilginin doğruluğu hakkındaki bazı soruları cevaplamak için Texas eyaletindeki üç ağın incelenmesinden elde edilen sonuçları değerlendirmişlerdir. 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. Ortalama puanın, yüzde 5 örnek ile kolaylıkla elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Shahin ve Becker (1984), üstyapı performans tahmin modeli geliştirmek için Amerika'daki bir havaalanından elde edilen verileri kullanmışlardır. Üstyapı Durum İndeksi (Pavement Condition Index-PCI) adında bir model geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model hem esnek hem de rijit üstyapılar için kullanılabilir. Bu modeli, ilgili çalışmalardaki diğer modellerle karşılaştırarak, onlara göre daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

Sharaf ve Sinha (1984a), olağan bakım maliyeti ile ilgili model geliştirmek için bu tür kayıtlarını ve trafik verilerini kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu yöntemi, örnek bir alana uygulamışlardır. Çalışma sonunda, üstyapı olağan bakım maliyetleri ile üstyapı yaşı ve trafik düzeyi arasında önemli bir ilişki olduğunu belirlemişlerdir.

Sharaf ve Sinha (1984b), Indiana eyaletindeki karayolu sistemi için üstyapı olağan bakım maliyetlerinin çözümlenmesini yapmışlardır. Veri tabanını, 1980-1983 yılları arası 4 yıllık üstyapı bakım kayıtlarından oluşturmuşlardır. Öncelikle, her bir bakım veya onarım uygulaması maliyetlerini değerlendirerek toplam maliyet eğrilerini belirlemişlerdir. Daha sonra, işçi ve malzeme kullanım verileri kullanılarak oluşturulan kaynak tüketim eğrileri çözümlenmiştir. Sonuçta, istatistiksel korelasyon çözümlenmesi yaparak gelecek yıllardaki bakım düzeyi ve önceki yıllardaki bakım harcamaları arasındaki bir ilişki belirlemişlerdir.

Kohn ve Shahin (1982), çalışmalarında askeri amaçlı olarak geliştirilen PAVER üstyapı yönetim sisteminin performansının ekonomik çözümünü sunmuşlardır. PAVER sistemi, pratik yönetim araçları (saklama ve erişim), üstyapı ağ tanımı, üstyapı durum puanlaması, proje öncelikleri, inceleme takvimi, mevcut ve gelecek ağ durumu, bakım ve onarım gereksinimlerinin belirlenmesi, ekonomik çözümün performansı ve bütçe planlamasını içerir. Ekonomik çözümlemede, deney alanından toplanan verileri kullanmışlardır. İki yıllık veriler dört aylık periyotlarda değerlendirilmiştir. Değerlendirme ekibinde 21 üstyapı mühendisi görev almıştır. Çalışmalarında, yıllık olarak maliyetler ve süreler tahmin edilmiştir. Sonuçta, PAVER yöntemi ile üstyapı yönetiminin yıllık maliyetinin, diğer yöntemlerin yaklaşık yarısı kadar maliyete sahip olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca PAVER yönteminin uygulanma maliyetinin, diğer yöntemlerin yaklaşık % 30'u kadar olduğunu belirtmişlerdir.

Haas ve Cheetham (1982), üstyapı ağının bakım ve rehabilitasyonu için toplam harcamaların, iki ayrı çalışmanın optimum kombinasyonu ile sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Bu çalışmaları, alışılmış bütçe kısıtları altında öncelikleri belirlemek ve seçilen herhangi bir program periyodunda bakım ve rehabilitasyon yöntemlerinin belirlenmesi için bir yöntemin tanımlanması olarak belirtmişlerdir. Bu yöntem üstyapı durumu, hizmet yeteneği, yapısal yeterliliği, trafik, birim maliyetler ve diğer bilgilerin toplanması ile başlar. Bakım programlaması, maliyet bedelinin maksimizasyonu kullanılarak bütçeyi esas alır ve farklı bakım uygulamalarını değerlendirir. Rehabilitasyon programlaması ise, benzer şekilde seçenekleri değerlendirir ve programlama periyodunda faydaları maksimum yapan yıllık öncelik listelerini hazırlar. Herhangi bir yıl için bakım ve rehabilitasyon maliyetlerinin toplamı, verilen bütçeyi geçmemesi gerekir. Çalışmalarında örnek bir ağ üzerinde farklı bütçe düzeylerinde yıllık bakım ve rehabilitasyon uygulamalarını programlayan bir örnek uygulama yapmışlardır.

Pedigo ve Hudson (1982) çalışmalarında, ağ düzeyinde basitleştirilmiş bir üstyapı yönetim sistemi tanımlamışlardır. Bu sistemde sadece bir üstyapı yönetim sisteminde bulunması zorunlu özellikleri bulundurmışlardır. Ayrıca, sistemin ağ tabanlı bir öncelik değerlendirmesi yapmak için nasıl kullanılabileceğini göstermek amacıyla bir örnek vermişlerdir. Örnek çalışmanın sonuçlarına göre, geliştirdikleri modelin önceki modellerle karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar verdiğini göstermişlerdir.

Steiner ve Lynch (1980), yol bakımı için bir fayda/maliyet çözümlemek 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.

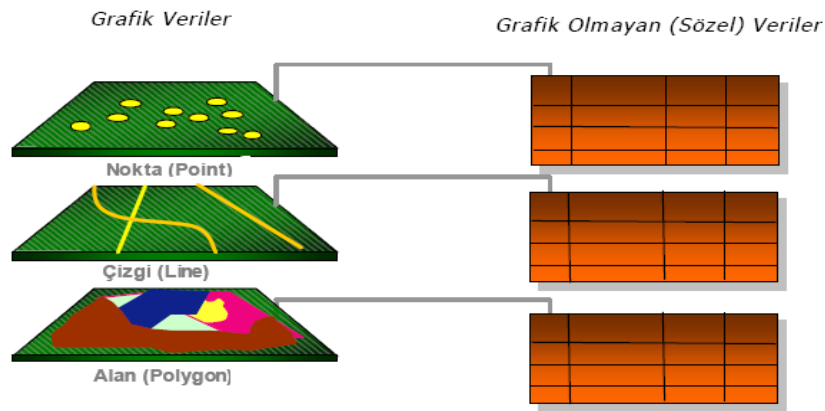
Jung vd. (1976) çalışmalarında, bir üstyapı performans modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra, başarılı uygulamalardan elde edilen verileri kullanarak bu yaklaşımı formüle etmişlerdir. Bu yaklaşımda, üstyapı performansının ana bozulma mekanizmaları olan trafik yükleri ve çevre koşullarından etkilendiği kabul edilmektedir. Bu nedenle bu iki mekanizmayı tanımlamak için iki alt model geliştirmişlerdir. Bu alt modeller daha sonra bir başka modelde birleştirilmiştir. Geliştirdikleri bu yöntem, farklı kesimler için de kullanılabilir.

Moavenzadeh (1976), 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. Bu nedenle çalışmasında bir hasar formülasyonu geliştirmiştir. Geliştirdiği model, hizmet yeteneğindeki değişimi tahmin etmektedir. Modelin önemli bir parçası bakım ile ilgilidir.

3. ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ İÇİN VERİ TABANI OLUŞTURULMASI

Gerçek dünyadaki coğrafi varlıkların, hızlı ve sağlıklı bir şekilde işlenebilmesi için, bu varlıkların matematiksel gösterimlere dönüştürülüp, bilgisayar ortamına aktarılması gerekmektedir. Dönüşüm için öncelikle veriler, grafik ve grafik olmayan veriler şeklinde iki gruba ayrılırlar. Şekil 3.1’de grafik ve grafik olmayan veriler görülmektedir. Daha sonra, özellikle grafik veriler coğrafi veri elementleri şeklinde nokta, çizgi poligon biçiminde koordinatlarla tanımlanırlar. Böylece koordinat bilgileri kolayca bilgisayar ortamına aktarılabilir. Diğer taraftan, coğrafi verilerin grafik olmayan öznitelik bilgileri tablosal dokümanlar şeklinde olduğu düşünülürse, bunlar da metinsel ifadelerle bilgisayar ortamına kolayca aktarılabilirler. Bundan sonraki aşama iki değişik yapıdaki veri grubu arasında bir bağlantı kurarak, tıpkı haritaların kullanıcıya sağladığı yorum özniteliklerinin aynı şekilde dijital olarak ta sağlanabilmesidir.

Bunun gerçekleşebilmesi için, gerçek dünyadaki coğrafi veri yapısının gerçekte olduğu gibi, dijital biçimlere dönüştürülerek bilgisayara yansıtılmasına bağlıdır. Coğrafi veri yapılarının oluşumu, bu verilerin elde edilmiş yöntemlerine bağlıdır. Örneğin, bir kente ait veriler klasik bir biçimde hazırlanmış haritalar üzerinde olabileceği gibi, bu kentin uydudan alınmış bir uydu fotoğrafı üzerinde de bulunabilir. Veri elde etme yöntemleri farklılık taşıdığından bu farklılığa bağlı olarak da verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ya da bilgisayarda bu şekilde modellenmesi gerekmektedir.



Şekil 3.1. Grafik ve Grafik Olmayan Veriler

İyi bir Coğrafi Bilgi Sisteminin oluşturulabilmesi için öncelikle güvenilir coğrafi verilerin, düzenli ve sağlıklı bir şekilde toplanması gerekmektedir. Toplanan veriler tasnif edilerek güvenilir bir kaynakta saklanması gerekmektedir ki doğru veriye istenilen zamanda ulaşılabilinsin. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle beraber, veriler elektronik ortamda daha düzenli ve güvenli bir şekilde saklanabilmektedir. Saklanan verilere, yazılan web tabanlı veya masaüstü uygulama ara yüzü programlarıyla çok rahat erişilebilmekte ve istenildiği gibi sorgulama yapılabilir. Bu da bize istenilen veriye istenilen zamanda istenilen mekândan ulaşma şansı vermektedir. Sonuç olarak; coğrafi bilgi sistemini oluşturabilmek için güvenilir bilgilerin düzgün bir şekilde güvenilir bir kaynakta toplanması gerekmektedir.

Bu Projede, kullanılacak olan veriler ve bu verilerin hangi başlıklar altında toplanacağı belirlendikten sonra Microsoft SQL Server veri tabanı yönetim sistemi programı kullanılarak bir veri tabanı tasarlanmıştır ve Karayolları Genel Müdürlüğü'ne bu kurumun şubeleri tarafından gönderilmiş veriler arşivlerdeki verilerle birleştirilerek ve karşılaştırılarak veritabanına kaydedilmiştir. Veri tabanında kullanılan veriler ve içerikleri aşağıda belirtilmiştir. Bu projede, sayısal veriler hazır olarak KGM'den alınarak veri tabanına entegre edilmiştir. Yine çalışma alanına ait sayısal haritalar KGM bilgi işlem müdürlüğünden temin edilmiştir. Projede kullanılan veriler şunlardır;

Yol Envanter Bilgileri

1. Yön
2. Yol Ekseni
3. Refüj-Cinsi, Genişliği
4. Banket-Refüj (Orta Banket)-Cinsi, Genişliği
5. Kaplama-Cinsi, Genişliği, Şerit Sayısı, Durumu
6. Banket-Cinsi, Genişliği
7. Geçit-Tipi, Uzunluğu, Açıklık Adedi, Genişliği, Gabarisi, Tonajı, Yan Geçit Olanağı
8. Menfez-Tipi, Uzunluğu, Açıklık Adedi, Genişliği, Yüksekliği, Tonajı
9. Kamulaştırma-Yol Eksenine olan Mesafe
10. Trafik Levhası-Kodu, Konumu
11. Trafik Lambası-Konumu
12. Dolgu Yarma-Konumu, Yüksekliği, Palye Sayısı(Yarma için)
13. İstinat Tahkimat-Konumu, Yüksekliği

14. Bakımevi-Konumu, Tipi, İsmi
15. Tank-Konumu, Tipi, Kapasitesi
16. Sundurma-Konumu, Tipi
17. Tartı İstasyonu-Konumu, Kapasitesi
18. Drenaj-Konumu, Tipi, Şekli, Uzunluğu(dikline drenajlar için)
19. Kavşak-Konumu, Ayrılan yol kesimi (Köy yolu, Fab.yolu vb.), Tipi, Yerleşim
20. Sıra Ağaç-Orman-Konumu, Çeşidi
21. Demiryolu-Konumu, Yol Eksenine mesafesi
22. Akarsu, Gö, Su, Çeşme-Konumu, Cinsi, Mesafesi, Adı
23. Karayolu Kritik Kesim-Konumu, Cinsi
24. Kar Buz Mücadele-Konumu, Mücadele Aracı
25. Önemli Yer-Konumu, Türü, Adı
26. Otokorkuluk-Konumu, Cinsi
27. Toplama Yolu-Konumu, Kaplama Cinsi, Kaplama Genişliği, Kaplama Durumu
28. Tırmanma Şeridi-Konumu, Kaplama Cinsi, Kaplama Genişliği, Kaplama Durumu
29. Telçit-Konumu, Tipi, Yükseklik, Mesafe
30. Aydınlatma-Konumu, Cinsi, Gücü, Gerilimi
31. Yerleşim-Konumu, Adı
32. Açıklama-Konumu, Açıklama Notu
33. Ses-Konumu, Sesli Not
34. Tünel-(Devlet ve İl Yolları)-Konumu, Adı, Uzunluğu, Eğimi, Yaya yolu genişliği(g1-g2), Taşıt Yolu Genişliği, Min. Yük, Max. Yük, Şekli, Zemin Jeolojik Yapısı, Açılma Yöntemi, Destek Türü, Elevasyon Kaplama Cinsi, Aydınlatma Sistemi, Havalandırma, Satih Durum, Yan Geçit Olanağı, Yapım Tarihi.

Otoyol Envanter Bilgileri

1. Otoyol Giş-Konumu, Adı, Kabin Sayısı, Manüel Giriş, OGS Giriş, KGS Giriş, Max Şerit Genişliği, Manüel Çıkış, OGS Çıkış, KGS Çıkış, Max Şerit Genişliği Çıkış
2. Hizmet Tesisi-Konumu, Adı, Tesis Tipi, Tesis Cinsi, Yüklenici, Teklif Bedeli, Süresi, İşletici, Petrol Firması, Benzin Pompa, Lpg Pompa, Tabanca Sayısı, İlk Yardım, Tamir Bakım, Turizm Info, Ankesör Tel, Piknik Alanı (m2), Wc Alaturka, Wc Alafranga, Wc Engelli, Duş, Lavabo, Park Hafif Araç, Park Ağır Araç, Kapalı Alan (m2), Çocuk Oyun Alanı Açık, Çocuk Oyun Alanı Kapalı, Açıklama
3. Otoyol Kavşak-Konumu, No, Tipi, Gabari

4. Otoyol Kavşak Kolu-Konumu, Kavşak No, Kol No, Şerit Sayısı, Platform Genişliği, Kol Uzunluğu, Cep Boyu, Cep Genişliği

5. Otoyol Tünel-Konumu, Adı, Yönü, Uzunluğu, Seri Genişliği, Platform Genişliği, Kontrol Merkezi, Kontrol Merkezi Km Sığınma Cebi, Cep Km, Cep Eni, Cep Boyu, Top Genişlik, Acil Haberleşme, Yangın Söndürme, Havalandırma Cinsi, Havalandırma Çap, Havalandırma Güç, Havalandırma Reverse, Aydınlatma Cinsi, Aydınlatma Sayısı, Trafik İşaret Elektronik Algı KM, Su Deposu Kapasitesi, Trafo Odası Km, CCTV Km, Radyo Anons Km, Radyo Frekans, Radyo Anons Tipi, Üst Yapı, Cepheli Kaplama, Eğim, Gabari, Kesit Alanı, Açıklama

Köprü Envanter Bilgileri

Konumu, Adı, Yönü, Belgesi, İli, Kesim No, Proje Adı, Mahalli Adı , Yolu, Su Adı, Cinsi, Tipi, Verevi, Yapım Tarihi Döşeme Uzunluğu, Döşeme Cinsi, Temel Yapısı, Proje H. Yük, Aşırı Yük Kapasitesi, Bor.Arası Yol Gen.Mesafe Arası en Uzun Açıklık, Açıklık Adedi, Açıklık Uzunluğu, Kiriş Cinsi, Kiriş Adet, Kiriş Eksen Arası Boy, Ayak Yapısı, Yatay Gabari, Düşey Gabari, Dever, Yan Geç Mesafesi, Alçak Su Seviyesi, Yüksek Su Seviyesi, Temel Oyulma, Tahkimat Hasar, Mesnet Hasar, Pandül Hasar, Ayakta Çatlak, Kirişte Çatlak, Korkuluk Hasar, Garguy Çalışıyor, Donatı Açıkta, Yan Geçit İmkânı, Dere Yat.Ada. Tahrip Haznesi, Açıklama, Foto.

Tarihi Köprü Envanter Bilgileri

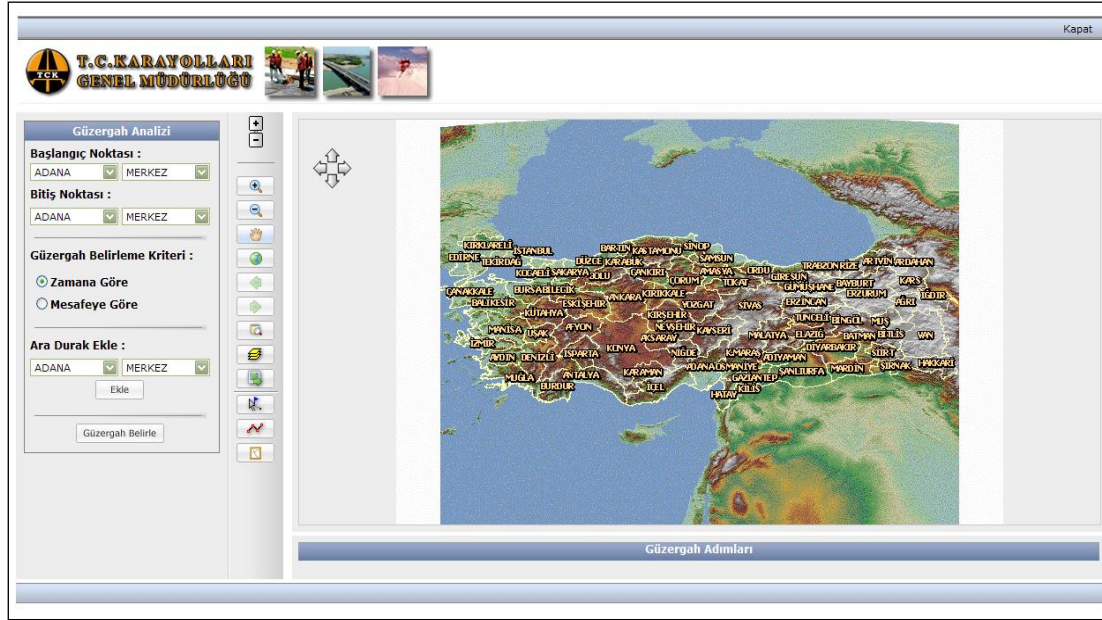
Konumu, Adı, Yönü, Bölgesi, İli, İlçesi Beldesi, Kesim No, Mahalli Adı, Yolu, Cinsi, Tipi, Pafta-Ada-Parsel, Kayır No, Proje No, Dosya No, Sıra No, Çevre Düzenleme İhtiyacı, Onarılacak Yeri, Yapan-Yaptıran, Yapım Tarihi-Dönemi, Mimari Uslup, Kullanım Durumu, Korunma Durumu, Taşıyıcı Yapı, Dış Yapı, Üst Yapı, İç Yapı, Süsleme E., Rutubet, Döşeme Uz. Döşeme En, Döşeme Cinsi, Kemer Cinsi, Kemer Tipi, Kemer Yük, Kemer Açıklık, Hafiflet.Bos.Gözü, Kitabe, Korkuluk, Korniş, Çörten , Baba Taşları, Tahrip Haznesi, Verev, Ayak Tem yap. Üzerindeki Tesis, Servis Yolu, Su-Yol Adı Su Seviyesi, Dere Yat. Durum, Kum, Ç.Ocak D.Kum Ocak M.Yak Köprü D. Yak. Köprü M. Onarımlar ve Tahribatlar, İhale Bedeli ve Tarihi, Not-Açıklama

3.1. KGM Tarafından Geliştirilmiş ve Test Aşamasında Olan CBS Web Ara Yüzü

Karayolları Genel müdürlüğü tarafından geliştirilmiş ve şu anda test aşamasında olan web ara yüzünde belirlenen il ve ilçeler arası veya ara yüzde bulunan harita yardımcılığıyla seçilen noktalar arası zamana ve mesafeye göre bilgilendirmeler alınabilmekte, harita üzerinde istenilen noktaya yakınlaştırma yapılarak uydu görüntüsünden alınan yakın görüntülere ulaşılabilir. Bu bilgiler KGM tarafından tasarlanan ve veri girişi yapılmış olan veritabanından çekilmektedir. Daha ayrıntılı bir biçimde ele alırsak; ara yüzden ilk konum olarak şehir ve bu şehre bağlı olan ilçe açılmakta, menülerden seçilmekte daha sonra son konum olarak şehir ve bu şehre bağlı ilçe seçilmektedir. Eğer istenilirse ara durak olarak yine açılır menüden il ve bu ile bağlı ilçe seçilmektedir. Son olarak ‘güzergâhı belirle’ butonuna tıklanarak web ara yüzünde hem seçilen konumlar arası yolu görsel olarak harita üzerinde görebilmekte hem de web ara yüzünün alt kısmında bulunan bilgilendirme ekranından seçilen seçeneğe göre zamana göre veya uzaklığa göre bilgileri elde edebilmektedir. Görsel olarak karşımıza gelen harita üzerinde yakınlaştırma ve uzaklaştırma seçenekleri kullanılarak istenilen konumu uydudan alınan görüntüler yardımıyla yakından görmek mümkündür. Karşımıza gelen haritada seçilen konumlar arası yollar diğer yollardan farklı bir renkte görüntülenmekte ve kullanıcı hangi yolu izleyeceğini rahatlıkla görebilmektedir.

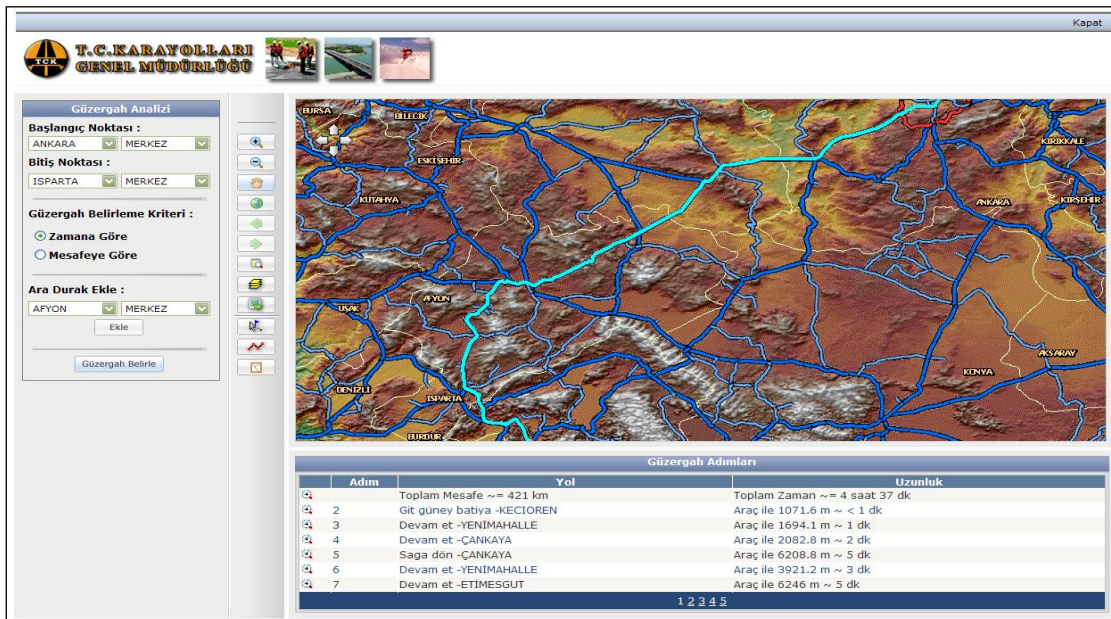
Kullanıcı isterse ‘katmanlar’ butonuna tıklayarak harita üzerinde görmek istediği veya istemediği görsel nesneleri (Route, Karayolları Ağı, Yol, Karayolları Bağlantı, İlçeler, İller, Yerleşim İsimleri, Yerleşimler, Türkiye 3D) seçebilmektedir. Kullanıcı isterse web ara yüzünden ‘Güzergâh Bul’ butonunu tıklayarak fare imleci ile istediği noktaları ara yüzde bulunan haritadan herhangi iki noktayı işaretleyerek, o iki nokta arasındaki ulaşım bilgilerine (harita üzerinde iki nokta arasında arasındaki ulaşım yoluna, yol hakkındaki mesafe ve zaman bilgilerine) ulaşabilmektedir.

Şekil 3.2’de Karayolları Genel Müdürlüğü’nce hazırlanmış olan web ara yüzüdür görülmektedir. Görüldüğü üzere sağ tarafta harita ve üzerinde bilgiler, sol tarafta ise kullanıcının güzergâh analizi yapabilmesi için bazı seçenekler bulunmaktadır.



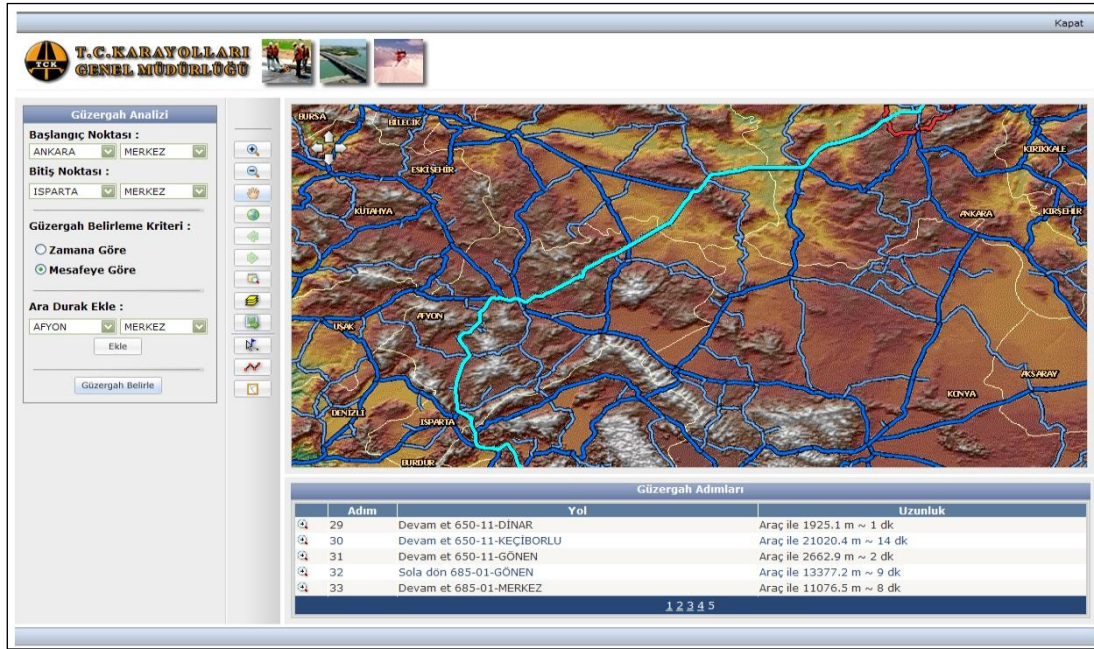
Şekil 3.2. KGM Web Ara Yüzü Ana Sayfası (<http://yol.kgm.gov.tr>).

Şekil 3.3’de sol tarafta yer alan güzergâh analizi menüsünde bulunan açılır menülerden başlangıç noktası ve bitiş noktası seçilmiş ve güzergâh belirleme kriteri olarak ta ‘Zamana Göre’ seçeneği işaretlenmiş, seçim işlemlerini yaptıktan sonra da Güzergah Belirle butonuna tıklanmıştır. Sonuç olarak sağ taraftaki haritada seçilen iki nokta arasındaki yol güzergâhı farklı renkte belirtilmiş bir şekilde görüntülenmiştir ve haritanın altındaki bölümde de yol hakkındaki bilgiler zaman bilgisine göre listelenmiştir.

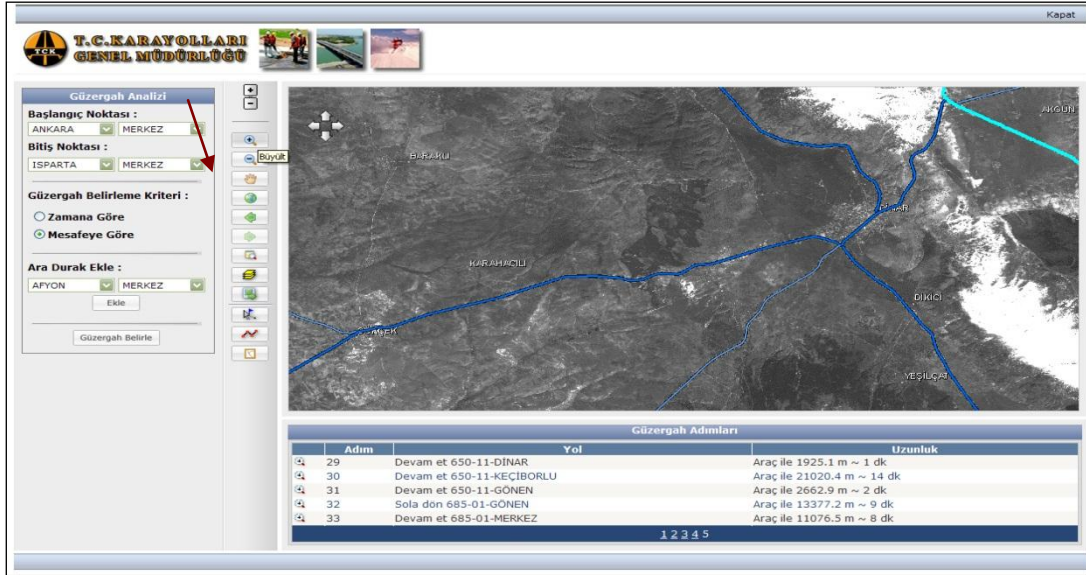


Şekil 3.3 KGM Web Ara Yüzünde Zamana Göre Güzergah Belirleme

Sol taraftaki güzergâh analizi menüsünde bulunan açılır menülerden başlangıç noktası ve bitiş noktası seçilmiş ve güzergâh belirleme kriteri olarak da ‘Mesafeye Göre’ seçeneği işaretlenmiş, seçim işlemlerini yapıldıktan sonra da Güzergâh Belirle butonuna tıklanmıştır. Sonuç olarak sağ taraftaki haritada seçilen iki nokta arasındaki yol güzergâhı farklı renkte belirtilmiş bir şekilde görüntülenmiştir ve haritanın altındaki bölümde de yol hakkındaki bilgiler mesafe bilgisine göre listelenmiştir (Şekil 3.4). Büyüt’ butonu tıklanarak haritadan istenilen konum seçildiğinde o konumu yaklaştırıp uzaktan algılama ile elde edilen yakın ve net görüntülere ulaşılabilme mümkündür.

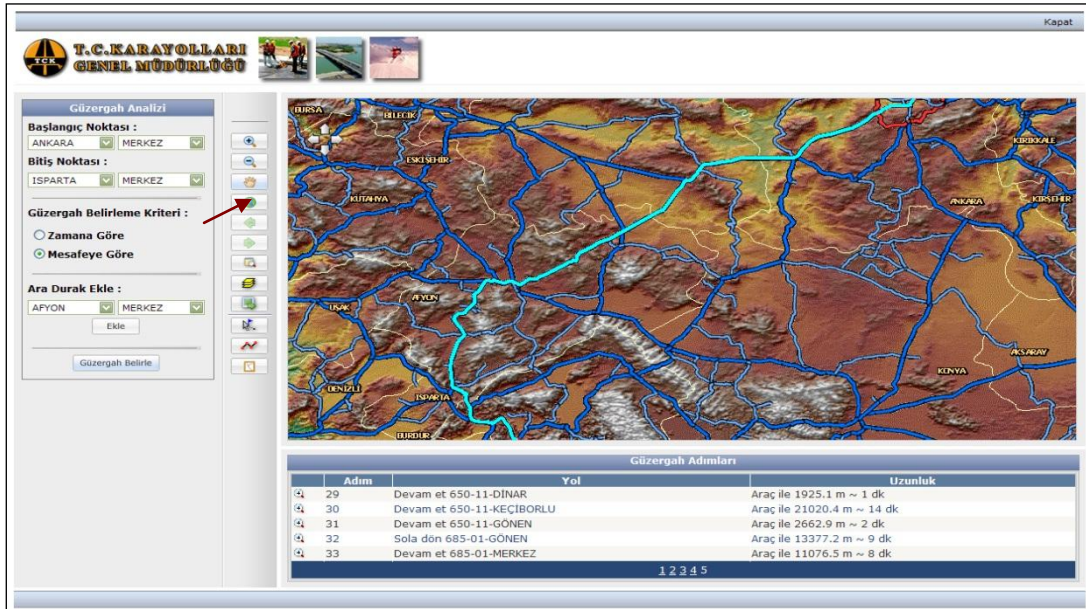


Şekil 3.4. KGM Web Ara Yüzünde Mesafeye Göre Güzergâh Belirleme



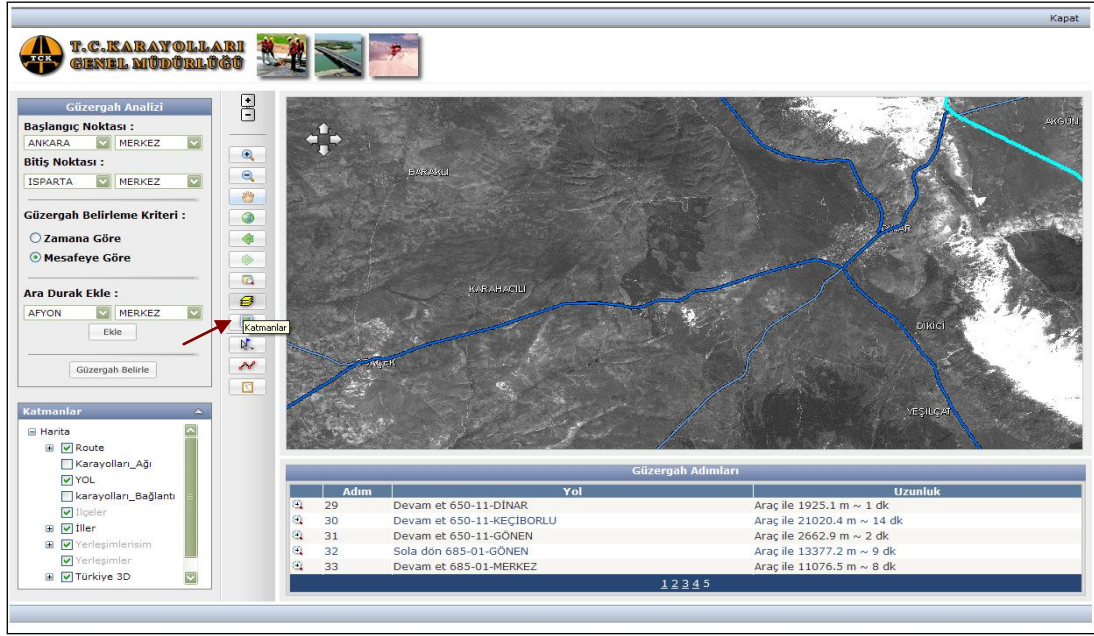
Şekil 3.5. KGM Web Ara Yüzünde Harita Üzerinde Yakınlaştırma Seçeneği

Yukarıdaki işlemin tam tersi olarak 'Küçült' butonuna tıklanarak haritada üzerinde yaklaşıtırılan bölgeden uzaklaşılabilmektedir.



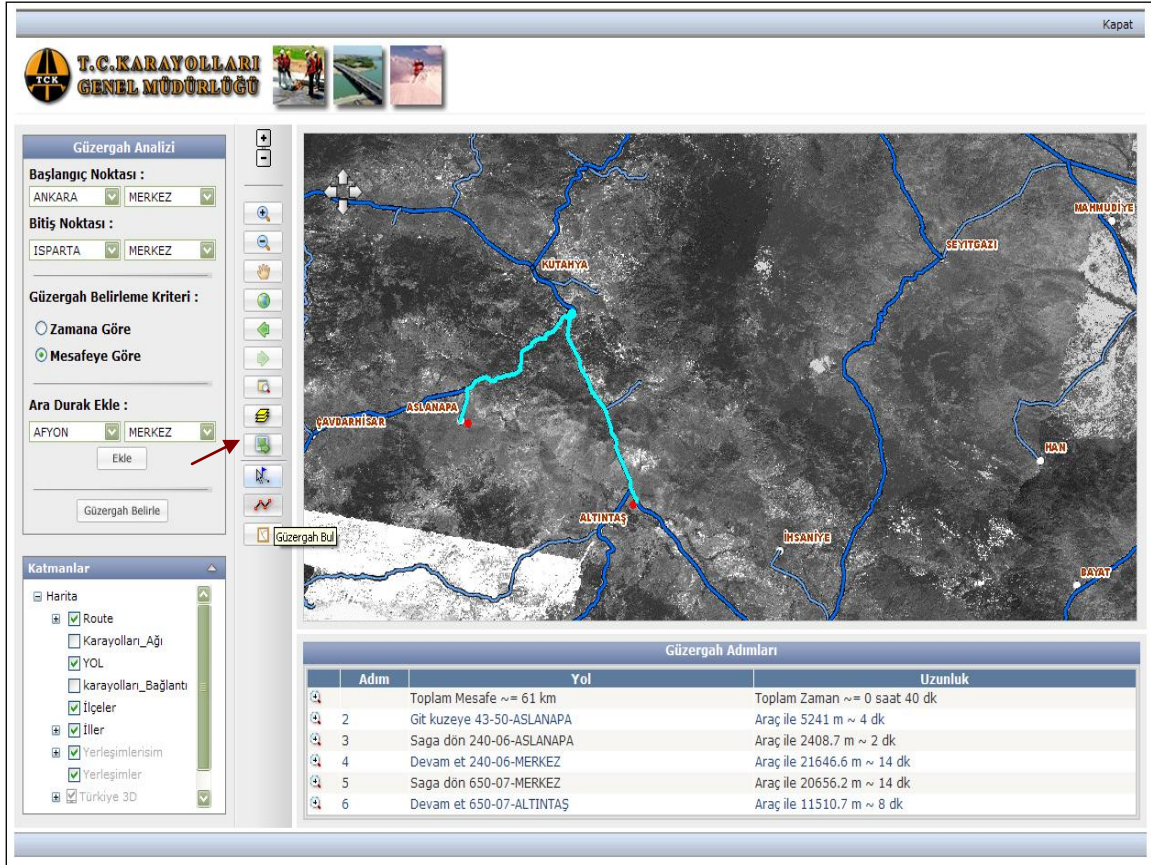
Şekil 3.6 KGM Web Ara Yüzünde Harita Üzerinde Uzaklaştırma Seçeneği.

İstenildiğinde harita görüntüsüne ulaşıldıktan sonra katmanlar butonuna tıklanarak, harita üzerinde görünmesi istenilen bilgilerin sol tarafta açılan menüden işaretlenerek görüntülenmesi sağlanabilmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7 KGM Web Ara Yüzünde Katman Belirleme

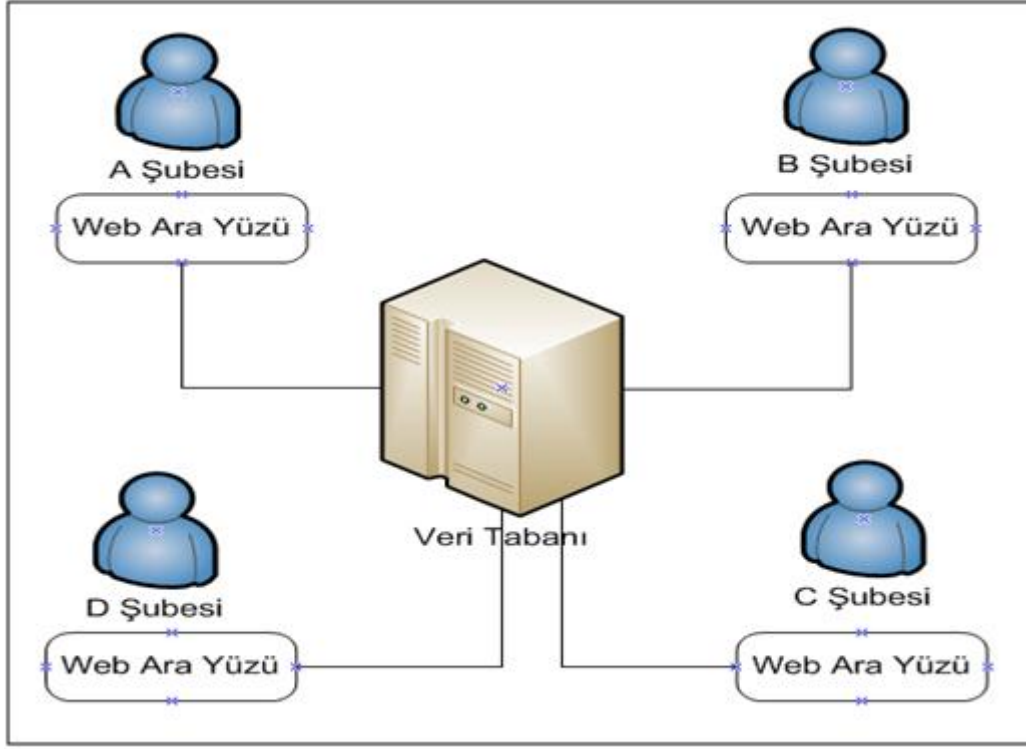
‘Güzergâh Bul’ butonuna tıklanarak harita üzerinde serbest şekilde fare imleci ile iki nokta seçildikten sonra harita üzerinde bu iki nokta arasındaki ulaşım yolu farklı renk ile belirtilmiş olarak görüntülenmiş ve alt taraftaki kısımda da mesafe ve zaman bilgileri listelenmiştir (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. KGM Web Ara Yüzünde Serbest Nokta Seçerek Yol Bilgisi Alma

3.2.Proje Veri Tabanının Web Arayüzü İle Kullanıma Sunulması

Bu projede verilerin, oluşturulan veri tabanına kaydedilebilmesi için bilgisayar tabanlı bir WEB ara yüz programı geliştirilmektedir. Oluşturulan bu WEB ara yüzü her şubenin sadece kendi bölgeleri ve sorumluluk alanları içerisindeki verileri girebilmesi için sınırlandırılmıştır. Şubeler WEB ara yüzüne kendi şifrelerini kullanarak bağlanabilecekler ve veri girmek istedikleri noktayı seçecekler, seçilen nokta hakkındaki bilgiyi girecekler ya da güncelleyebileceklerdir. Bütün şubelerin girmiş oldukları ya da güncelledikleri bilgiler sadece tek bir veri tabanında tutulacağı için Türkiye'deki bütün karayolları bilgileri tek bir noktadan takip edilebilecek ve uygulanacak stratejiler daha hızlı ve doğru belirlenebilecektir.

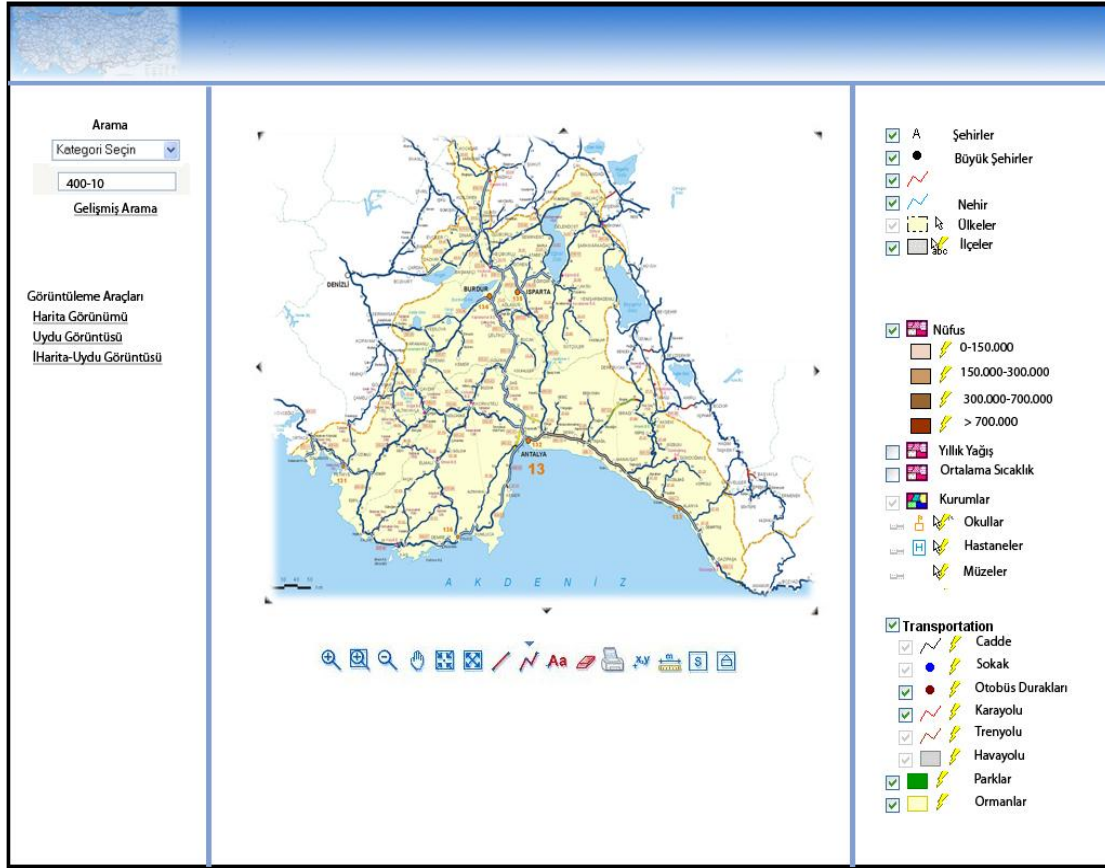


Şekil 3.9. KGM Şubeler ve Genel Merkez Arasındaki Veri Paylaşım Ağı

Oluşturulan web ara yüzü Microsoft Visual Studio programında Visual Basic Script dili kullanılarak geliştirilmektedir. Coğrafi bilgi sistemi programı olarak da Geomedia Professional ve Geomedia Web Map programları kullanılmaktadır. Geomedia Professional programı kullanılarak haritalar sayısallaştırılmakta ve sayısallaştırılan veriler veri tabanına kaydedilmektedir.

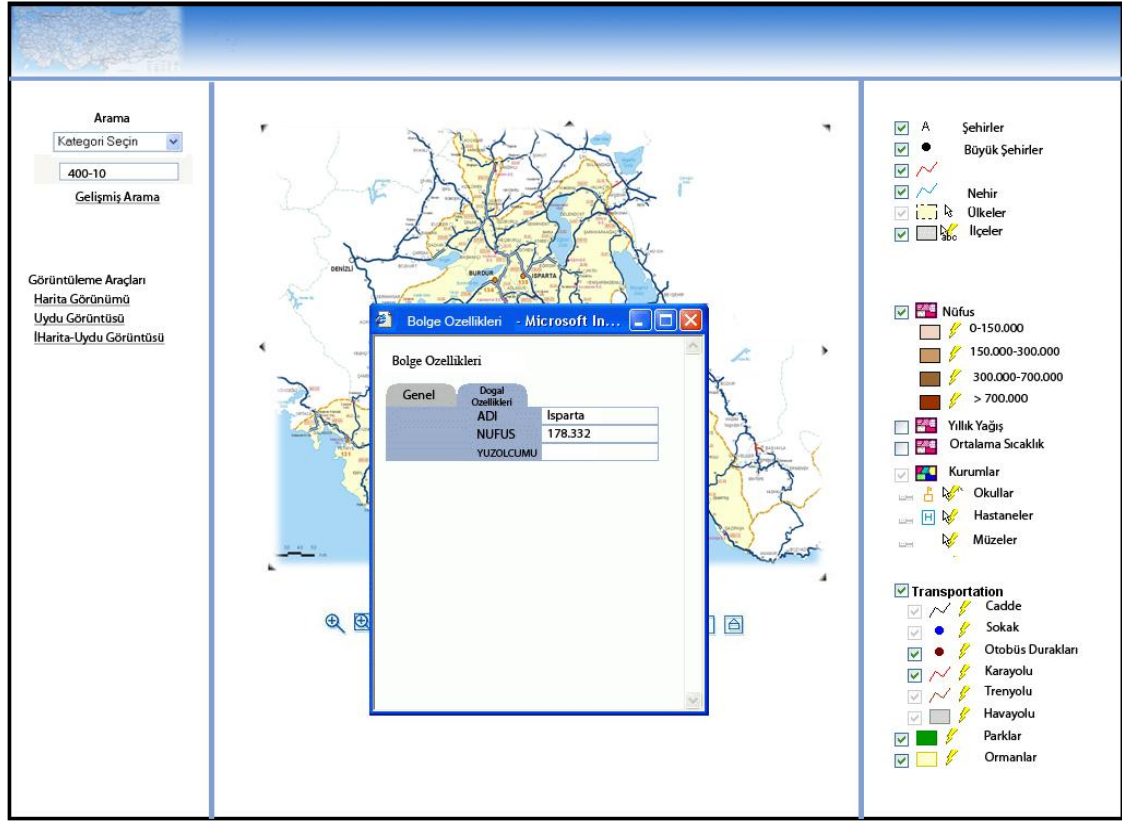
Geomedia Web Map programı ile veriler, oluşturulan veri tabanından çekilerek Web ara yüzünde yayınlanmakta ve istenildiğinde bu veriler web ara yüzü kullanılarak değiştirilebilmektedir. Her şube web ara yüzünde sadece kendine ait olan alanları görebilmekte ve sadece kendine ait alanları değiştirebilmektedir. Genel merkez ise bu bilgilerin hepsini görebilme ve değiştirebilme yetkisine sahiptir. İstenildiğinde bilgi amaçlı olarak sadece paylaşılacak istenilen bilgiler bir web ara yüzüyle halka açık olarak yayınlanabilecek ve kamunun hizmetine sunulabilecektir.

Türkiye'ye ait tüm harita bilgileri sayısallaştırılıp veri tabanına aktarıldıktan sonra oluşturulmuş web ara yüzü ile herhangi bir noktadaki arzu edilen bilgilere (Fotoğraf, Video, Canlı yayın, Grafik, Şematik, Güncel Veri örn: yol bilgisi, trafik durumu vb.) ulaşmak mümkün olacaktır.



Şekil 3.10. Tematik Haritalar Üzerinde Sorgulama ve Analizler

Kullanıcılar sayfada istediği bir kritere göre arama yaptırarak görsel harita görüntüsünü elde edebilmekte veya uydu görüntüsüne ulaşabilmektedirler. Ayrıca aranarak bulunan konum hakkındaki bütün yazılı ve görsel bilgilere ulaşabilmek mümkündür. Kullanıcı bulduğu veriler üzerinde yetkili ise değişiklik yapabilmektedir. Görsel olarak ulaştığı harita bilgisi üzerinde görmek istediği konumları menüden işaretleri seçerek sadece o noktaların harita üzerinde görüntülenmesini sağlayabilmektedirler. Görünen nokta tıkladığında ise o nokta hakkındaki yazılı ve görsel bilgiler görüntülenebilmektedir.



Şekil 3.11. Tematik Haritalar Üzerinde Sözelden Grafik Tabana Sorgulama

4. PROJEDE KULLANILAN VERİ TOPLAMA ARAÇLARI

Proje kapsamında kullanılan veri toplama araçları, üstyapı defleksiyon ölçüm araçlarından olan LWD (Light Weight Deflectometer), Profilometre ölçüm cihazı ve Nükleer yoğunluk ölçer başlıkları altında ele alınmıştır.

4.1.Tahribatsız Deneyler ve Aletleri

Modüller veya Poisson oranı ya arazi ya da laboratuvar deneyleri ile belirlenebilmektedirler. Çok daha karmaşık analizlerde, gerilme ile rijitlikteki değişim arasındaki durumu anlamak için malzemenin davranışı belirlenmelidir. Bu davranış, esneklik modülü deneyleri gibi laboratuvarda yapılan deneylerle tespit edilirler. Bu deneyler zaman alıcı deneylerdir, çünkü her proje için bir ya da iki numune teste tabi tutulabilir. Basitleştirilmiş laboratuvar deneyleri ve oldukça karmaşık deneyler ile arazide kolaylıkla kullanılabilen tahribatsız deney aletlerinden elde edilen sonuçlar birleştirilerek, bütün bu deneysel çalışmalar aralarındaki ilişkiler geliştirilebilmekte ya da sonuçlarının uyusabilirliği sağlanabilmektedir.

Bir üstyapının durumunu belirlemek için yukarıda bahsedilen modül değerleri kadar tabaka kalınlıklarının da bilinmesi gereklidir. Aynı zamanda yeni inşa edilmiş üstyapı tabaka kalınlıklarının projeye olan uygunluklarını belirlemek için de kalınlık tayini şarttır. Bunun için, karot numunesi alınarak kalınlık tayini yapılabilmektedir. Ancak karot numunesi almak hem zahmet vericidir, hem de üstyapının belirli kısımları hakkında bilgi vermektedir. Bu aşamada da tahribatsız deney aletleri ön plana çıkmaktadır. Tahribatsız deney aletleri ile kısa sürede üstyapının geniş bir bölgesi için ölçüm yapılabilip, üstyapı hakkında doğru bilgi elde edilebilmektedir.

Yukarıda sayılan parametrelerin haricinde, üstyapıya uygulanan yükler sonucunda oluşan defleksiyon değerleri üstyapı dayanımının bir göstergesi olmaktadır ve elde elden defleksiyon verilerine dayanarak üstyapı hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (Saltan, 1999).

Üstyapıyla ilgili bahsedilen birçok parametreyi elde etmeyi sağlayan çeşitli tahribatsız deney aletleri mevcuttur. Bunlar düşen ağırlık deflektometresi (Falling Weight Deflektometer - FWD), zemin penetrasyon radarı (Ground Penetration Radar - GPR), sismik üstyapı analizcisi (Seismic Pavement Analyzer - SPA), etki-tepki metodu (Impact Echo Metod - IE) ve ultrasonik ölçüm yapan deneyaletleridir.

Üstyapının durumunu belirlemek için kullanılan güvenilir metotlardan biri NDT (Tahribatsız Ölçüm Yöntemleri – Non Destructive Test) kullanımıdır. NDT tahribatlı yöntemlere göre iki önemli avantaja sahiptir. Birincisi, NDT üstyapıya zarar vermeden ya da modifikasyon gerektirmeden değerlendirme yaparken, tahribatlı testler üstyapı temel tabakasına zarar vermektedir ya da üstyapı malzemesinin laboratuara taşınmasını gerektirmektedir. İkinci avantajı ise, NDT testler nispeten ucuz ve hızlı, trafik yüklemeleri sırasında tahribatlı testlerin neden olduğu bozulmalardan ziyade testlerin tamamlanmasına izin vermektedir (Saltan ve Karaşahin 2001).

NDT ekipmanı üstyapıya yük uygulayarak ve maksimum yüzey defleksiyonu sonucu ölçülerek kullanılmaktadır. NDT sonuçları aşağıdaki parametreleri belirlemek için kullanılır;

1. Asfalt üstyapılar

- a. Her üstyapı tabakasının elastiklik modülünü
- b. Yükleme uygulamasının özelleştirilen sayısı için izin verilen yüklemeyi
- c. Aşırı yükleme kalınlık dizaynını

2. Beton üstyapılar

- a. Beton elastiklik modülü ve reaksiyonun alt temel modülü
- b. Derzlerden geçen yük transferini
- c. Çukurların belirlenmesini
- d. Yükleme uygulamasının özelleştirilen sayısı için izin verilen yüklemeyi
- e. Onarım dizaynını (Shahin, 2002)

4.1.1. Üstyapı Defleksiyon Ölçüm Araçları

Başlangıçta birçok ticari amaçlı mevcut defleksiyon ölçüm araçları vardır. Araçlar yükleme durumlarına göre, ani, sürekli-dinamik ve statik olarak gruplandırılabilir (Noureldin vd., 2003).

4.1.1.1. Ani Defleksiyon Ölçüm Araçları

Düşen Ağırlıklı Deflektometre [FWD] (Falling Weight Deflectometer) en yaygın kullanılan ani defleksiyon ölçüm aracıdır. FWD belirli yükseklikten(H) düşürülen bir ağırlık (W) konsepti üzerine kuruludur, böylece üretilen kinetik enerji yükseklik ve ağırlığın çarpımına eşittir ($W \times H$)

Üstyapıya uygulanan güç integrasyonu (F), düşen ağırlığın ve üstyapının kompozit basıncı tarafından çoğalması (δ) üretilen kinetik enerjiye eşittir: (Shahin, 2002).

$$\delta = \Delta$$

$$\int F.d\delta = W.H$$

$$\delta = 0$$

$$\Delta = \text{toplam basınç}$$

Eşitliğin Düzgün yaklaşımı:

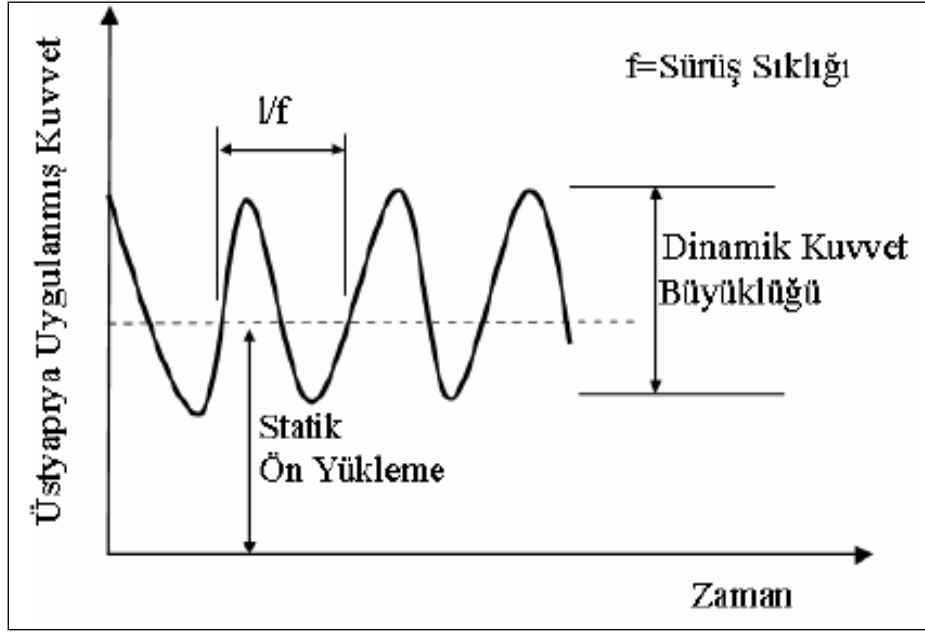
$$0,5 \cdot F \cdot \Delta \approx W.H$$

Ya da,

$$F \approx 2W.H / \Delta$$

4.1.1.2. Sürekli-Dinamik Defleksiyon Araçları

Bütün sürekli-dinamik defleksiyon araçları aynı uygulama modu için kullanılmaktadır. Nispeten büyük statik önyüklemeye üstyapıya uygulanan ve sinüzoidal vibrasyondur ve bu da oluşturulan dinamik güç tarafından yaratılmaktadır (Shahin, 2002). Şekil 4.1’de tipik bir yükleme serisi görülmektedir.



Şekil 4.1. Sürekli Vibratörlerin Tipik Dinamik Güç Çıktısı

4.1.1.3. Statik Defleksiyon Araçları

Statik defleksiyon araçları üstyapı yüzeyine hem bir statik hem de yavaş hareket eden yükleme uygulamakta ve sonuç defleksiyonlarını ölçmektedir. Yaygın olarak kullanılan statik defleksiyon ölçüm aracı Benkelman Kirişi'dir (Shahin, 2002).

4.1.2. LWD (Light Weight Deflectometer)

Dynatest 1970'lerde kaplamalardaki bağımsız materyallerin elastisite modülünü belirlemede dünyanın ilk portatif LWD'yi (Light Weight Deflectometer) yeni bir metot olarak tanıtmıştır. Yakın zamanlarda son teknoloji ile otomatik versiyonunu geliştirmiştir. Elektronik aksam ve yazılım analizleri eklenerek pazara sürülenlerin önüne geçmeyi başarmıştır.

Light weight Deflectometer (LWD) alt tabaka, alt temel ve ince eğilebilir yapıların taşıma kapasitesi ve rijitliğinin arazide ölçülmesi için kullanışlı bir araçtır. Çalışma için sadece bir kişi gereklidir. LWD çok zor şartlar altında çalışabilmektedir. (hafriyat çukurları gibi ulaşılması zor yerler gibi) GPS ile çalışılan alan kaydedilebilmekte ve verinin harita ve sahanın planında gösterilmesini sağlamaktadır (<http://www.dynatest.com>). Şekil 4.2 de Light Weight Deflectometer görülmektedir.



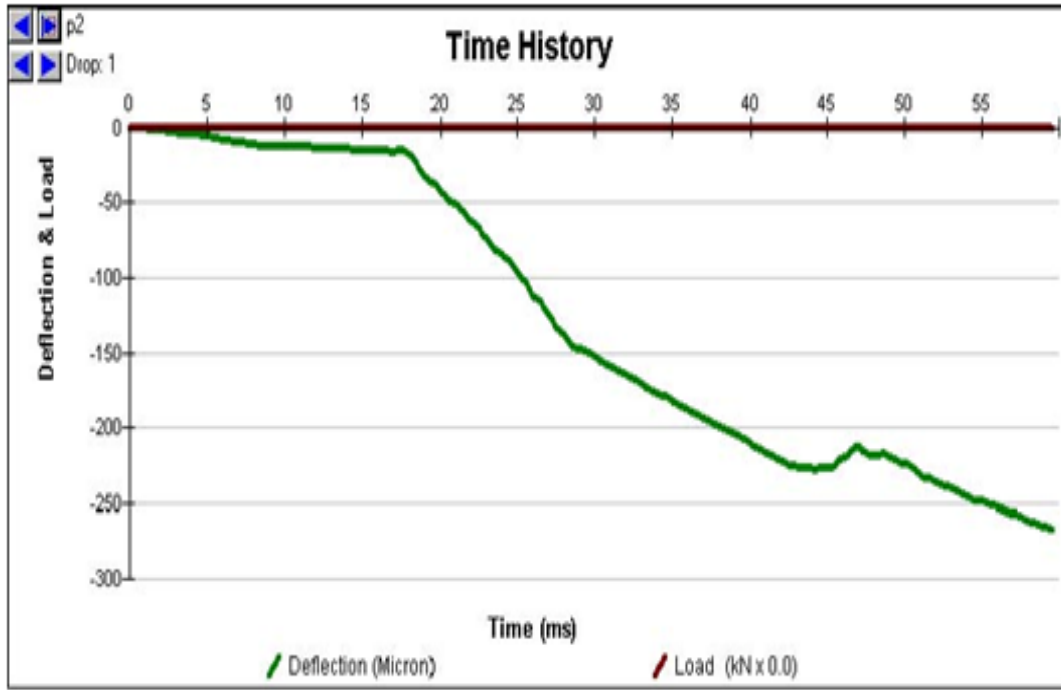
Şekil 4.2. Light Weight Deflectometer

LWD Ölçümleri ve LWDMOD Programıyla Değerlendirilmesi ve İşlenmesi

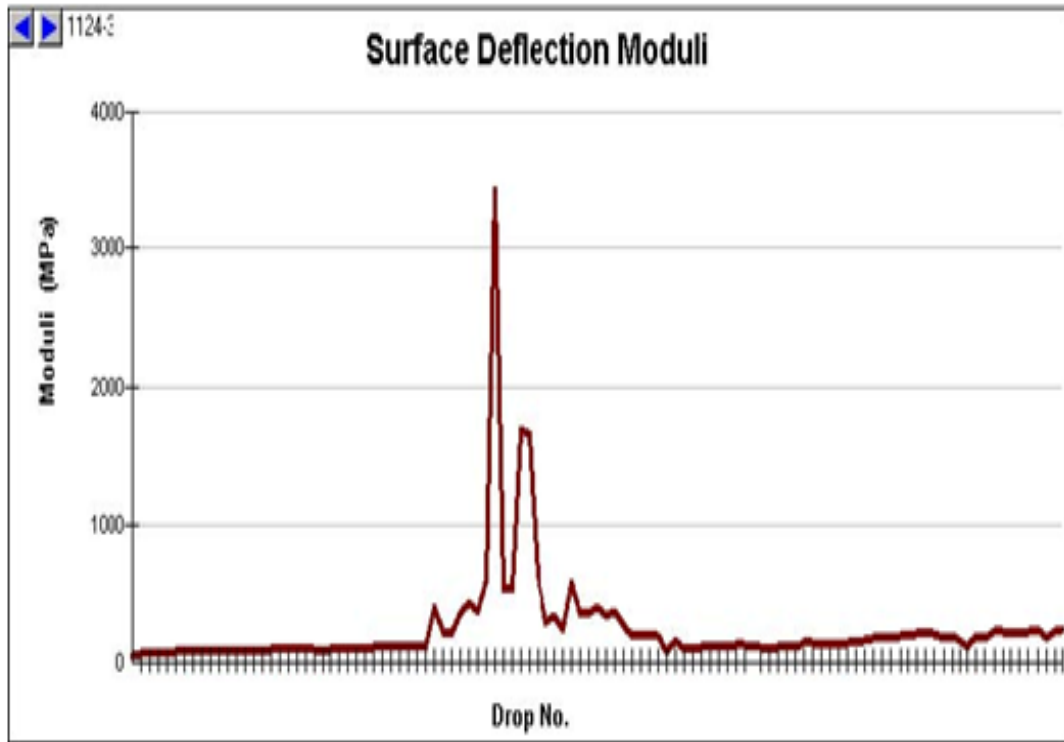
Dynatest LWDMOD ile toplanan veriler kullanılarak geri hesaplama yöntemiyle en yüksek tabaka kalınlığı tahmin edilebilmektedir. Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6 ve Şekil 4.7 de ölçülen, hesaplanan defleksiyon verileri ile tahmin edilen elastisite modülü görülmektedir. (<http://www.dynatest.com/>).

Microsoft Excel - def1																	
File	Point	Location	Drop	Time	Radius mm	Load kN	Stress kPa	Dist. 1 mm	Def. 1 Micron	Eo MPa	Offset Micron	Energy Joule	GPS Latitude	GPS Longitude	GPS Height	Notes	
1	1	1124-1		10:13:50	150	1,8	26	0	791	9	571	0,991					
2				10:14:01	150	1,9	27	0	320	22	136	0,249					
3				10:14:10	150	1,9	26	0	253	27	81	0,149					
4				10:14:16	150	4,5	63	0	1559	11	1259	5,063					
5				10:14:30	150	4,6	65	0	609	28	245	1,280					
6				10:14:43	150	4,8	68	0	495	37	161	0,852					
7				10:14:53	150	5,3	125	0	1432	23	885	7,958					
8				10:15:06	150	5,3	131	0	960	36	389	4,481					
9				10:15:21	150	5,4	133	0	805	43	230	3,239					
10				10:15:37	150	1,6	22	0	115	50	0	0,013					
11				10:16:06	150	4,5	64	0	323	52	40	0,296					
12				10:16:14	150	4,6	65	0	309	56	24	0,267					
13				10:16:21	150	4,6	66	0	302	58	17	0,273					
14				10:16:28	150	5,3	132	0	726	48	138	2,554					
15				10:16:35	150	5,3	131	0	765	45	151	2,335					
16				10:16:45	150	5,6	136	0	868	54	125	2,239					
17				10:16:54	150	5,5	134	0	858	54	106	2,006					
18				10:17:10	150	5,7	137	0	636	57	80	1,936					
19				10:24:07	100	2,4	75	0	356	37	231	0,300					
20				10:24:16	100	2,4	78	0	224	61	50	0,112					
21				10:24:24	100	2,3	74	0	245	53	87	0,120					
22				10:24:31	100	4,7	150	0	575	46	314	1,037					
23				10:24:40	100	4,7	151	0	486	55	197	0,700					
24				10:24:49	100	4,8	153	0	437	61	96	0,555					
25				10:25:01	100	8,9	282	0	1156	43	787	5,459					
26				10:25:10	100	5,0	287	0	1024	49	467	4,192					
27				10:25:18	100	5,9	284	0	921	54	505	3,683					
28				10:25:32	100	2,2	71	0	186	67	8	0,049					
29				10:25:40	100	2,3	73	0	180	71	7	0,045					
30				10:25:49	100	2,3	72	0	181	70	12	0,039					
31				10:25:57	100	5,0	158	0	412	67	73	0,427					
32				10:26:06	100	5,0	160	0	389	72	44	0,416					
33				10:26:15	100	4,9	155	0	370	73	53	0,370					

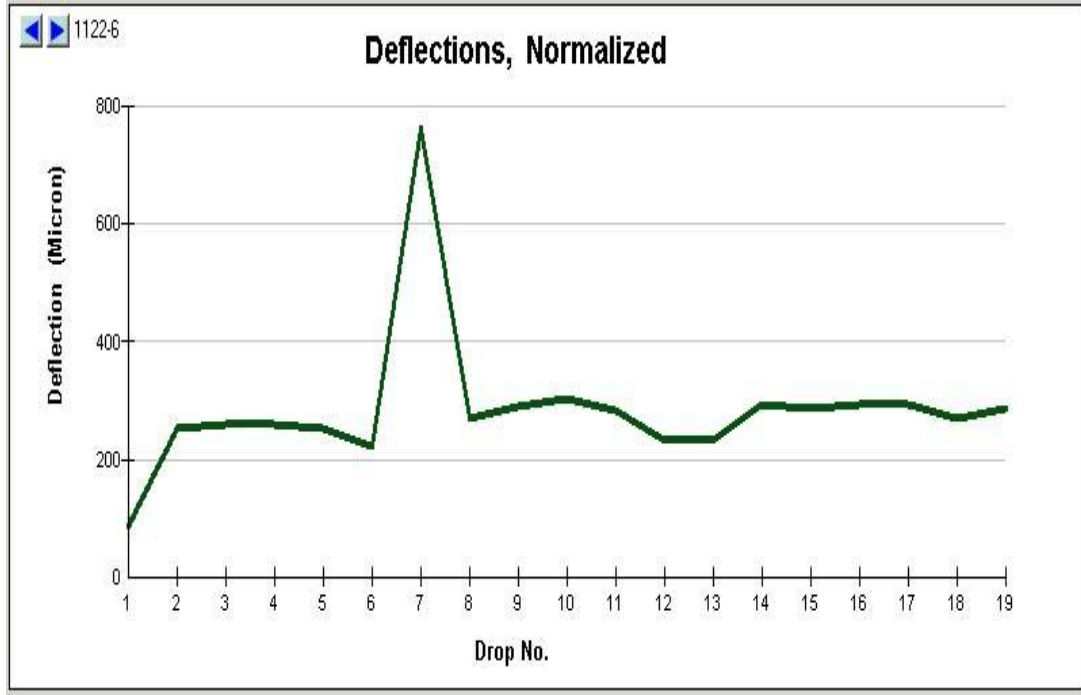
Şekil 4.3. LWDMOD İle Alınmış Ölçüm Örneği



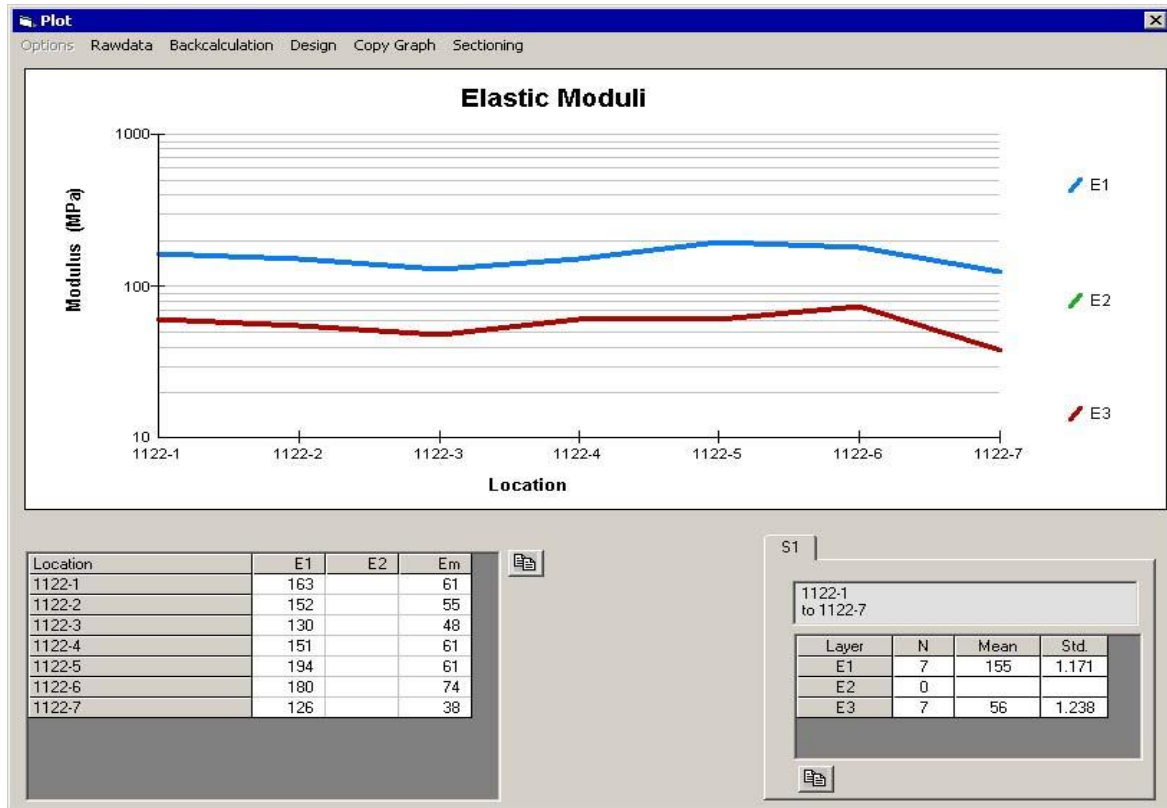
Şekil 4.4. LWDMod Ölçümünde Defleksiyonun Zamanla İlişkisini Gösteren Grafik



Şekil 4.5. LWDMod Ölçümünde Yüzey Defleksiyon Modülü İle Düşen Ağırlık Arasındaki İlişkiyi Gösteren Grafik



Şekil 4.6. LWDMod Ölçümünde Normalize Edilmiş Defleksiyonu Gösteren Grafik



Şekil 4.7. LWDMod Ölçümünde Elastiklik Modülü Hesaplanması

4.2. Profilometre Ölçüm Cihazı

Profilometre Ölçüm Cihazı ölçüm yapılan yüzey üzerinde, değerlendirme uzunluğu boyunca hareket ettirilirken meydana gelen titreşimlerin lazerler yardımıyla okunarak, belirli programlar yardımıyla kaydedilmesi veya grafiklerle okunması esasına dayanmaktadır.

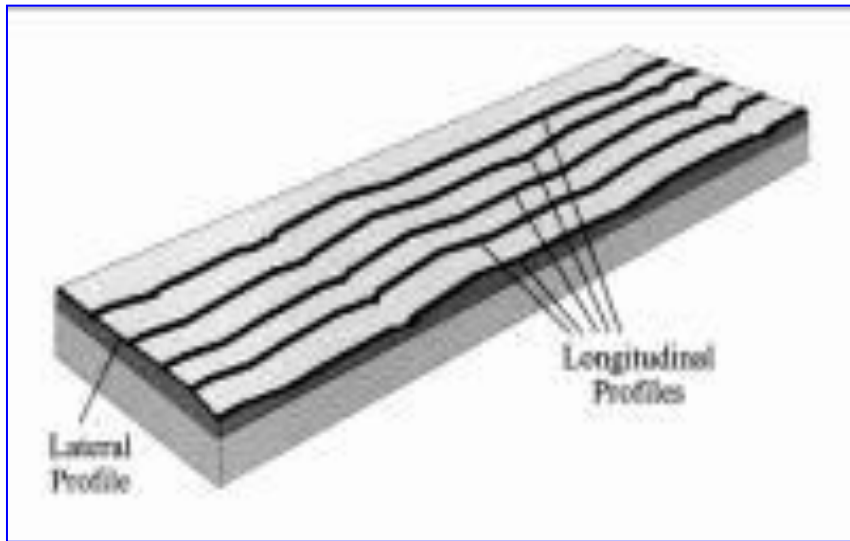
Profilometre ve beraberindeki bilgisayar programları, üzerinde seyahat edilen yol yüzeyinin;

- Boyuna profilini (Şekil 4.9 ve Şekil 4.13)
- Enine profilini (Şekil 4.10)
- Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksini [International Roughness Index (IRI)]
- Sürüş sayısını [Ride Number (RN)],
- Geometrik özelliklerini (kurb yarıçapı, enine ve boyuna eğimi), (Şekil 4.11, Şekil 4.15)
- Küresel konumunu (DGPS kullanılarak), (Şekil 4.19)
- Makro yüzey dokusunu (Şekil 4.12)
- Tekerlek izinde oturmasını (rutting), (Şekil 4.14)
- Ölçüm esnasındaki araç hızını

Gerçek zamanlı olarak ölçüp, hesaplayıp, sayısal ve grafiksel olarak görüntüleyerek kaydedip saklayabilmektedir.



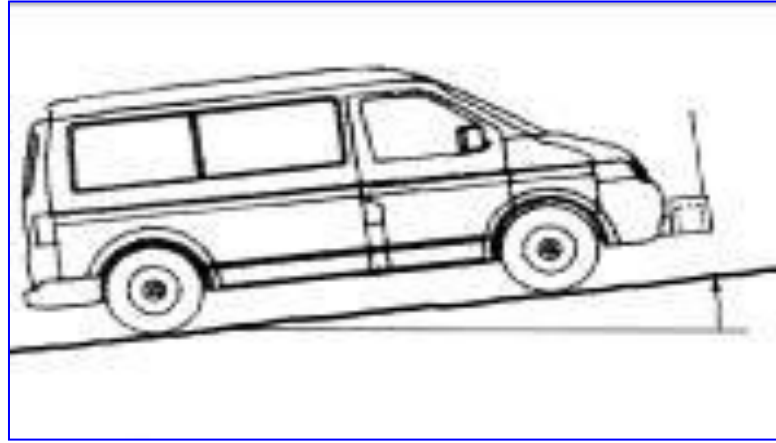
Şekil 4.8. Profilometre Ölçüm Cihazı



Şekil 4.9. Boyuna Profil



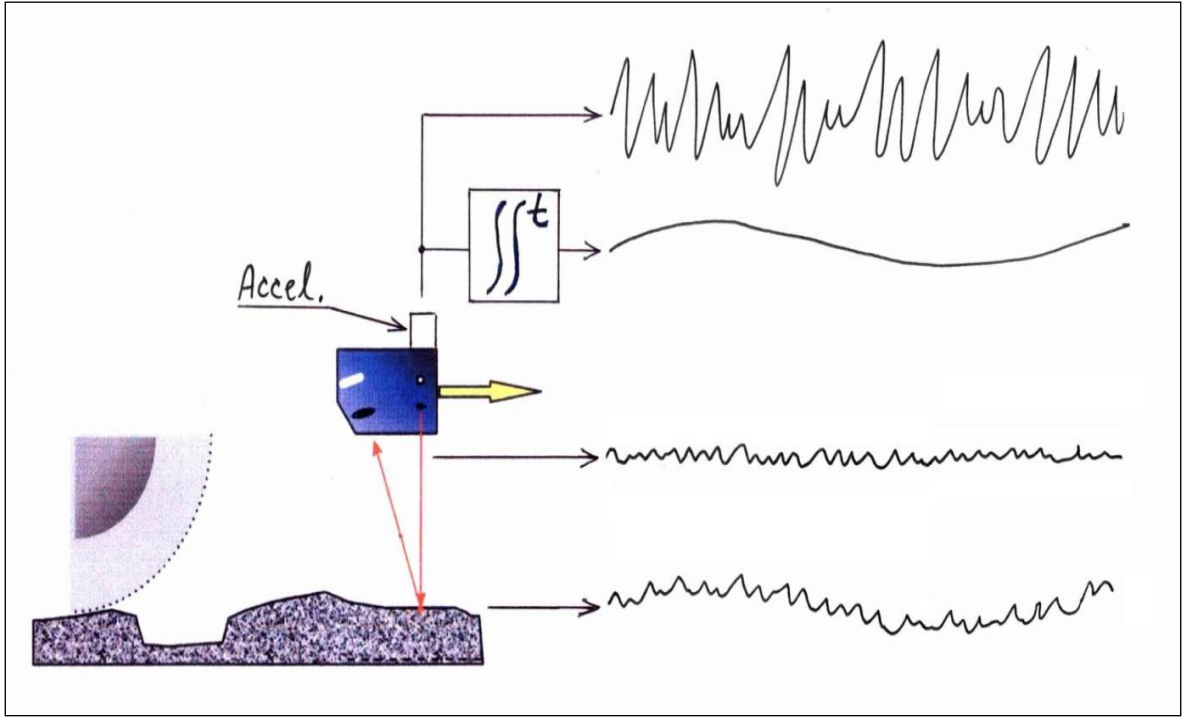
Şekil 4.10. Enine Profil



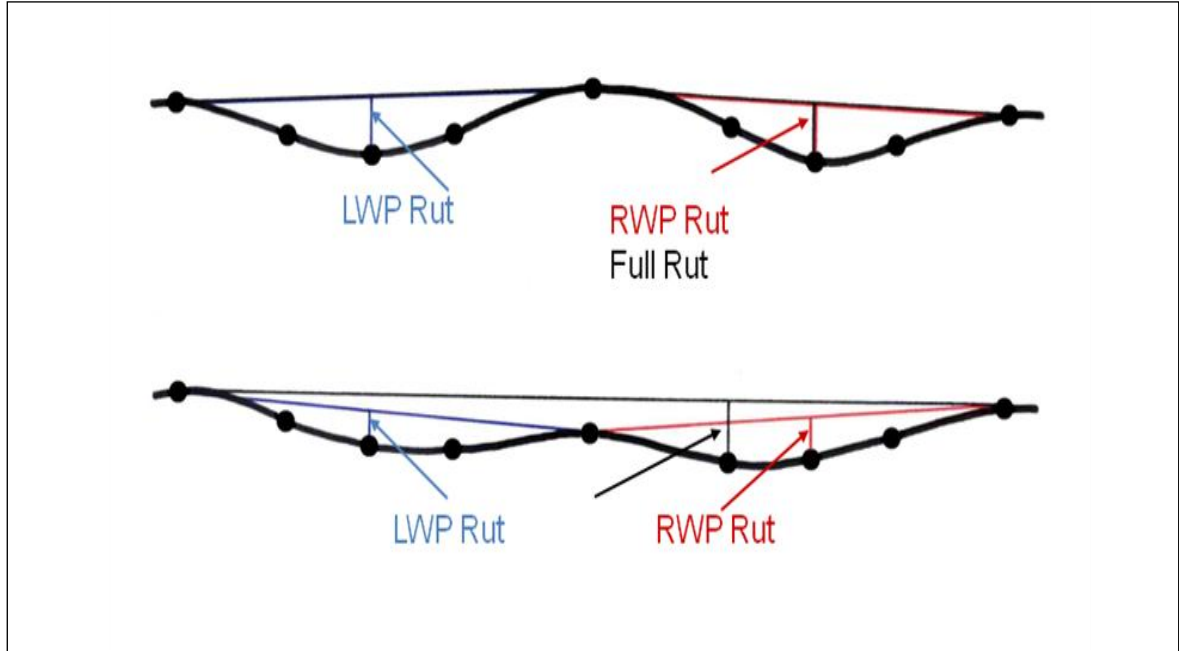
Şekil 4.11. Geometrik Özellikleri (kurb yarıçapı, enine ve boyuna eğim)



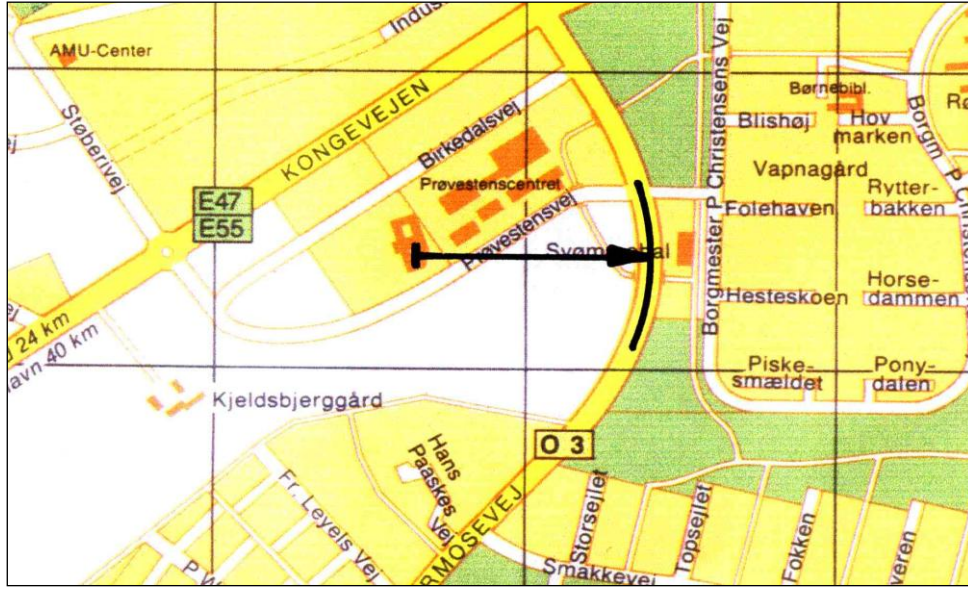
Şekil 4.12. Makro Yüzey Dokusu



Şekil 4.13. Boyuna Profil



Şekil 4.14. Tekerlek izinde oturmasını (rutting),



Şekil 4.15. Kurb Yarıçapı ($r = v/\omega$)

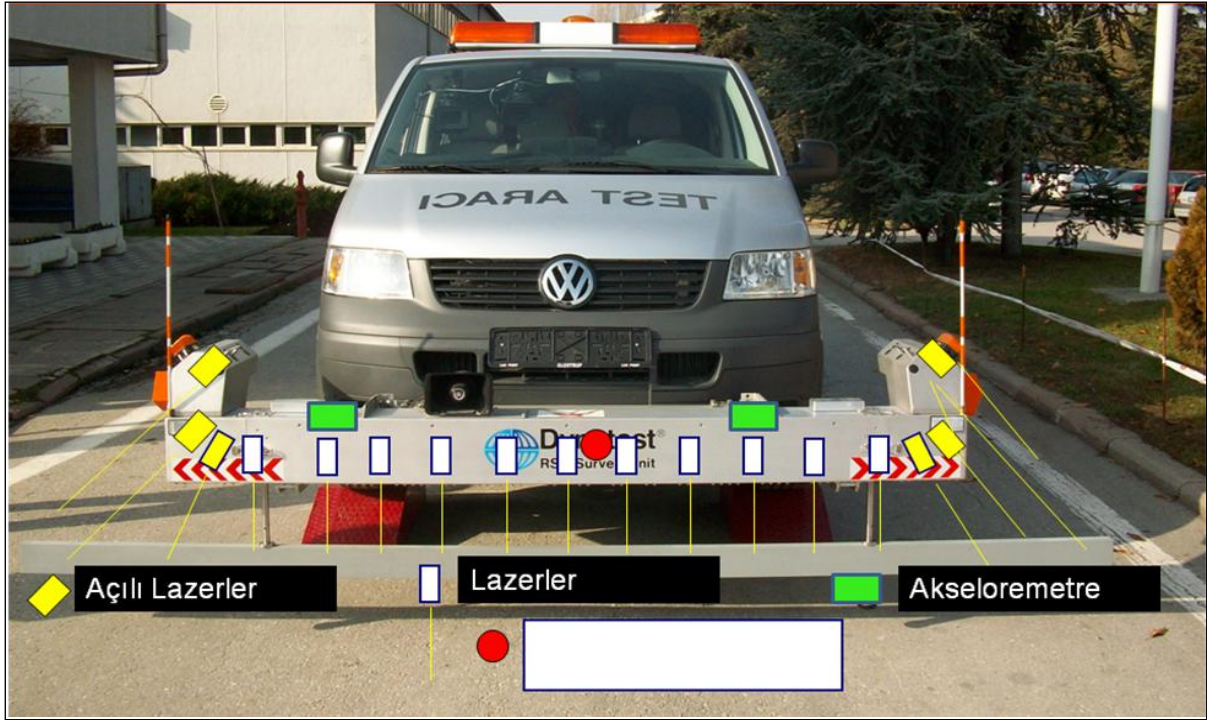
Bütün veriler gerçek zamanlı olarak 0-120 km hızda toplanabilmektedir. Araç yüzey bozulmalarını görüntüleyebilmektedir. HD kameralardan aldığı bilgileri eş zamanlı olarak veri çevirim, işleme birim ve sistemleri ile değerlendirmektedir. Bu sistem Volkswagen Transporter Araç üzerine montelidir.

Profilometre Ölçüm Cihazı, Dünya Bankası Teknik Bildirisi no: 46'ya uygun olarak ve ASTM E950-98 Sınıf 1 kalitesinde Danimarka'da üretilmiştir.

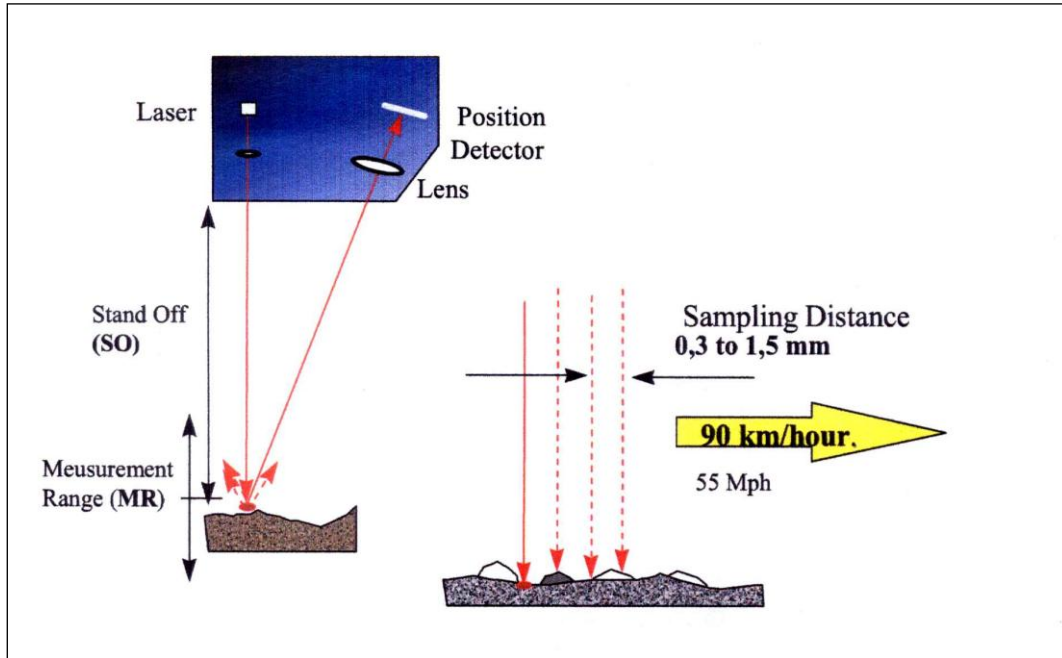
4.2.1. Profilometre Ölçüm Cihazının Sistemleri

Profilometre Ölçüm Cihazının sahip olduğu sistemler şu şekilde sıralanabilir; (Şekil 4.16)

- 17 adet Lazer Sensorlar, saniyede on altı bin (16,000) ölçüm yapmaktadır (Şekil 4.17).
- 2 adet Doku Lazer Sensorları, saniyede otuz iki bin (32,000) ölçüm yapmaktadır (Şekil 4.18)
- 1 adet Atalet Ölçüm Sensoru (Inertial Motion Sensor =IMS) Kaplamanın enine eğimin, boyuna eğimin ve yol eğriliğinin ölçmektedir.
- 2 adet Akselerometreler, lazerlerin dikey hareketini takip etmektir. Bu yükseklikler Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi ve Sürüş sayısı istatistiklerini çıkartmak için kullanılır.



Şekil 4.16. Profilometre Ölçüm Cihazının Sistemleri



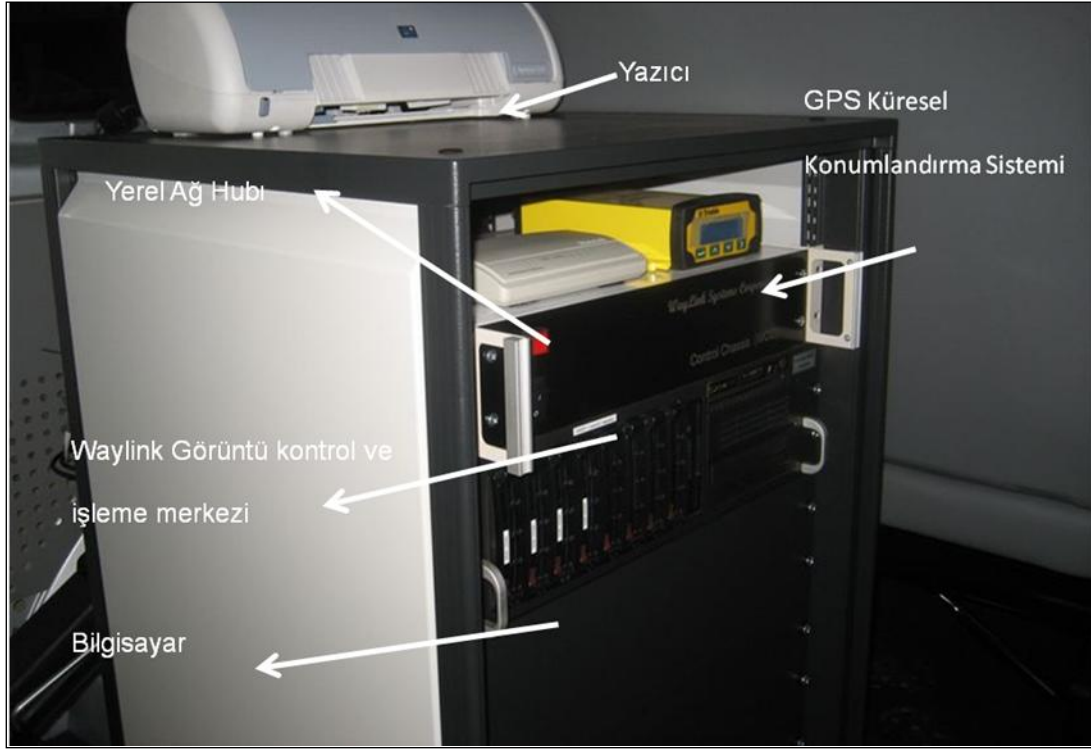
Şekil 4.17. Lazer Sensorlar



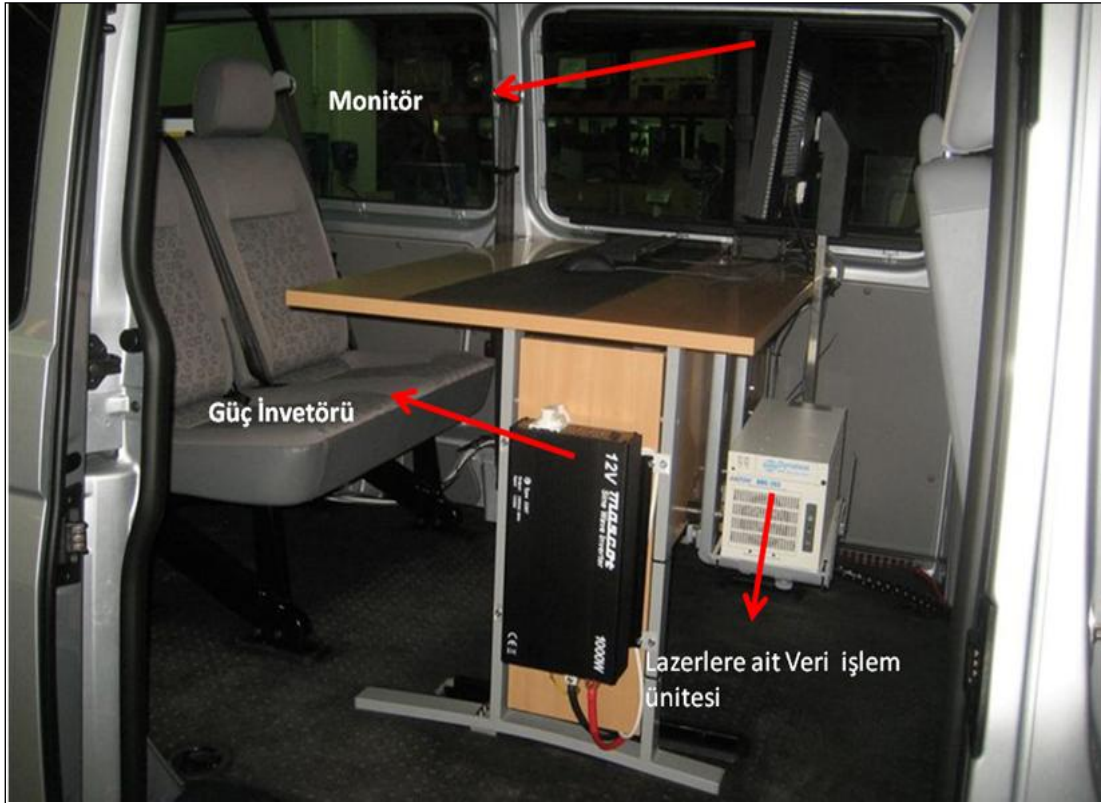
Şekil 4.18. Doku Lazer Sensorları



Şekil 4.19. GPS Küresel Konumlama Sistemi



Şekil 4.20. Araç İçindeki Veri Aktarım Sistemi



Şekil 4.21. Veri İşleme Sistemi



Şekil 4.22. Görüntü Sistemi

- Yol yüzey bozulmaları ve yol envanteri istenilen açıdan yüksek çözünürlükte (HD) elde edilmektedir.
- Sistemde iki adet yüksek çözünürlükte (HD) kamera vardır (Şekil 4.23).
- Bu toplanan iki ayrı görüntü kontrol ünitesi aracıyla kontrol edilmekte ve düzgün bir şekilde özel üretilmiş olan bilgisayar ünitesine aktarılmaktadır.



Şekil 4.23. Yüksek Çözünürlükte (HD) Kamera



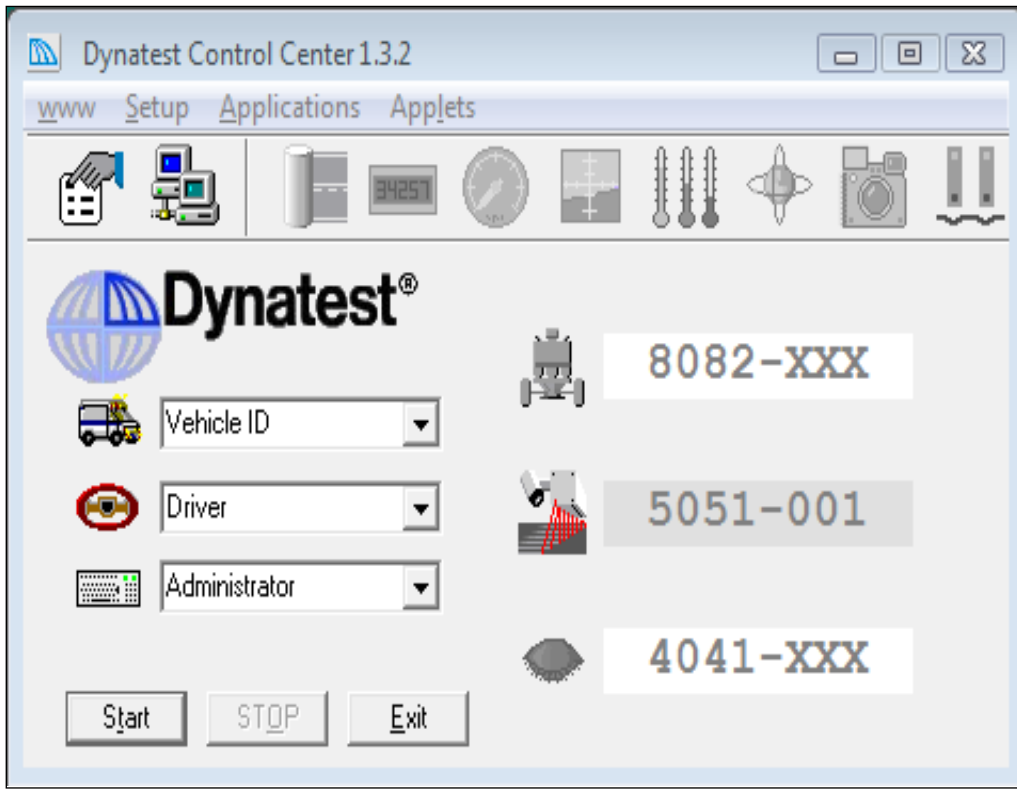
Şekil 4.24. Mesafe Kodlayıcı

4.2.2. Saha Ölçüm Programları

- RSPWIN (Road Surface Profiler) (Şekil 4.25).
- Control Paneli (Şekil 4.28)
- Capture ROW

RSP WIN (Road Surface Profiler)

Dynatest, arazi ölçüm aracını kullanarak havaalanı ve yol üzerindeki profillerin ölçümünün değerlendirilmesinde DYNATEST RSP kullanmaktadır (Jensen ve Arshadi, 2007).



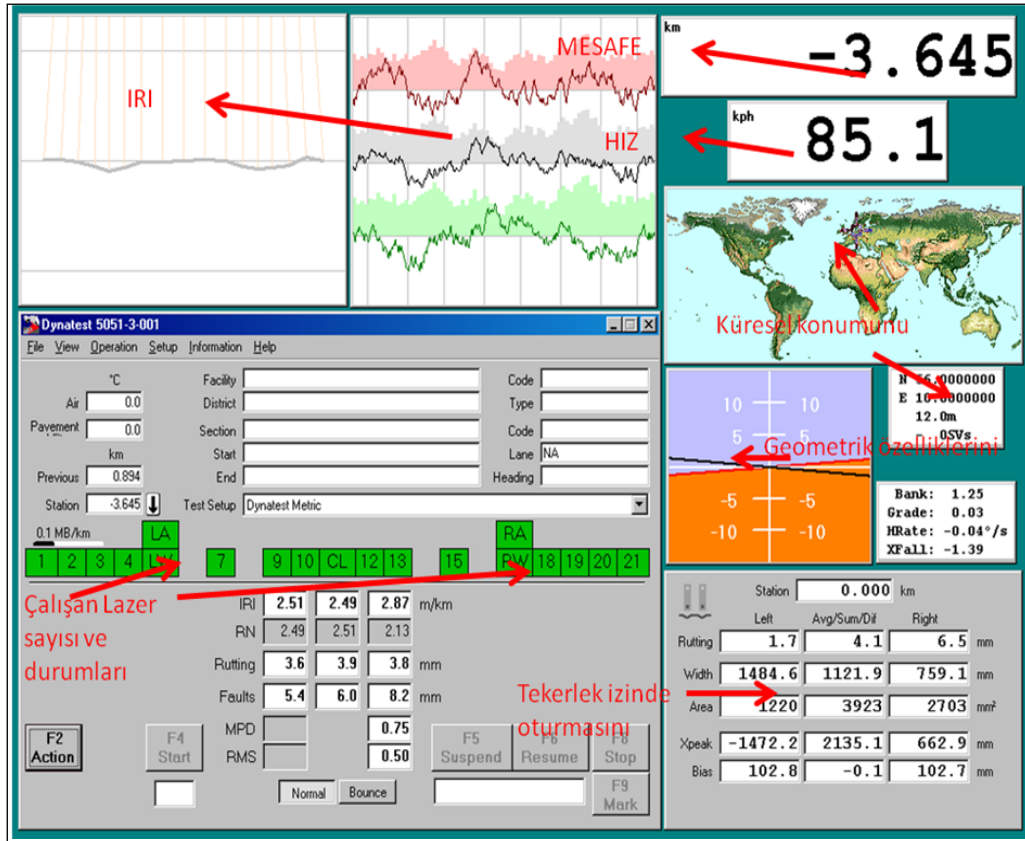
Şekil 4.25. RSP WIN

RSP WIN Programı ile arazide ölçüm yapılacak yolla ilgili uygun ayarlar yapılarak;

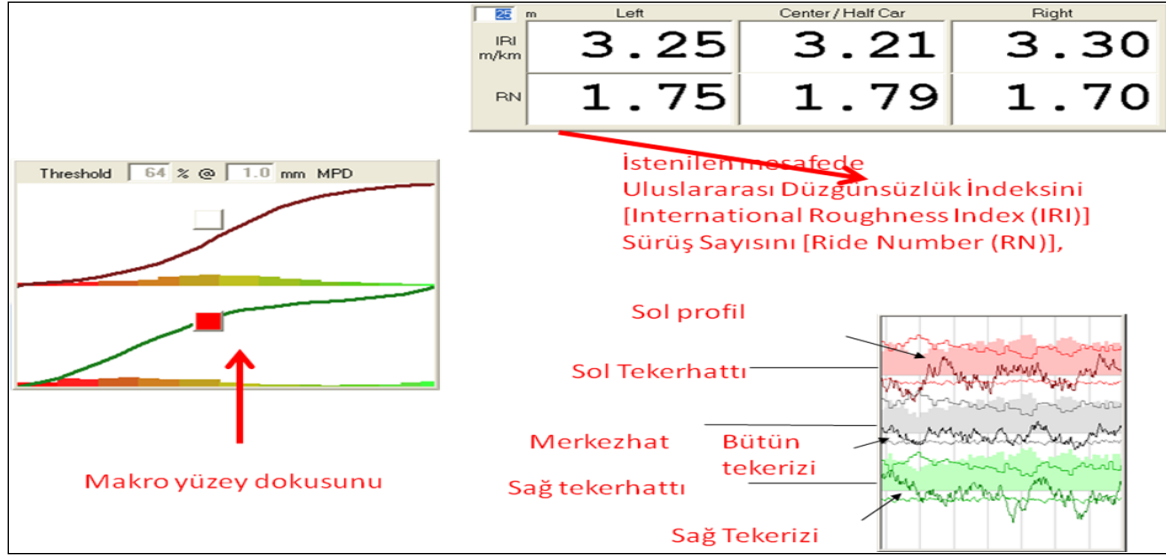
- ✓ Boyuna ve enine profilini,
- ✓ Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksini [International Roughness Index (IRI)]
- ✓ Sürüş Sayısını [Ride Number (RN)],
- ✓ Tekerlek izinde oturmasını (Rutting),

- ✓ Geometrik özelliklerini [kurb yarıçapını, enine ve boyuna eğimini] ,
- ✓ Küresel konumunu [DGPS kullanılarak],
- ✓ Makro yüzey dokusunu,
- ✓ Ölçüm esnasındaki araç hızını
- ✓ Mesafe
- ✓ Küresel Pozisyon [Koordinat]
- ✓ Rakım

Gerçek zamanlı olarak görüntülenmekte ve kaydedilmektedir.



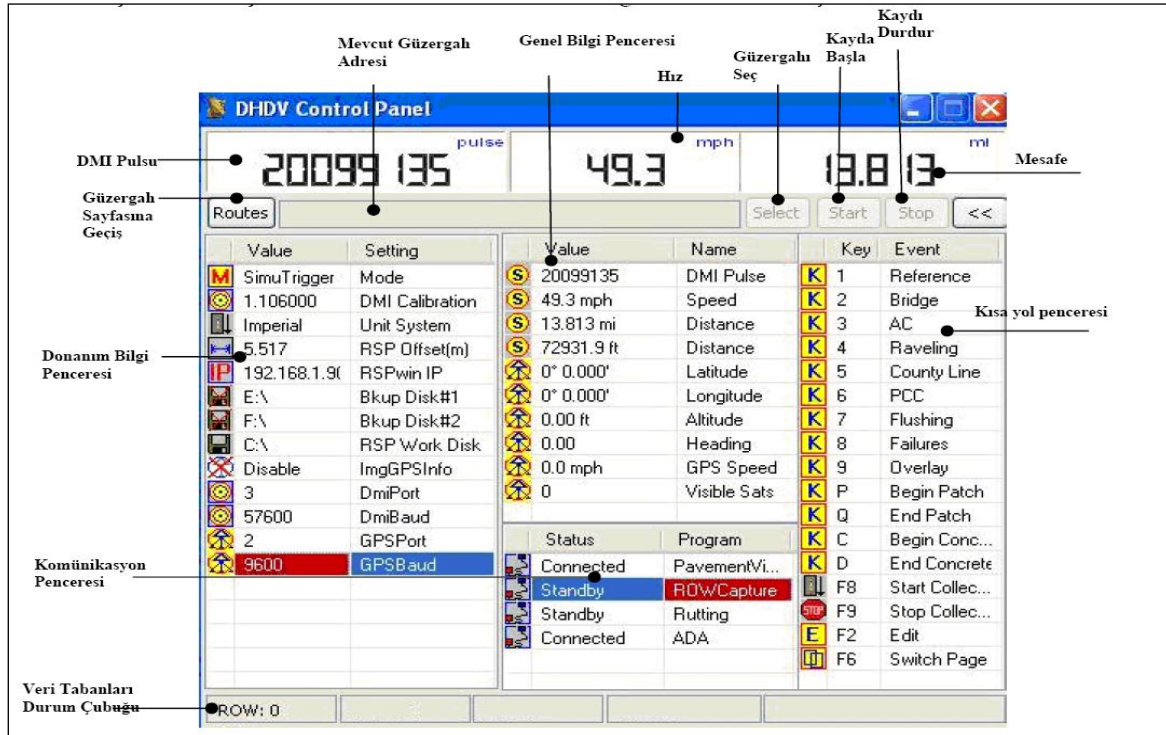
Şekil 4.26. IRI, Mesafe, Hız, Küresel Konum, Tekerlek İzinde Oturma, Geometrik Özellikler



Şekil 4.27. Makro Yüzey Dokusu, Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi, Tekerlek İzi.

Kontrol Paneli

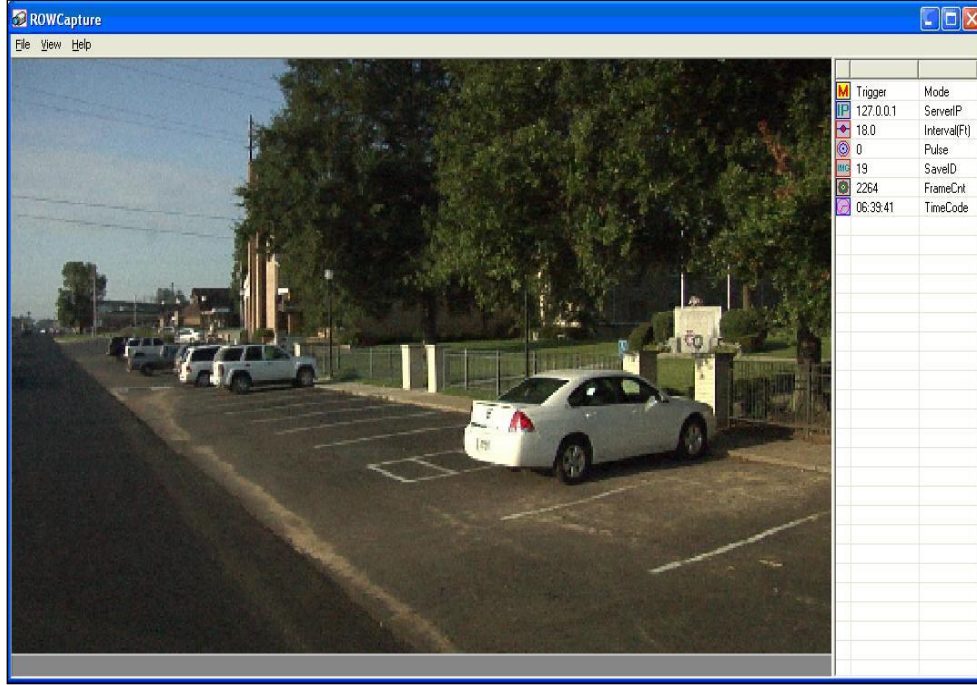
Veri yakalama uygulaması olup bu yazılım tüm yazılım uygulamaları ve donanımı kontrol ve koordine etmektedir.



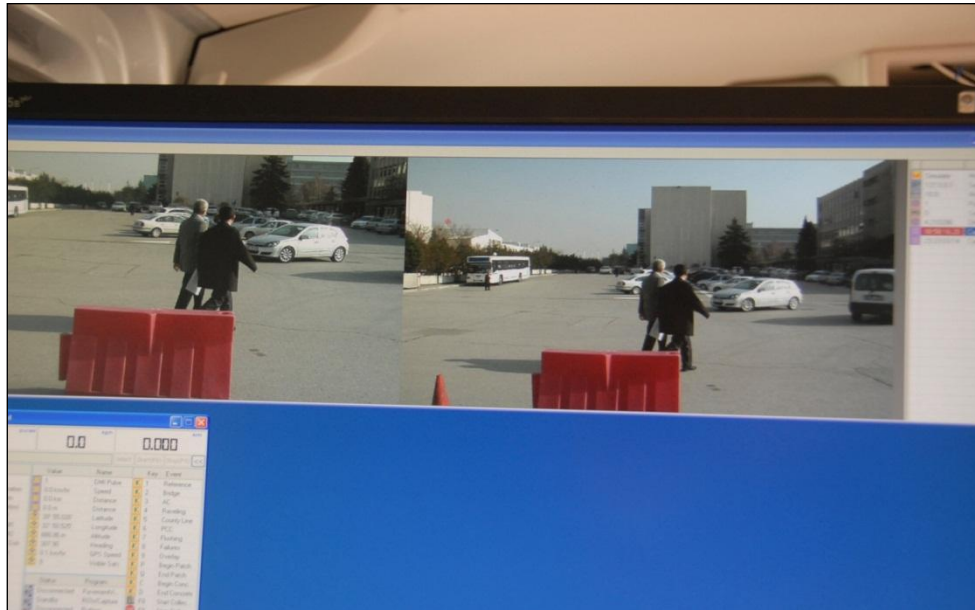
Şekil 4.28. Veri Yakalama Uygulaması, Tüm Yazılım Uygulamaları, Donanımın Kontrol ve Koordinesi.

Capture ROW

2 adet yüksek çözünürlük kamera ile elde edilen gerçek zamanlı yol yüzey bilgilerinin monitörde gösterilmesini ve kaydedilmesini sağlamaktadır.



Şekil 4.29. Yüksek Çözünürlük Kamera İle Elde Edilen Gerçek Zamanlı Yol Yüzey Bilgilerinin Monitörde Gösterilmesi Ve Kaydedilmesi.



Şekil 4.30. Görüntünün Aktarılması



Şekil 4.31. Görüntünün İşlenmesi



Şekil 4.32. Gerçek Zamanlı Görüntünün Elde Edilmesi



Şekil 4.33. Profilometre Ölçüm Cihazı (Arka profilden)



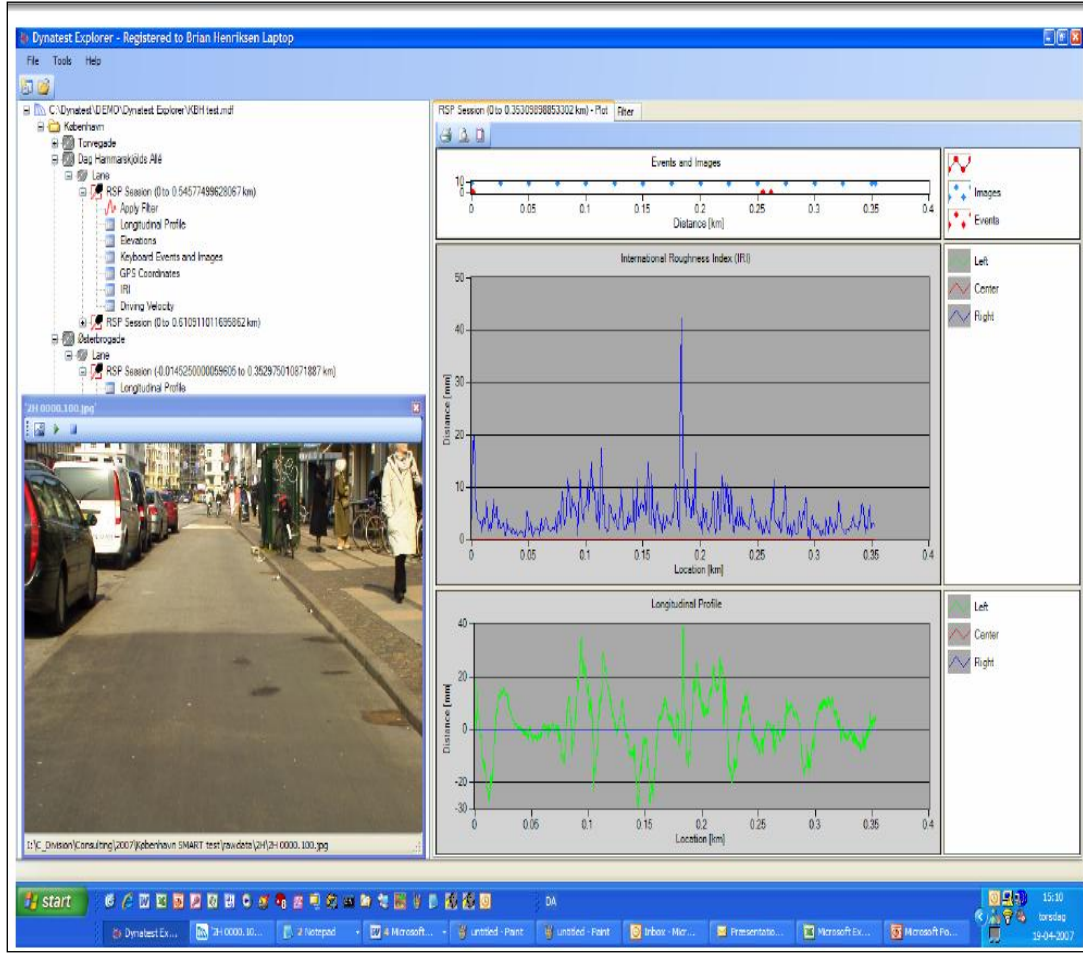
Şekil 4.34. Hareket Halindeki Profilometre Ölçüm Cihazı (Yan Profilden)

4.2.3. Analiz Programları

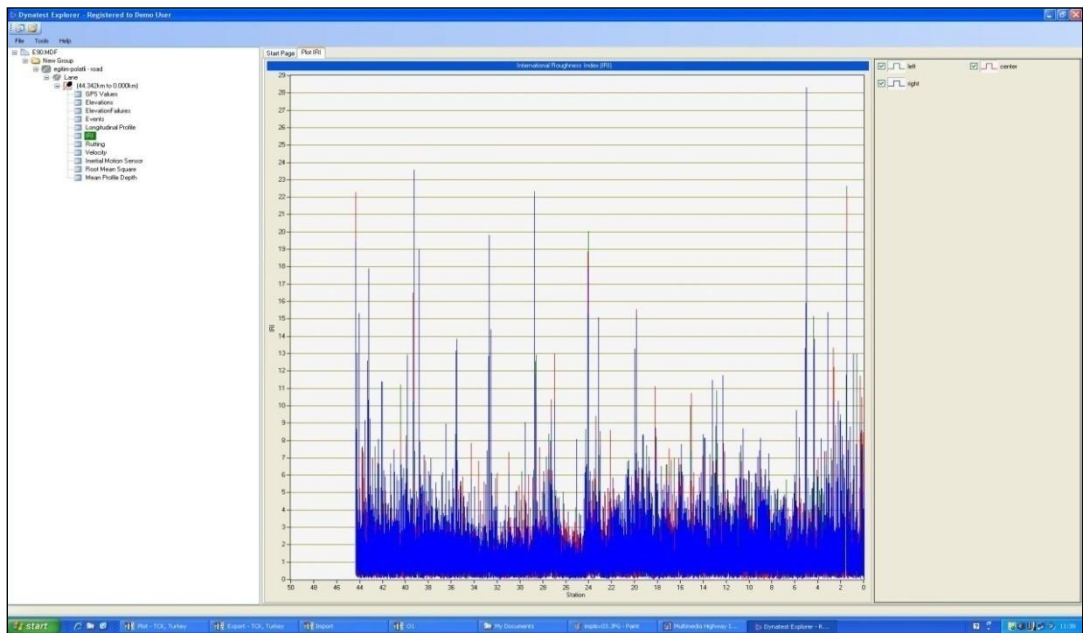
- Dynatest Explorer
- Implex
- Multimedia Karayolu Enformasyon Sistemi (MHIS) Deluxe

Dynatest Explorer

Dynatest Explorer Profilometre ekipmanlarıyla ölçülen bütün verilerin toplandığı ve profil indeksinin hesaplandığı veritabanıdır. Toplanan veriler Dynatest Explorer'a aktarılır. Explorer grafikleri göstermektedir (Jensen ve Arshadi, 2007).



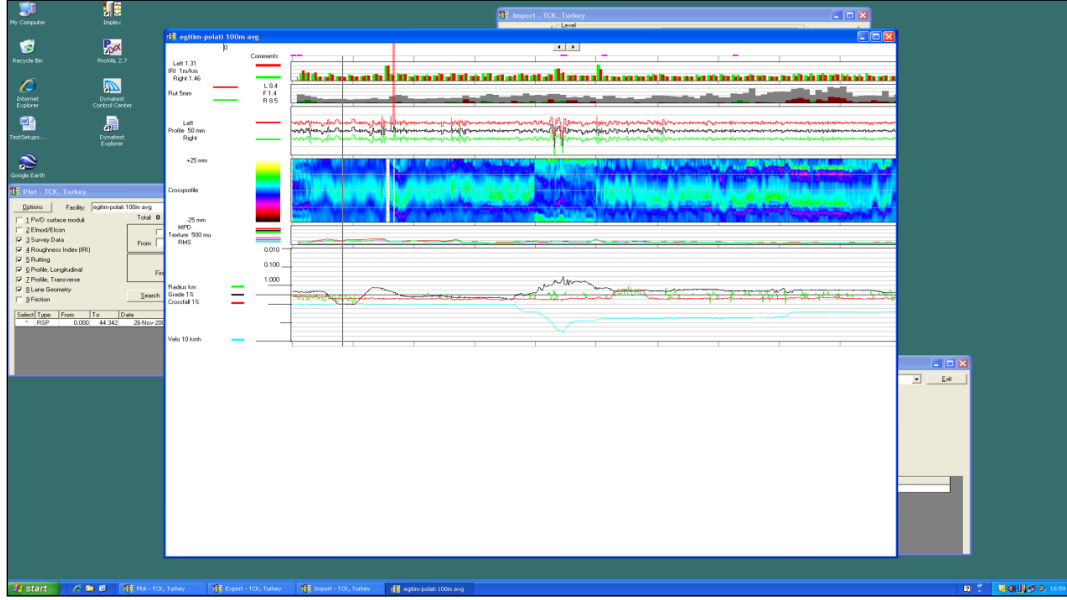
Şekil 4.35. Dynatest Explorer İle Analiz



Şekil 4.36. Dynatest Explorer

Implex

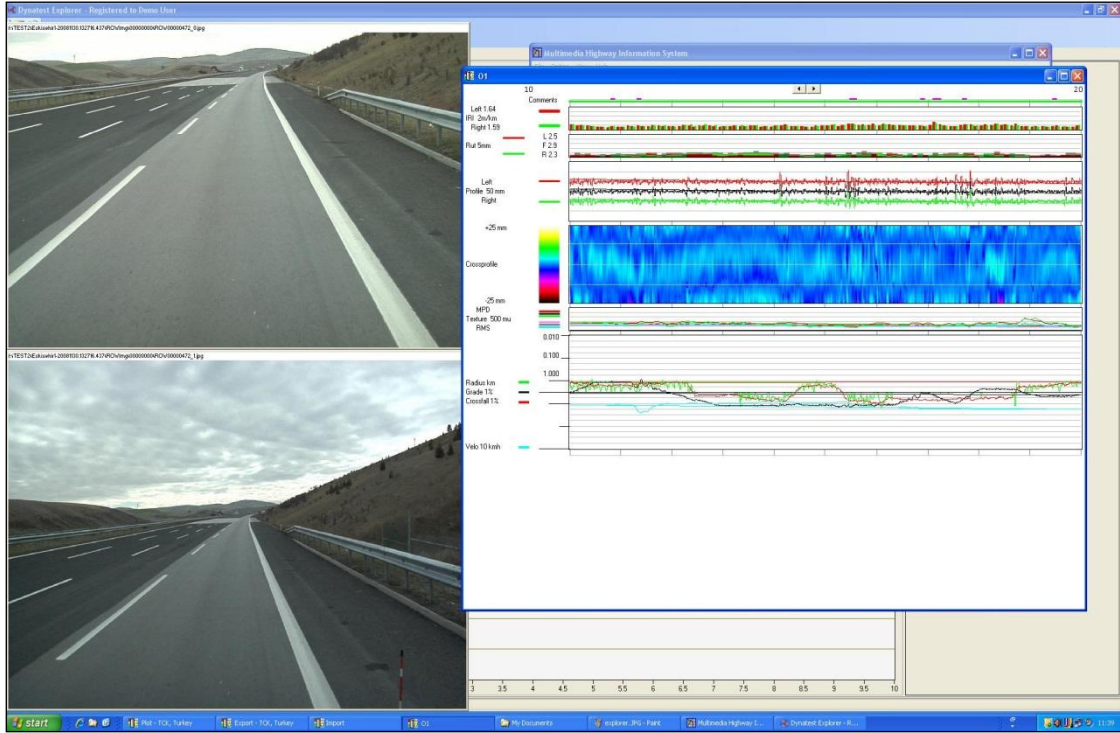
Implex ile analiz Dynatest Explorer'dan alınan grafikler işlenerek Multimedia Highway Information System (Karayolu Bilgi Sistemi)'ne aktarılır.



Şekil 4.37. Implex İle Analiz

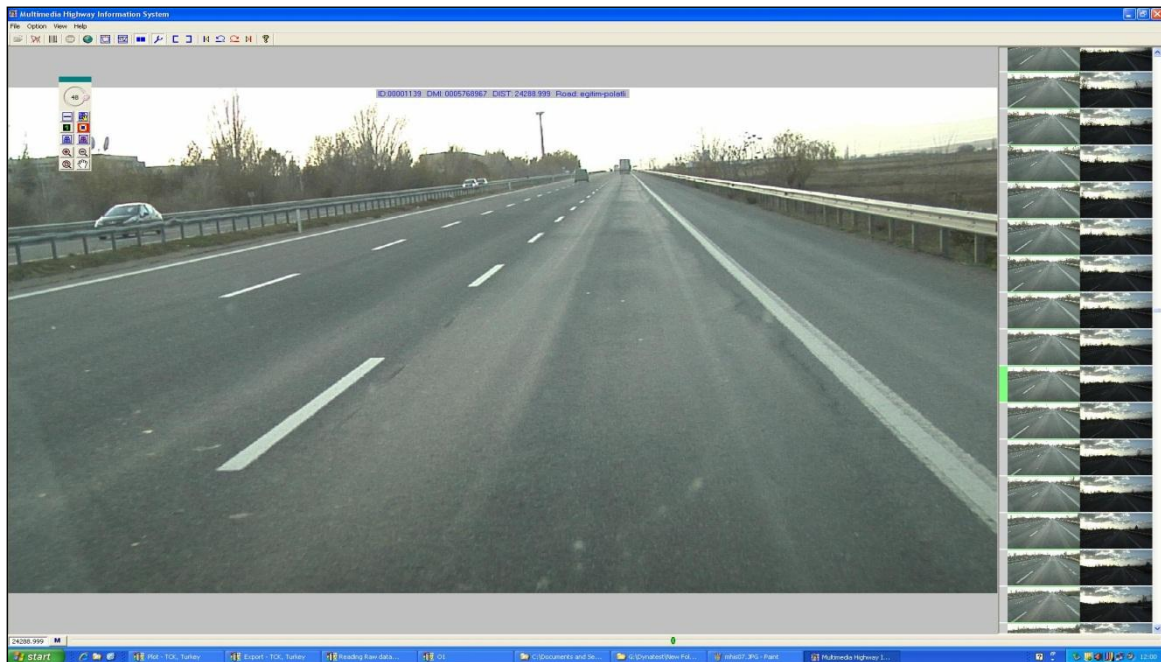


Şekil 4.38. Implex İle Analiz

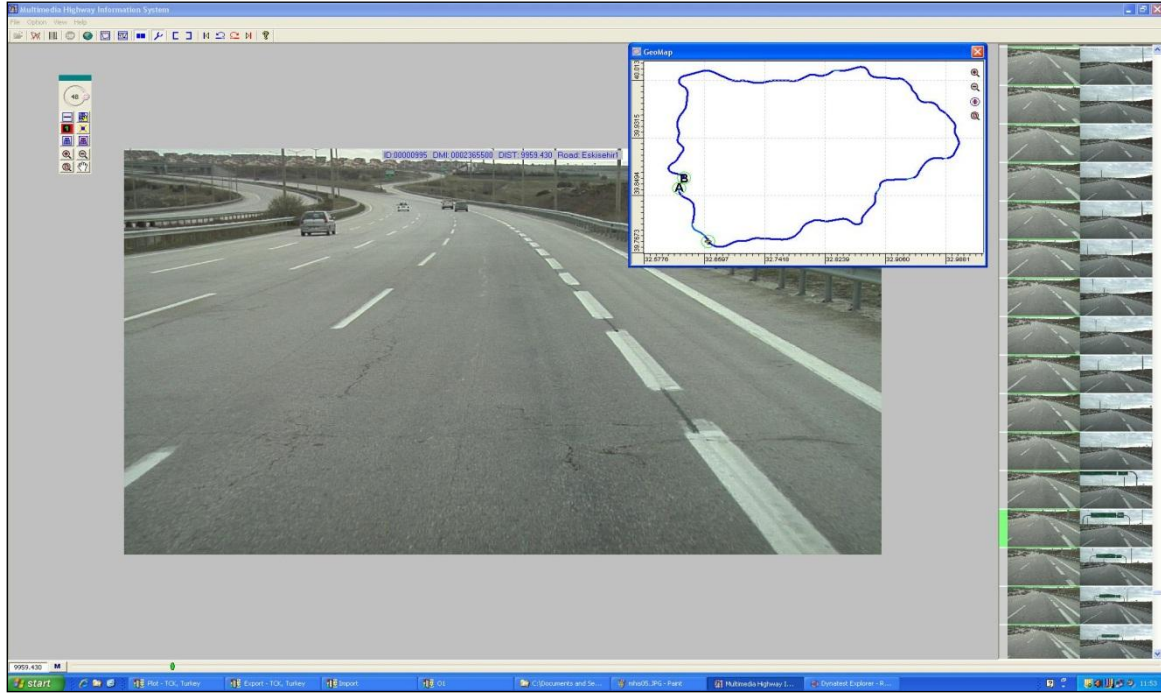


Şekil 4.39. Implex İle Analiz

Multimedia Karayolu Enformasyon Sistemi (MHIS) Deluxe (Multimedia Highway Information System) ile Dynatest ve Implex ile işlenen görüntüler üzerinde analizler yapılabilir.



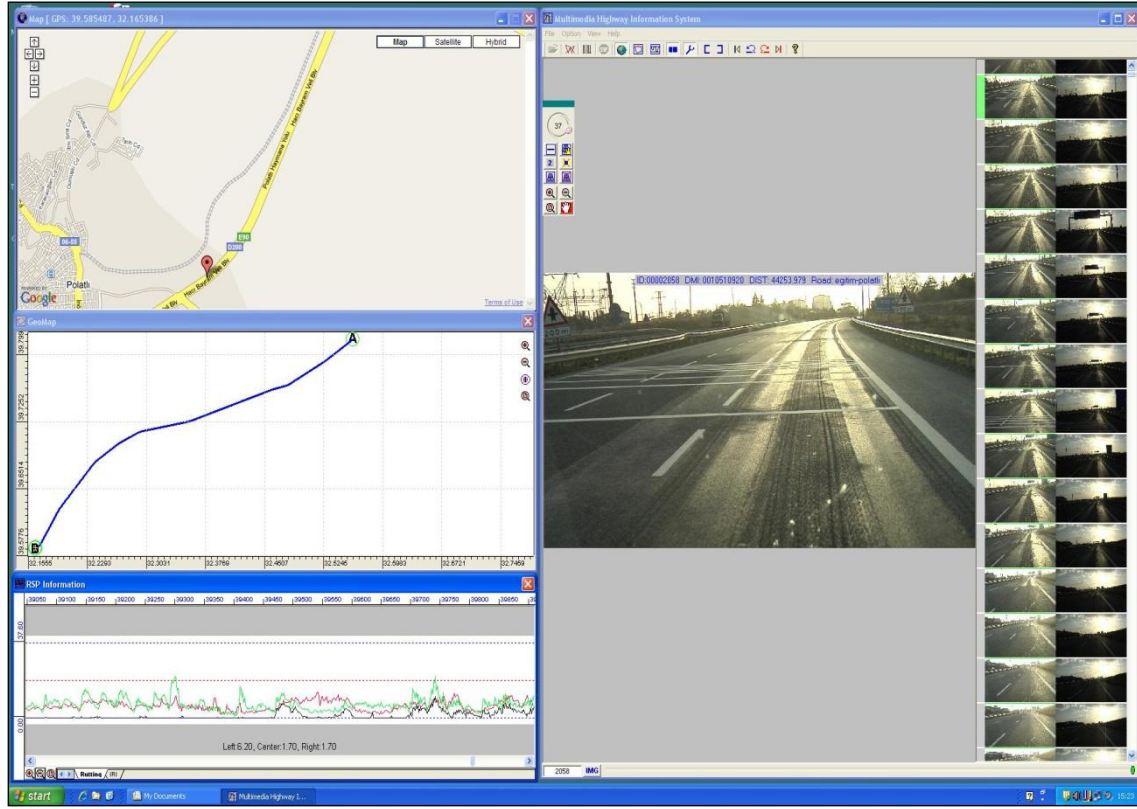
Şekil 4.40. Multimedia Karayolu Enformasyon Sistemi (MHIS) Deluxe



Şekil 4.41. Multimedia Karayolu Enformasyon Sistemi (MHIS) Deluxe



Şekil 4.42. Google Earth'den Verilerin Aktarılması



Şekil 4.43. Verilerin İşlenmesi

4.3. NÜKLEER YOĞUNLUK VE RUTUBET (NEM) ÖLÇÜMÜ

Proje kapsamında daha önce alınması planlanan ve çeşitli nedenlerle gecikme yaşanan nükleer yoğunlukölçer cihazı tarafımıza ulaşmıştır. Sadece 1 hafta önce kullanmaya başladığımız cihaz ile henüz ölçüm yapılmamıştır. Bu cihaz kullanılarak yapılacak ölçümlere sonuç raporunda yer verilecektir.

4.3.1. Beton ve Asfalt Kaplamaların Değerlendirilmesi

4.3.1.1. Lcn Testleri

Uluslararası Sivil Havacılık Organizasyonu (ICAO) tarafından havaalanı uçuş ünitelerinin taşıma kapasitelerinin saptanması için benimsenen ve 1950’li yıllardan itibaren kullanılmakta olan “Yük Sınıflandırma Sayısı (LCN) Sistemi”, ülkemizde uzun yıllardan beri kaplamaların gerçek taşıma kapasitesinin tespitinde ve kalınlık dizaynlarında kullanılmaktadır.

Testlerin esası yaklaşık 60-70 ton civarındaki temsili uçak yükünün uçak iniş takımı tek tekerlek temas alanına karşılık gelen standart plaka üzerinden kaplamaya transfer ettirilerek doğal zeminden itibaren oluşturulan yapının yük transferlerine karşı davranışının tespitine dayanmaktadır.

Bu testler “ICAO-Aerodrome Manuel” ve “DOE-Design and Evaluation of Aircraft Pavements” a göre yapılmaktadır.

4.3.1.2. Pcn Testleri

Uçak yükünün kaplamaya dağılımını ifade eden “Uçak Sınıflandırma Sayısı (ACN)” değerine göre trafiğe açılmış bir uçuş ünitesinin sınırsız kullanımı için, “Kaplama Sınıflandırma Sayısı (PCN)”, en az ACN değerinde veya daha büyük olmalıdır.

Başlangıçta, bu değer sağlanmış olsa bile, işçilik ve malzeme kalitesi, temel tabakalarında şartnamelerce öngörülen sıkıştırma oranlarının gerçekleşme durumu, yeraltı su seviyesi ve yönünde değişimler ile drenaj tıkanması veya dizaynda öngörülen yüklerin üzerinde kaplamaların yüklenmeleri nedenleriyle durumda değişimler olabilir. Bu nedenle, geri kalan kullanım ömürlerinin tespiti için testlerin en az iki yılda bir yenilenmesi gerekir.

PCN testlerinde, LCN testlerindeki zor ve zaman alıcı çalışmalar yerine, hızlı ve güvenli değerlendirme yapabilen “Falling Weight Deflectometer (FWD)” kullanılmaktadır. FWD, son teknoloji ürünü mekanik donanımı, işletim sistemi ve sahip olduğu yazılım programları dizayn kalınlığının tespiti için bir test ve değerlendirme aracıdır.

4.3.1.3. Yüzeysel Pürüzlülük Testleri

Havaalanı uçuş ünitelerinin beton ve beton asfalt kaplamalarının, uçağın iniş-kalkış ve yer hareketleri sırasında mekanik titreşimlerden zarar göremeyeceği, havalanma ve durma mesafelerine uygun bir yüzey profiline sahip olması gerekir.

Kaplamalarda, inşaat sırasındaki yüzey tesfiye hatları, sonradan oluşan çatlama, kırılma ve oturmalar, teknik şartnamelerde ve sınır değerlerle tanımlanan pürüzlülüğü meydana getirir (www.troxlerlabs.com).

4.3.1.4. Tahribatsız Test Yöntemleri İle Yapılan Testler

4.3.2. Sıkışma Testleri

Doğal zemin üzerinde, topraklı agrega ile yapılan dolgularda, temel tabakaları ve çimento-bitüm karışımli kaplamalarda, “optimum rutubet/max. sıkışma laboratuvar verileri” ile yerinde yoğunluk ve rutubet miktarlarını karşılaştırarak sıkışma oranı nükleer kaynaklı cihazlarla tespit edilmektedir.

Seaman C-200, Troxler 3401, 3411, 3440 ve 3450 serili cihazlar nükleer geometrileri ve kaynak dizaynları ile yüksek teknoloji ürünü hardware’leri sayesinde yüksek dayanıklılık ve doğruluk içinde test sonuçları veren bu cihazlar, inşaatın hızlı ve ekonomik olarak sürdürülmesinde önemli yarar sağlar (www.troxlerlabs.com).

4.3.2.1. Troxler 3440



Şekil 4.44. Troxler 3440

Troxler RoadReader™ nükleer nem / yoğunluk ölçerler birçok mühendis, müteahhit, karayolu departmanları tarafından toprak, beton ve asfalt sıkıştırmasının tayin için kullanılırlar.

Genellikle iki tip test modu yoğunluk tayini için seçilir: Bunlar doğrudan iletim ve geri dağılım modudur. Operatör, malzeme türüne bağlı olarak modunu seçer ve tabaka kalınlığı testi yapılarak yoğunluğu belirtir.

Model 3430'da tuş takımı, ekran ve dört dilde operatör kılavuzu kullanılır ve bu Troxler'in sunduğu en basit, en ekonomik göstergedir. Model 3440 ise 30 ayrı özel fonksiyon, 450 kadar test kayıtlarının saklanması, 18 aylık kayıt saklama garantisi, basit işlemler yapabilmek için birçok özellik sağlar.

Model 3440 bize sıkıştırma kontrolü için gereken özelliklerini Model 3430' dan bir adım daha fazla verir. Model 3440'da yoğunluk geri dağılım ya da doğrudan iletim moduyla nem ise geri dağılım modunda ölçülür.

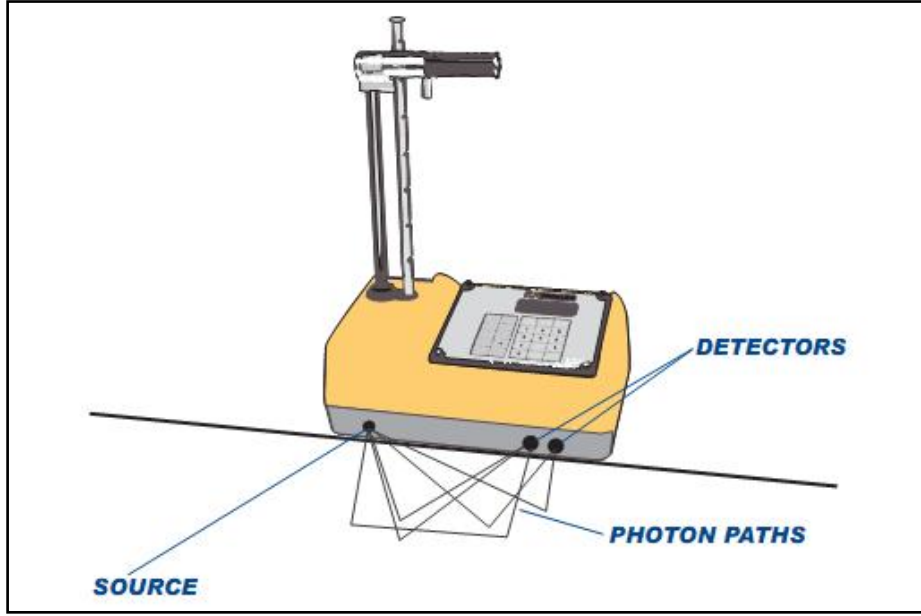
Troxler 3440'ın Genel Özellikleri:

- Veri depolama - 450 tane tamamlanmış test kaydı herhangi bir bilgisayara ve ya yazıcıya yüklenebilir.
- Uzun süre depolama - ölçüm notlarının test kayıtlarıyla saklanması sağlar.
- Otomatik endeksleme- operatör hatasından olabilecek kaynakları ortadan kaldırır.
- 30 özel fonksiyon sağlar - örneğin: şahsi test ve servis programları hassasiyetle seçilir ve özel malzeme için saha kalibrasyonu yapılır.
- Nomograph yöntemle asfalt bindirmeleri ölçülür.
- Garanti uzunluğu - ilk 18 ay kayıt saklama garantisi vardır.
- Otomatik derinlik göstergesine sahiptir.
- Hemen her alanda mevcut uzaklık ayarlanabilir.
- 40 yıllık bir kullanım ömrü verir (www.troxlerlabs.com).

Üç test modunu kısaca ele almak gerekirse:

4.3.2.1.1. Geri Dağılım Modu

Geri dağılım hızlı ve zararsızdır. Gama kaynağı ve detektörler ölçüm için test malzemesi yüzeyine dayandırılır. Gama ışınları test malzemesine girer, malzemeye dağılır ve detektörlere ulaşır. Geri dağılım öncelikli olarak asfalt tabakaları üzerinde yoğunluğu belirlemek için yaklaşık 4" lik betonda kullanılır (www.troxlerlabs.com).



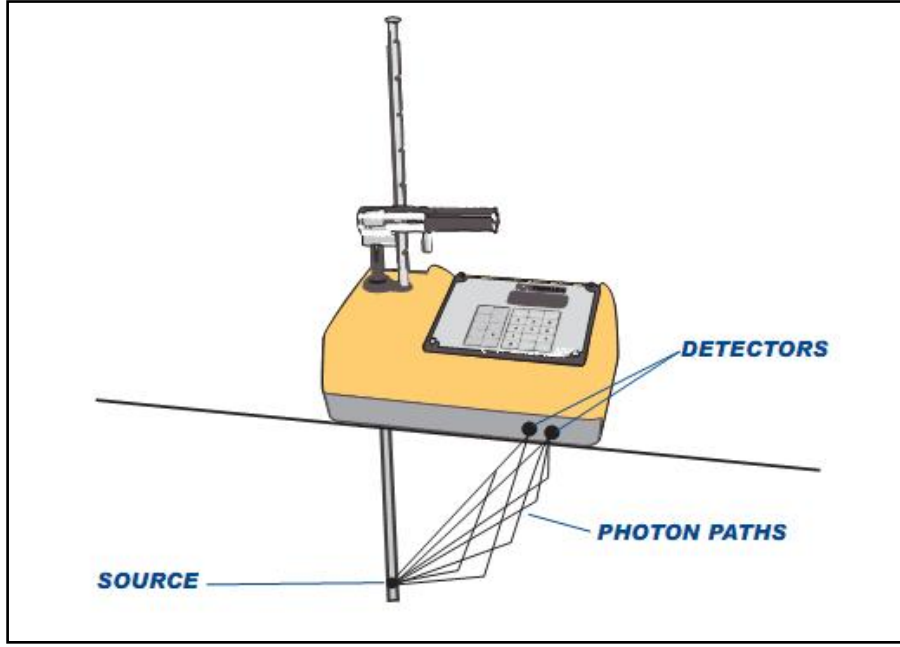
Şekil 4.45. Geri Dağılım

4.3.2.1.2. Doğrudan İletim Modu

Gama kaynağı test malzeme içinde belirli bir derinlikte olan erişim çukuruna konumlandırılmıştır. Gama ışınları test malzemesi aracılığıyla ölçülerek yer detektörlerine iletilir. Ortalama yoğunluk gama kaynağı ve detektörleri arasında fotonlarla bu sayede belirlenmiş olur.

Ölçümle beraber pürüzlülükten kaynaklanan hatalar ve test malzemesinin kimyasal bileşimi büyük ölçüde azaltılabilir ve ölçü doğruluğu artırılabilir.

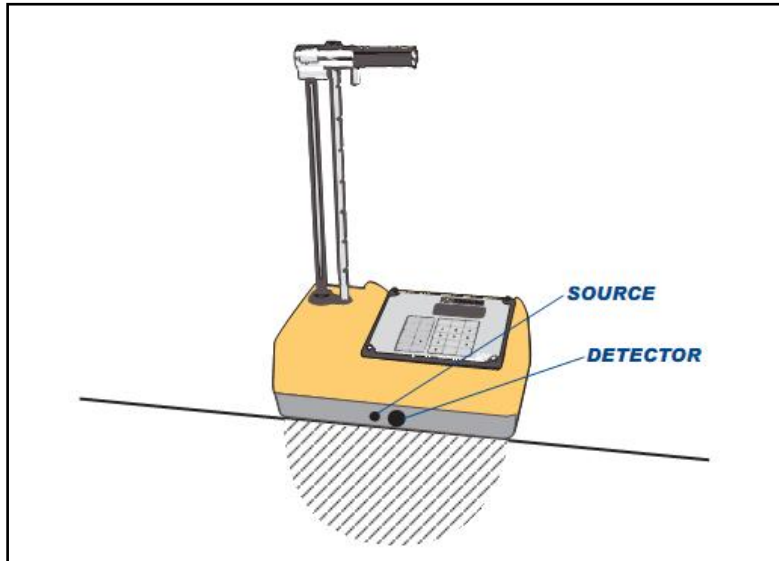
Doğrudan iletim toprak yükseltme, agrega ve asfaltı test etmede kullanılır ve en fazla 12” derinlikte test edilir (www.troxlerlabs.com).



Şekil 4.46. Doğrudan İletim

4.3.2.1.3. Nem Algılama

Test malzeme yüzeyinin üstünde bulunan nötron kaynağı ve detektörlerce nem ölçülür. Nötronlar hızlanarak test malzemesine girer ve hidrojen atomlarının mevcut çarpışmasından sonra yavaşlarlar. Kalibredeki helyum3 detektörleri nötronların thermalized (yavaşlama) sayısını sayar (www.troxlerlabs.com).



Şekil 4.47. Nem Algılama

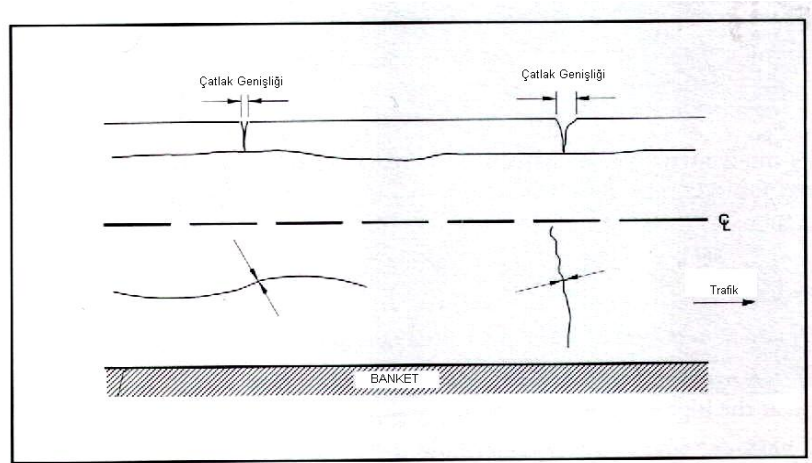
5. ESNEK ÜSTYAPILARDA OLUŞAN BOZULMALAR, BAKIM VE REHABİLİTASYON

5.1. Asfalt Betonu Kaplamalı Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar

Asfalt betonu kaplamalı esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalar dört ana sınıfta toplanabilir (Terzi, 2004).

1. Kırılma veya çatlama
 - a-) Yorulma kırılması (timsah sırtı çatlak)
 - b-) Blok çatlak (büzülme çatlağı)
 - c-) Kenar kırılması
 - d-) Tekerlek izi oturması
 - e-) Boyuna yönde kırılma (teker izi dışı)
 - f-) Yansıma çatlakları
 - g-) Enine yönde kırılma
2. Yama ve oyuklar
 - a-) Yama bozulması
 - b-) Oyuklar
3. Yüzey deformasyonu
 - a-) Ondülasyon ve Yığılma
4. Yüzey hataları
 - a-) Kasma
 - b-) Cilalanmış agrega
 - c-) Sökülme (ayrışma)

Genel olarak kırılma veya çatlak, çeşitli nedenlerle üstyapı yüzeyinde oluşan çeşitli şekillerdeki kırılmalara denir. Çatlak genişliğinin ölçümü, Şekil 5.1’de gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Esnek üstyapılarda çatlak genişliği ölçümü (SHRP, 1993)

a) Yorulma Çatlağı (Timsah Sırtı Çatlak)

Stabil olmayan temel veya taban zemininden dolayı yükleme nedeniyle veya tekrarlı yükler altında belli bir süre sonra oluşur. Başlangıçta boyuna yönde çatlak oluşur, daha sonra enine yönde çatlamalar meydana gelerek boyuna çatlaklar ile birleşir.

Çatlaklar parçalanmamış ya da yarıkları doldurulmamış ise düşük önemde, çatlaklar gözle görünür biçimde parçalanmış ise orta önemde, kırık parçalar trafik etkisi ile yer değiştirdiyse yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.2. Timsah sırtı çatlak

b) Blok Çatlak (Büzülme Çatlağı)

Bir seri poligondan oluşan çatlaklardan meydana gelir. Poligonlar keskin köşeli veya açılıdır. Yükten dolayı meydana gelmez, genellikle asfaltın sertleşmesi ve rötresinden (büzülme) meydana gelir (tekerlek izi dışında).

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıklar düşük önemde, genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıklar orta önemde, genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıkların yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.3. Blok kırılması

c) Kenar Çatlağı

Kaplama kenarından yaklaşık 30 cm içerde meydana gelen boyuna çatlaklardır. Bazen bu çatlaklar ile banket arasında enine çatlaklar da meydana gelir (KGM, 1998).

Malzeme kaybı olmayan kırıklar düşük önemde, etkilenen üstyapı kısmı uzunluğunun % 10'nu kadar malzeme kaybı olan kesimlerin orta önemde, etkilenen üstyapı kısmı uzunluğunun % 10'dan daha fazla malzeme kaybı olan kesimlerin yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.4. Kenar çatlağı

d) Tekerlek izi çatlak

Yüklemeden dolayı oluşan yorulma kırıkları olarak adlandırılır. Tekerlek izinin şeklini aldığı ve tekerlek izleri altında meydana geldiği için tekerlek izi çatlak olarak isimlendirilir.

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği > 6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği > 19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da genişliği ≤ 19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.5. Tekerlek izinde orta önemde boyuna kırılma

e) Boyuna Çatlak

Yüklemeden dolayı oluşmaz. Kötü yapılmış inşaat derzleri, yüzey tabakasının büzülmesi, yansıma çatlakları ve taban zemininin oturması nedeniyle oluşur.

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, orta genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, orta genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da orta genişliği ≤ 19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.6. Yüksek önemde boyuna çatlak

f) Yansıma Çatlakları

Asfalt takviye tabakası üzerindeki çatlaklar olup, altta kalmış olan esas kaplamada daha önce mevcut olan çatlakların takviye tabakasına yansımasıyla meydana gelir. Bu çatlaklar boyuna, enine, diyagonal veya bloklar şeklinde olabilirler (KGM, 1998).

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da genişliği ≤ 19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.7. Yüksek önemde yansıma çatlağı

g) Enine Kırılma

Genelde yüklemeden dolayı oluşmaz. Yüzey tabakasının büzülmesinden veya yansıma nedeniyle oluşur.

Genişliği ≤ 6 mm (0,25 inç) kırıkların düşük önemde, genişliği >6 mm (0,25 inç) ve ≤ 19 mm (0,75 inç) kırıkların orta önemde, genişliği >19 mm (0,75 inç) kırıklar; ya da genişliği ≤ 19 mm (0,75 inç) olan çatlakların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.8. Yüksek önemli enine kırılma

5.1.2. Yama ve Oyuklar

a) Yama Bozulması

Üstyapı yüzeyinin $0,1 \text{ m}^2$ den daha büyük kısmına orijinal inşaatın sonra kaldırma, yer değiştirme veya ilave malzeme uygulamasıdır. Yama sınırındaki herhangi bir bozulma yama oranı içinde değerlendirilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.9. Orta önemde yama

b) Oyuklar

Üstyapı yüzeyindeki çeşitli yuvarlak şekilli deliklerdir. Minimum plan boyutu 15 cm dir.

Derinliği 25 mm.den daha az olan oyukların düşük önemde, 25 mm ile 50 mm derinliğinde olanların orta önemde, 50 mm.den daha fazla derinliğe sahip olanların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.10. Oyuklar

5.1.3. Yüzey Deformasyonu

Bu bölüm yüzey deformasyonlarının ondülasyon ve yığılma tiplerini içerir.

a) Ondülasyon ve Yığılma

Ondülasyonlar, plastik bir hareket sonucu, asfalt kaplamalarda meydana gelen enine ve aralıklı kabarmalardır. Yığılmalar ise, plastik bir hareket sonucu asfalt kaplama sathında meydana gelen tümsekler ve şişkinliklerdir (KGM, 1998).

Etkilenen alanın metre kare cinsinden alanı veya ondülasyon yüksekliği kullanılarak tanımlanır. Yüksekliği 5 mm'den daha az olanların düşük önemde, 5 mm ile 10 mm yüksekliğinde olanların orta önemde, 10 mm' den daha fazla yüksekliğinde sahip olanların ise yüksek önemde olduğu kabul edilir.



Şekil 5.11. Ondülasyon ve yığılma

5.1.4. Yüzey Kusurları

a) Kuma (Terleme)

Sıcak havalarda, serbest bitümün yol yüzeyine çıkması ile meydana gelir. Kaygan bir yüzey oluşur. Soğuk havalarda işlem geri dönemez.

Aşırı asfalt nedeniyle kaplamadan taşıdığı için kaplama yüzeyinin nispeten rengi değiştiğinde düşük önemde, kaplama yüzeyinin yapısı kaybolduğunda orta önemde, asfalt parlak bir kaplama yüzeyi ortaya çıkardığında, agregası aşırı asfalt ile görünmediğinde ve tekerlek izleri aşırı sıcakta açıkça görülebildiğinde yüksek önemde kuma olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.12. Yüksek önemde kismada açıkça görülen tekerlek izleri

b) Cilalanma

Bu bozulma, kaplama yüzeyindeki agrega danelerinin cilalı ve pürüzsüz hale gelmesidir. Bu tip bozulma hem doğal olarak pürüzsüz yüzeyli kırılmamış agrega kullanılmasından, hem de kırmataşın trafik etkisiyle aşınmasından meydana gelir. Etkilenen alanın metre kare cinsinden alanı kullanılarak tanımlanır (KGM, 1998).



Şekil 5.13. Cilalanmış agrega

5.1.5. Sökülme/Ayrışma

Sökülmeler, asfalt kaplamadaki agrega daneleri arasındaki bağlantının yeteri kadar olmayışı nedeni ile yerinden çıkması ile oluşur. Yerinden çıkma (sökülme), trafiğin yarattığı yatay kuvvetler ve vakum nedeni ile kütledeki bağlantısı zayıf danelerin yerinden çıkması ve bu nedenle yolda delikler meydana gelmesi ile oluşur (KGM, 1998).

Bazı ince agregaların kayıp olduğu durumların düşük önemde, agrega ve/veya binderin kaplamadan ayrıldığı ve yüzey yapısının pürüzlü ve oyuklu olduğu durumların orta önemde

ve yüzey yapısının çok pürüzlü ve oyuklu olduğu, aynı zamanda bazı kaba agregaların kayıp olduğu durumların yüksek önemde olduğu kabul edilir (SHRP, 1993).



Şekil 5.14. Sökülme örneği

5.2. Sathi Kaplamalı Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar

Esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalar üç ana sınıfta toplanabilir.

1. Tekerlek izi oturması
2. Yama ve çukurlar
 - a-) Yama bozulması
 - b-) Çukurlar
3. Yüzey hataları
 - a-) Kasma (terleme)
 - b-) Cilalanmış agrega
 - c-) Soyulma
 - d-) Tarak şeklinde çizgi

5.2.1. Tekerlek izi oturması

Asfalt üstyapılarda oluşan tekerlek izi oturması ile aynıdır.

5.2.2.Yama ve çukurlar

a-) Yama bozulması

Asfalt styapılarda oluşan yama bozulması ile aynıdır.

b-) ukurlar

Asfalt styapılarda oluşan çukurlar ile aynıdır.

5.2.3.Yüzey hataları

a-) Kusma (terleme)

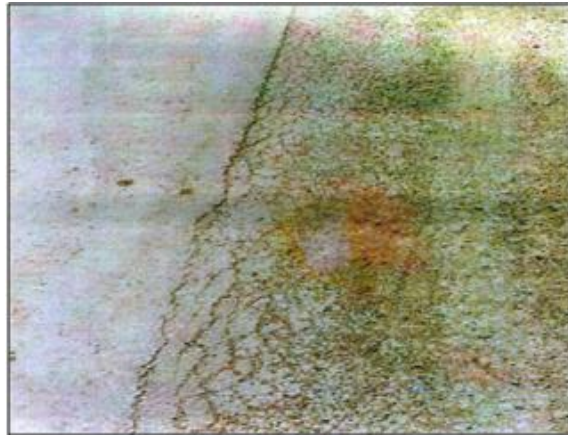
Asfalt styapılarda oluşan kusma ile aynıdır.

b-) Cilalanmış agregat

Asfalt styapılarda oluşan cilalanma ile aynıdır.

c-) Soyulma

Bu bozulma, sathi kaplamalı yollarda agreganın trafik etkisiyle bitümlü malzemeden ayrılmasıdır (KGM, 1998). şekil 1.15’de sathi kaplamalarda oluşan soyulma bozulması rneği görülmektedir.



şekil 5.15. Agreganın soyulması

d-) Tarak şeklinde çizgi

Yol eksenine paralel veya dik olarak asfaltın meydana çıkması şeklinde ortaya çıkan ince ve kalın çizgilerdir. Distribütörün asfalt püskürtme borusunun yol yüzeyine olan yüksekliği iyi ayarlanmadığında veya ani fışkırma olduğunda meydana gelir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16. Tarak şeklinde boyuna çizgiler

5.3. Asfalt Üstyapılar için Bakım ve Rehabilitasyon Yöntemleri

Üstyapı rehabilitasyonu bir bilim olduğu kadar aynı zamanda da bir sanattır. Üstyapı rehabilitasyonu için “doğru” ve “yanlış” çözüm yoktur, “daha iyi” ve “optimum” çözümler vardır. Faydayı maksimize ederken maliyeti minimize eden “optimum” çözüm, kısıtlar (örneğin sınırlı sermaye) nedeniyle her zaman mümkün olmayabilir. Bununla beraber, ekonomik, diğer arzu edilen niteliklere sahip ve mevcut kısıtları karşılayan çözüm “tercih edilen” bir çözüm olacaktır. Mühendis, verilen özel durumlar ve sınırlamalara göre en “tercih edilen” rehabilitasyon yöntemini kendine göre belirlemekle yükümlüdür. Tercih edilen çözümün seçimi çok kompleks bir mühendislik problemi olmasına karşın, rehabilitasyon çözümlemesi adım-adım yaklaşım kullanılarak daha kolay yapılabilir. Bu yaklaşımın temelleri; üstyapı problemleri veya bozulmalarının sebeplerinin belirlenmesi, olası çözüm listesinin geliştirilmesi ve rehabilitasyon yönteminin seçim gereksinimlerini esas alır. (ASSHTO, 1986).

Çeşitli seçenekler, hem geciktirici hem de düzeltici bakım ve rehabilitasyon amacıyla uygulanır. Şekil 5.17. , Ontario Ulaştırma Bakanlığı (MTO) tarafından kullanılan bakım ve rehabilitasyon seçeneklerinin listesini göstermektedir. Mevcut bakım ve rehabilitasyon seçeneklerinin açıkça tanımlanması, mevcut stratejilere ilave yapmak veya silmek, ve mevcut

şartlardan en uygununa karar vermek önemlidir. Böylece öncelik programlaması süreci etkili bir biçimde uygulanabilir (Haas vd., 1994).



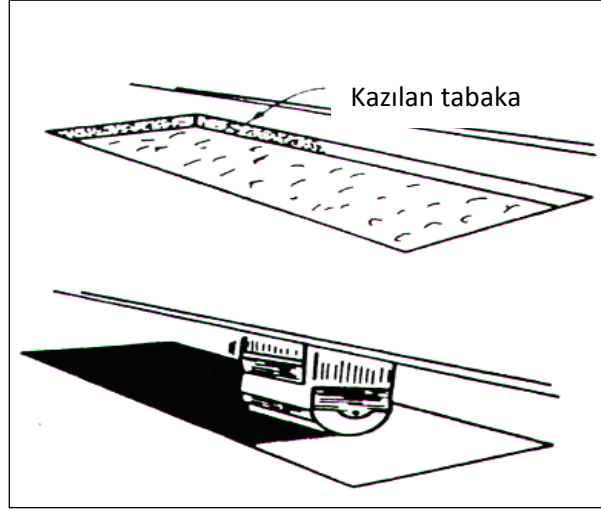
Şekil 5.17. Ontario’ da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri (Haas vd., 1994).

5.3.1. Sınırlandırılmış B ve R

a) Tam Derinlikte Yama (Asfalt betonu)

Bu teknik asfalt betonu tabakası ve belki de temel ve alttemel tabakalarının tam derinlikte değiştirilmesidir (Shahin, 2002). Tüm üstyapı tiplerine uygulanabilen bu yöntem aynı zamanda yüksek maliyete sahiptir. Fakat yüksek maliyeti nedeniyle onarımı geciktirmek, daha yüksek maliyete ve daha hızlı bozulmaya neden olur (AASHTO, 1986).

Tam derinlikte yama, timsah sırtı çatlak ve tekerlek izi gibi yapısal ve malzemeden kaynaklanan bozulmaların onarımı için kullanılır. Asfalt betonu tabakasının üstünde sınırlı miktarda küçük çatlaklar olması durumunda, eğer kolayca kaldırılıbiliyorsa, yama derinliği sınırlandırılabilir (Shahin, 2002).



Şekil 5.18. Tam derinlikte yama

b) Çatlak Doldurma

Çatlak doldurma, asfalt betonunda temizleme, doldurma veya yeniden doldurma işlemleridir. Genellikle, en maliyet etkili (ucuz) yöntemdir.

Bu teknik 0,3 cm (1/8 inç)'den geniş enine ve boyuna çatlakları doldurmak için kullanılır. Asfalt betonunda çatlak doldurmanın başlıca amacı, yüzeyden üstyapı tabanına su akışına engel olmaktır. Üstyapının genel durumu iyi olduğunda bu tekniğin kullanımı en düşük maliyetli yöntemdir.

5.3.2. Genelleştirilmiş B ve R

Genelleştirilmiş B ve R, geciktirici amaçla kullanıldığında en ekonomik uygulamadır. Asfalt betonu üstyapılar için yaygın olarak kullanılan yöntemler aşağıda sıralanmıştır.

a) Püskürtme Uygulaması (Fog Seal)

Bu teknik, bir distribütör (dağıtıcı) kullanılarak mevcut üstyapının yüzeyine ince bir bitüm tabakası püskürtülmesidir. Bu yöntem, su geçirimsizliğini artırmak ve ayrışmayı azaltmaya yardımcı olmak amacıyla asfalt betonu üstyapının ömrünü uzatmak amacıyla kullanılır. Püskürtme uygulaması, özellikle trafiğin olmadığı veya az olduğu üstyapıların bakımı için iyi bir yöntemdir. Asfalt betonu üstyapılar trafik olmadığında, ağır veya orta derecede trafiğin bulunduğu üstyapılardan daha çabuk sertleşme ve ayrışma eğiliminde olur.

b) Gençleştirme (Rejuvenators)

Gençleştirme yöntemi, püskürtme yöntemine benzer. İlave olarak, uygulama miktarının fazla olması sayesinde, asfalt tabakanın dayanımını artırır ve çatlak miktarını azaltır.

Bu yöntem genel olarak püskürtme uygulaması ile benzerlik göstermesine karşın, farklı olarak, asfalt betonunun içine işler ve binder tabakasını yumuşatır. Ayrıca, asfalt betonu yüzeyinin sertleşmesini ve sıcaktan meydana gelen çatlakların büyüklüğünü azaltır (Shahin, 2002).

c) İnce Karışım Uygulaması (Slurry Seal)

Bu teknik, iyi derecelenmiş agrega, su ve mineral fillerden oluşan asfalt emülsiyon karışımının ince bir tabaka şeklinde uygulanmasıdır.

Üstyapılarda, kayma direnci veya yüzey sızdırmazlığı sağlamak için kullanılır. İnce karışım uygulaması, küçük çatlakları (genişliği 0,3 mm'den küçük) doldurur. İnce karışım uygulaması, orta veya düşük trafik hacmine sahip üstyapılar için en uygun çözümdür(Shahin, 2002).

d) Sathi Kaplama Uygulaması (chip seal)

Bu teknik, bir agrega tabakasının asfalt bağlayıcı üzerine uygulanmasıdır. Eğer agrega yerine kum kullanılırsa, bu uygulama kum doldurma (sand seal) olarak isimlendirilir.

Üstyapılarda, kayma direnci veya yüzey sızdırmazlığı sağlamak için kullanılır. Bu uygulama, düşük trafik hacmine sahip üstyapılar için en uygun çözümdür. Uygulama kalınlığı 2,5 cm (1 inç) olabilir. Fakat, maliyetler sıcak karışım ince takviye tabakasına yaklaşıp. Bazı uygulayıcılar, yüzey uygulaması olarak ince takviye tabakası uygular.

5.3.3. Ana B ve R

Ana B ve R, düzeltme veya yapısal ve fonksiyonel özellikleri geliştirmek için kullanılır. Bu yöntemler, aşırı derecede bozulmuş, çabuk bozulan veya değişen trafik yüklerine maruz üstyapılar için genellikle ekonomiktir.

a) Soğuk Kazıma Uygulaması

Soğuk kazıma uygulaması, bir makine kullanılarak yüzey tabakasının belli bir kalınlıkta kaldırılarak takviye tabakası uygulanmasıdır.

Asfalt üstyapıyı kabul edilebilir düzeye çıkarmak amacıyla uygulanır. Bozulmuş tabaka kaldırılır ve takviye tabakası ile alt tabakaların birbirine iyice bağlanması sağlanır. Soğuk kazımanın en sık kullanılan tipi, yeniden kullanım işlemidir. Mevcut asfalt üstyapı malzemesi kaldırılarak, yeni agrega ve asfalt ile karıştırılarak tekrar yerleştirilir (Shahin, 2002).

b) Asfalt Betonu Takviye

Bu yöntem, mevcut asfalt betonu veya portland çimentosu betonu üzerine bir veya daha fazla asfalt betonu tabakası ilave etmektir.

Bu yöntem, kayma direnci ve sürüş kalitesi gibi fonksiyonel gereksinimler veya yapısal kapasiteyi artırmak için kullanılır. Asfalt betonu takviyenin kullanımı, genellikle mevcut üstyapı durumu hala iyi iken daha ekonomiktir.

c) Yeniden inşaat

Bu yöntem, mevcut üstyapının kaldırılması ve yenisiyle değiştirilmesidir. Mevcut üstyapı aşırı derecede bozulduğunda ve ekonomik analiz değerlendirmeleri esas alındığında bu yöntem kullanılır. Bu işlem, yeni üstyapı tasarımı ve inşaatına benzer (Shahin, 2002).

6. ESNEK ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMLERİ

Genel anlamda yol üstyapı yönetim sistemleri (ÜYS), literatürde yol bakım yönetim sistemleri, üstyapı bakım sistemleri, üstyapı yönetim sistemleri gibi adlarla anılmaktadır.

Bir esnek üstyapı, yeni inşa edildiğinde performansı yüksektir. Ancak, değişik iklim koşulları, trafik vb. gibi faktörlerle zamanla yolun performansında önemli azalmalar görülmektedir. Meydana gelen bu performans azalmalarını iyileştirmek veya gidermek için bakım çalışmalarının yapılması gerekecektir. Bakım çalışmalarının zamanında ve belirli öncelikleri dikkate alarak yapılabilmesi için ÜYS' lerin hazırlanması gerekir (Ministry of Transport, 1970).

Bir yol üstyapı yönetim sisteminin esas amacı, minimum maliyette, belirli bir sürede, istenilen servis düzeyinde yol üstyapılarının bakım, onarım ve iyileştirilmesi için gerekli en iyi çözümleri bulmada karayolu yöneticilerine yardımcı olmaktır.

Yol üstyapı yönetim sistemi (ÜYS) ile ilgili ilk çalışmalar 1960'lı yıllarda Kuzey Amerika'da, 70'li yılların başında ise Avrupa'da yoğun bir şekilde incelenmeye başlanmış ve her ülke kendi yol ağlarını kapsayan yol üstyapı yönetim sistemini kurmaya veya geliştirmeye çalışmıştır. Ülkemizde ise bu konu ile ilgili çalışmalar, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından Ekim 1994 yılında 'Kanada Pavement Management Systems Limited' e yaptırılan pilot bir proje ile başlatılmıştır.

Bir bakım yönetim sistemi, planlama ve bakım işlemlerinde kullanılmak üzere envanter, yol ağı üzerindeki yol durumunun incelenmesi, yolun servis kabiliyetine göre bakım çalışmalarının tespiti, gerekli bütçeyi hesaplamak için maliyet hesabı ve bütçenin yetersiz olduğu durumlarda önceliklerin belirlenmesi, uygulama ve yapılan bakım çalışmalarının gözlenmesinden oluşmaktadır (Haas, 1994).

Genel anlamda bir karayolu işletim sistemi şu elemanlardan oluşmaktadır.

1-Üstyapı yönetim sistemi

2-Bakım yönetim sistemi

3-Köprü yönetim sistemi

6.1 Karayolu Esnek Üstyapı Durumlarının Değerlendirilmesi

Bir yol ağının mevcut durumunu ortaya koyup, buna göre uygulanacak bakım stratejilerinin belirlenmesini sağlayan üstyapı yönetimi, karayolu ağının mevcut durumunun sağlıklı biçimde değerlendirilmesiyle başlar.

Bu kısımda, kapsamlı bir bakım yönetim sisteminin geliştirilmesinde gerçekleştirilmesi zorunlu üstyapı durum değerlendirilmesi bağlamında, üstyapı bozulmalarını belirleme yöntemleriyle, bakım için öncelik ve gereksinim değerlendirmesi üzerinde durulacaktır (Haas, 1994).

6.1.1 Üstyapı Durum Değerlendirmesi ile İlgili Genel Bilgi

Üstyapı durum değerlendirilmesinin ana amaçları;

- a) Yolun mevcut durumunu belirlemek, ilk bozulma belirtileri ve bunları izleyen bozulma ilerlemesini ortaya koyan, sürekli izleme yolu ile bakım gereksinimlerini saptamak,
- b) Üstyapıların bozulmaya bağlı olarak gelecekte nasıl davranacaklarını tahmin etmek üzere bilgi sağlamak,
- c) Yıllık ve uzun süreli bakım programları planlamak,
- d) Çeşitli yol durumlarını karşılaştırarak bakım önceliklerini tayin etmek,
- e) Programlanan çalışmanın uygun şekilde yapılıp yapılmadığını kontrol etmek ve onun etkisini değerlendirmek,
- f) Karayolu yetkilileri açısından daha nesnel ve düzenli karar vermeye zemin sağlamak,
- g) Üstyapı tasarım yöntemleri ile, yapım ve bakım tekniklerinin yeterliliğini değerlendirmek şeklinde sıralanabilir.

Bu amaçlara ulaşmak için, aşağıda sıralananlar ile ilgili veri gereklidir;

- Bükülme, düzgünsüzlük, kayma direnci ve diğer parametreler gibi, ölçülebilir üstyapı durumu özellikleri,
- Ölçülen verinin yorumu ve üstyapı durumlarının teşhisi için gerekli, yol geometrisi, kazalar, trafik, üstyapının yapısı, yürütülen çalışmaların tarihçesi, çevre, vs. gibi tamamlayıcı etkenler,
- Ölçülen durumlar veya gözlemlerden sağlanan sonuçların karşılaştırabildiği

kalite düzeylerini oluşturan kalite standartlarıdır.

- Sonuç olarak, gereksinimleri öncelik sırasına göre sıralamayı sağlayan bir yöntemdir.

Bu işlemler, benimsenen bakım politikası çerçevesinde, elle yapılan veya bilgisayar kontrollü bir veri analizinin, bakım gereksinimlerini öncelik sırasına göre göstermesi bazında tamamlayıcı bir değerlendirme sistemi ile bütünleştirilmelidir (Haas, 1994).

6.1.2 Üstyapı Bozulmalarını Belirleme Yöntemleri

Bu kısımda öncelikle, görünen bozulmalar ve bozulmalar ile ilgili üstyapı özelliklerini kaydetme şeklindeki, mevcut üstyapı değerlendirme teknikleri ve yüzey bozulmalarını belirlemeye mahsus yöntemler üzerinde durulmuştur. Yol üstyapısının durumu, uzman ölçüm ekipmanı kullanımı ile ve/veya fotoğrafik ya da optik gözlem vasıtasıyla değerlendirilebilir.

Deneyim, iki yöntemin birbirini tamamladığını göstermiştir. Gerçekte, yüksek verimlilikteki ölçüm ekipmanı kullanımının artması, belirli alanlarda genellikle daha öznel ve daha az doğrulukta bazı optik gözlem tiplerinin yerine geçebilmekle birlikte, optik gözlem, aşağıdaki nedenlerle esastır;

- Yalnızca ölçüm ile değerlendirilecek tüm üstyapı özellikleri veya bozulmaları için olası değildir,
- Yalnızca ölçüm kullanımı, çoğu durumlarda esaslı bir bilgi kaybına yol açar,
- Ölçüm ve fotoğrafik veya optik gözlemler, mutlaka aynı sonuçları verir.

Bu yüzden, dikkatli gözlem sonuçları ile ölçümden elde edilen veriyi birleştirmek ve bir sonraki analizi ikisi üzerine kurmak zorunludur. Bu nedenle, olası üstyapı durumlarının değerlendirilmesi sistematik gözlem gerektirir. Bununla birlikte, farklı gözlem hizmetlerinin üstyapı durumlarını tanımlama için aynı yöntemi kullanmaları gereklidir. Teknik personelin, teorik ve pratik bakımdan iyi eğitilmesi esastır. Örnek olarak, bozulma nedenlerinin araştırılması çok karmaşık bir işlemdir ve gerekli analitik çalışma yalnızca, her durumda çok miktarda yüksek kaliteli bilgi mevcut olması ve bozulma nedenleri, analizinin uzmanlar tarafından gerçekleştirilmesi halinde başarılı olacaktır. Kullanılmakta olan bazı sistemler Tablo 6.1'de tanımlanmaktadır (Haas, 1994).

Tablo 6.1. Üstyapıların yüzey durumlarını kaydetme örnekleri

Sınıf	Kullanılan Yöntem	Ölçümler	Ölçülen Özellikler																				
			Deformasyon				Kusurlar	Kırıklar ve Çatlaklar				Yüzey			Onarımlar								
			Oturma	Bükülme, tümsek	Dalgalar	Çarpılma (Mevzi Oturma)	Tekerlek izi	Çökme(Göçme), kuş banyosu	Soyulma, dağılma (ayırışma)	Şevlerin kayması	Zig zag çatlaklar	Boyuna çatlaklar	Enine Çatlaklar	Bağılantılı çatlama	Yansıma çatlakları	Köşe çatlağı, kırık	Cıalanma	Yolunma	Terleme	Çamur göçü	Hendekler	Yamalama	Görünüm
Değerlendirme Esnek Üstyapılar	Ontario Washington California				X	X	X		X	X	X	X	X	X				X	X			X	
	Quebec Minnesota					X					X	X	X								X		
	Fransa		X		X			X	X			X	X	X			X		X	X		X	
	Kanada		X	X	X	X	X			X		X	X	X	X			X			X	X	X
	İngiltere				X	X	X		X			X		X	X		X		X		X	X	
Fotoğrafla Kaydetme	U.S.A	Hava Fotoğrafları	Üstyapı altındaki ve çatlaklar çevresindeki nemi ortaya çıkarmak için infrared(kızılötesi) fotoğrafcılık.																				
	Fransa Norveç Japonya	Fotoğrafçılık	Bozulmaların ölçümü. Kusurların miktarı belirlenebilir ve ölçümler objektiftir																				
	U.S.A British Columbia	Fotolog	Fotoğraflar üstyapıya paralel olarak alınır.Yöntem, kullanıcı tarafından görüldüğü gibi, üstyapı ve çeresinin genel bir görünüşünü verir. Bu önemli üstyapı kusurlarını ortaya çıkarır.																				

6.1.2.1. Fotoğrafik Gözlem Yöntemleri

Üstyapı bozulmalarının, fotoğrafik olarak kaydedilmesi ile ilgili üç yöntem kullanılmaktadır. İlk yöntem, bir dizi fotoğraf almaktan ibarettir. İkinci ve üçüncü yöntemlerde ise, bir araca bağlanmış olup, üstyapıyı yola paralel veya dik olarak fotoğraflayan bir kamera kullanılır (Haas, 1994).

6.1.2.2. Optik Gözlem

Kontrolün ana amacı, gözle olabildiğince tam bir bozulma etüdü yapmaktır. Sistematik bir optik etüdü gerçekleştirilmeden önce, gözlenecek yolu belirli uzunluktaki kesimlere bölmek gereklidir. Değişik gözlem ekipleri, aynı terminolojiyle, aynı kayıt ve ölçme yöntemlerini kullanmalıdırlar.

Gözlemler, gözetim tipine göre hareketli araçlar içindeki, bisikletler üzerindeki veya yaya gözlemciler tarafından yapılmalıdır. Gözlemin yapılması gereken zaman periyodu ve

gözlemin frekansı ile ilgili standartlar, yolun önemi, araştırılacak yol elemanları, iklim koşulları ve üstyapının genel durumuna bağlı olarak değişir. Böylece, acilen onarılması gereken bozulmaların ortaya çıkarılmasını sağlayan gözlem, günlük, haftalık veya aylık yapılır. Halbuki, genel veya sistematik gözlem, yılda iki kez veya genellikle yılda bir kez olmak üzere, daha uzun zaman aralıklarında yapılır.

Gözlem sonuçlarının kaydedildiği mevcut gözlem formları, bilgisayara doğrudan doğruya girdi olarak verilecek şekilde hazırlanmıştır. Formlar, yerinde doğru kayda yardımcı olmak, hatalardan kaçınmak ve aynı zamanda veri işleme çalışmalarını da kolaylaştırmak üzere, olabildiğince basit olmalıdır. Verinin bilgisayar işleminden geçirilmesi sırasında, bakım personeli ve veri işleme bölümü arasındaki ortak çalışma, etkili ve doğru bir veri analizi için esastır (Haas, 1994).

6.1.2.3. Bozulmaların Ölçülmesi

Bozulmaların kaydedilmesi, onların tanımlanması, yerlerinin belirlenmesi ve miktarlarının, yani, şiddet ve yoğunluklarının saptanmasını içerir. Bozulmaların önemini belirlemek için, mevcut üstyapı durumlarını, kabul edilebilir durumda olduğu varsayılan bir referans üstyapı ile karşılaştırmak gereklidir. Bu nedenle, aynı uzunluktaki yol kesimleri üzerinde değerlendirmeler yapmak ve eğer bu olası değilse, standart hale getirilmiş uzunluklar üzerindeki veriyi analiz etmek zorunludur.

Kesimler:

- a) Trafik hacmi ve tipi, yol geometrisi, üstyapı bileşimi, yüzey tipi, yapım yılı veya son aşınma tabakası teşkili ya da sağlamlaştırma yılı vs. gibi etkenler bakımından uzunlukları boyunca düzenli olmalı,
- b) Kavşaklar, kilometre işaretleri, özel işaretler, vs. ile sınırlanmalı,
- c) Evvelce, trafik ölçümleri, kaza yeri, yol envanteri, vs. gibi diğer amaçlar için kullanılan kesimler ile uyumlu olmalıdır.

Çoğu bozulmalar birçok şiddet düzeyinde sınıflandırılabilir. Tekerlek izi derinliği, çatlak genişliği vb. belirli bozulmalar ölçülebilir niteliktedir. Ancak, şiddet değerlendirmesi genelde, fotoğrafların tanımlanması gibi öznel ölçütlere dayanır.

Dünyada çoğunlukla, bakım programlarını planlama amaçları için üç şiddet düzeyi belirlenir. Tablo 6.2’de görüldüğü üzere Kanada, Ontario gibi bazıları ise, bozulmaların zamanla ilerlemesini daha iyi izlemek üzere, beş şiddet düzeyi belirlemişlerdir. Farklı kuruluşlar, çeşitli bozulma tiplerinin şiddetlerini değerlendirmede farklı ölçütleri esas alırlar (Haas, 1994).

Tablo 6.2. Ontario' da sökölme miktarını belirlemek için kullanılan şiddet düzeyleri

Sınıf	Üniform Tanımlama	Yol Gösterciler (Görünüş gözlemlerine dayalı)
1	Çok az	Ancak görülebilir.
2	Az	Görülebilir.
3	Orta	Çiçek bozuğu görünüşe sahip: çiçek bozukları arasında oldukça fazla aralık var.
4	Şiddetli	Çiçek bozuğu görünüşe sahip: çiçek bozukları oldukça yakın aralıklı.
5	Çok şiddetli	Yüzeyi sökülmiş bir görünüşe sahip ve oyuklara ayrılmış.

Kullanılan ölçütlerin bir kuruluştan diğerine çok farklı olması önemli değildir. Bununla birlikte, şiddet düzeylerini belirlemede kullanılan ölçütlerin, tüm ağın homojen biçimde değerlendirilebilmesi için, olabildiğince nesnel ve kesin olması istenmektedir (Haas, 1994).

Bozulmaların yoğunlukları genellikle;

- Boyuna çatlaklar, üstyapı kenar çökmesi, tekerlek izi oluşumunun etkilediği üstyapı uzunluğu oranı,
- Parabolik çatlaklar, bağlantılı çatlama, yolunma, soyulma ile hasar görmüş üstyapı alanı oranı,
- Enine çatlaklar ve oyukların sayısı olarak kolayca tanımlanır.
- Örnek olarak, aşağıdaki tablo, Ontario' da sökölme miktarını belirlemek için Tablo 6.3’de verilen beş yoğunluk sınıfı kullanılmaktadır.

Tablo 6.3. Ontario'da sklme miktarını belirlemek için kullanılan yoğunluk sınıfları

Sınıf	niform Tanımlama	Yol Göstericiler (styapı kesiminde bozulmanın etkilediği yüzey alanı %'sine dayanır)
1	Az	< 10 %
2	Aralıklı	10 - 20 %
3	Sık	20 - 50 %
4	Yoğun	50 - 80 %
5	Baştanbaşı	80 - 100 %

Belirli bir bozulmanın önemi, şiddet ve yoğunluğuna bağlı olarak açıklanır. Tablo 6.4, belirli bozulmaların şiddet ve yoğunlukları ile ilgili olarak Fransa'da öne sürülen değerlerin bir örneğini göstermektedir (Haas, 1994).

Tablo 6.4. Belirli bozulmaların genel önemlerini (şiddet ve yoğunluk) saptamak

GÖSTERGE	BELİRLEM E ÖLÇÜMÜ	ÖNEM	EK PARAMETRELE R	GEREKEN BAKIM
Kayma Direnci	S.C.R.I.M Taraından ölçülen S.F.C.	3	Yaklaşık 0.5 - 0.6 S.F.C.	Islak yüzeyde ortalama kaza oranından daha fazla
		2	Yaklaşık 0.35 - 0.5 S.F.C.	Kötü yol koşulları Kazalar
		1	S.F.C. 0.35 - 0.30(1)'dan az	Aşınma tabakasını yenileme
Yüzey bozulmaları- aşınma tabakasının plastik deformasyonu nedeniyle tekerlek izleri	Uzunluk oranı (%'si) Ortalama derinlik	2	40-100% ve 5 - 15mm	Sürekli gözetim veya yaşa göre aşınma tabakasını yenileme
		1	40-100% ve >15mm	Aşınma tabakasını yenileme
Bağlantılı çatlama, agregaların kaybı, terleme	Hasarlı üstyapı yüzey oranı	2	10 - 25%	Kayma direnci derecesi 2 veya düzgünlük derecesi 1
				Aşınma tabakasını yenileme, ince yüzey teşkili

(1) Ölçümlerin %40'ı 0.30'a eşit veya altında ya da ölçümlerin % 60'ı 0.35'e eşit veya altındadır.

Not: Her bir bozulma için 2 ve 3 önem düzeyi tanımlanır. Gerekli bakım çalışması, diğer bozulmalar ve son takviye işleminden sonra yol kesimini kullanmakta olan toplam kümülatif trafik gibi diğer parametreler göz önüne alındıktan sonra saptanır.

Kent içi yollara ait üstyapılar gibi belirli durumlarda, uygun bir değerlendirme ölçeği kullanılmak suretiyle, üstyapı durumlarını bütün yönleriyle değerlendirmek daha pratik olabilir. Tablo 6.5' de tipik bir örneği görülen böyle bir ölçek, yüzey bozulmalarının yoğunluk ve şiddeti ile sürüş konforuna dayanır (Haas, 1994).

Tablo 6.5. Üstyapı durumuna göre değerlendirme sayısı

SAYI	SÜRÜŞ	TANIMLAMA
1	Çok İyi	Anormal görünen unsur yok.
2	İyi	Birkaç çatlak ve az çökme ile birlikte, genellikle ciddi bozukluk yok.
3	Yeterince İyi	Yeterli aşınma yüzeyli, fakat, enine ve boyuna çatlaklı, birkaç poligon çatlaklı ve birkaç çökmeli üstyapılar.
4	Yeterince Kötü	Birkaç dalgalı, enine boyuna ve poligon çatlaklı ve ayrışma ve merdivenleşme başlangıcı gösteren üstyapılar.
5	Kötü	Tüm çeşitli haiz çok sayıda çatlaklı düzensiz profil ve prüzlü yüzeyli üstyapılar. Bütününde ileri hasar gösteren kanıtlar.

Toplanan datalar aşağıdaki kararlar:

- Üstyapının istenilen fonksiyonları yerine getirip getirmediği,
- Gelecekteki iyileştirme gereksinimlerini programlama ve planlama,
- Tasarım, bakım ve yapım teknolojilerini geliştirme için kullanılabilir.

6.2. Bakım İçin Öncelik ve Gereksinim Değerlendirilmesi

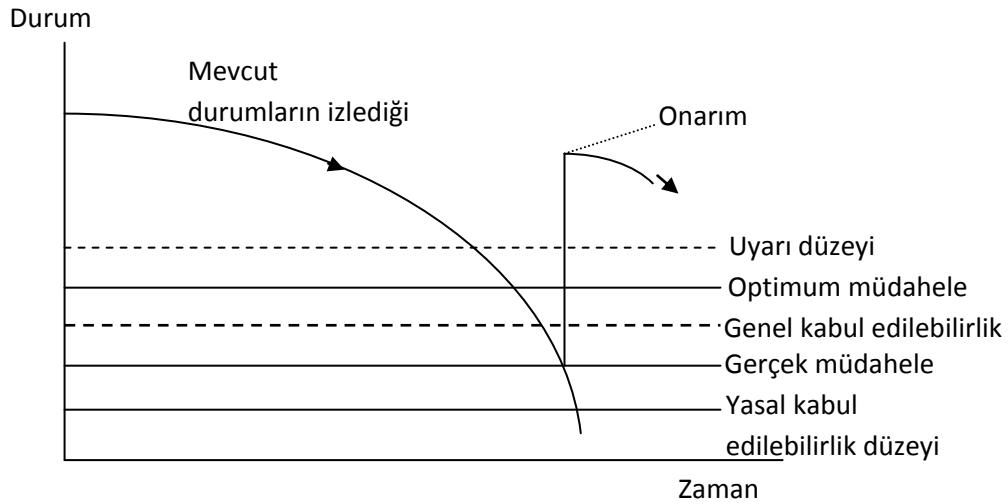
Bozulmaların belirlenmesi ve kaydedilmesinden sonra, gerekli müdahale önceliğini saptamak ve bakım gerektiren kesimleri belirlemek şeklinde bir yol izlenmelidir. Bunun için, kabul edilebilir yüzey durumlarına (kalite standartları) sahip olduğu varsayılan bir üstyapıyı referans olarak, gerçek üstyapı durumlarını tanımlayacak bir üstyapı değerlendirme sistemi geliştirmek gereklidir. Olabildiğince nesnel bir öncelik programının oluşturulması, tutarlı karar vermeyi sağlamak için zorunludur.

6.2.1. Bir Değerlendirme Sistemi Geliştirme

Böyle bir sistemin geliştirilmesi, ölçümler ve gözlemler ile elde edilen üstyapı durumlarına ait verinin bulunmasını, kalite standartlarının, mevcut durumlar ile karşılaştırılacak referans ölçütleri olarak ifade edilmesini, bakım gereksinimleri ve önceliklerini saptamak için, gözlem verisi ve ona bağlı ölçülmüş veriye ait bir veri işleme ve sınıflama yönteminin geliştirilmesini gerektirir. Sonuçlar, bakım mühendislerine kolayca kullanılabilir şekilde sunulmalıdır. (Karan, 1976)

Değerlendirme sistemlerinin, ulusal veya bölgesel bir ağı tamamı üzerinde düzenli şekilde uygulanabilmesi için, ulusal veya bölgesel düzeyde istenen en geniş olası formatta geliştirilmesi gerekir. Böyle bir yönetim sistemi, yalnızca tüm yönetim düzeyleri tarafından kullanılabildiğinde etkili olacaktır.

Doğru zamanda tayin edilecek uygun bakıma olanak vermek üzere, değerlendirilen her bir bozulma veya üstyapı özelliği için çeşitli durum düzeylerini belirlemek esastır. Bunlar, müdahalenin ve onarımın yapılması gereken düzeylerdir.(Şekil 6.1)



Şekil 6.1. Farklı bozulma ve müdahale düzeyleri arasındaki ilişki

- Uyarı düzeyi, mevcut durumu daha yakından izlemeye gereksinim gösteren düzeydir.
- Optimum müdahale düzeyi, uzun süreli toplam sosyal bakım maliyetlerini en aza indiren düzeydir.
- Gerçek müdahale düzeyi, bakımın uygulamada yapıldığı düzeydir. Yönetim tarafından, mevcut kaynaklar ile bağlantılı olarak belli yol sınıfları veya grupları için ayrı ayrı düzenlenir.

- Yasal kabul edilebilirlik düzeyi, yasal olarak belirlenen minimum düzeydir.
- Yenileme (onarım) düzeyi, bir karayolu bileşeninin, eski durumuna getirildiği düzeydir.

Gerçek müdahale düzeyi değişen bir düzeydir. Bu düzey, ideal olarak optimum müdahale düzeyi ile çakışmalıdır. İstenen ise, bu düzeyin genel kabul edilebilirlik düzeyinin üzerinde olmasıdır. (Karan, 1976)

Kalite standartları, önlemin alınması gereken bozulma düzeyini, nerede uygun ve olası olduğunu, ne olması gerektiğini tayin eder. Standartlar, yüksek kaliteli bakım için esastır. Bunlar, gerçek durumun karşılaştırılabildiği, kıstaslar ve bakım gereksinimi önceliklerinin ölçülebilmesinden sağlanan bir baz olarak kabul edilmelidir.

Standartlar ve değerlendirme sistemi, üstyapı bakım mühendislerine, bilgi, deneyim ve kararlarını daha gerçeklere dayalı bilgi sağlayarak, daha nesnel biçimde kullanmaları için yardım ederler.

6.2.2. Önceliklerin Saptanması

Gerçek öncelikler, yalnızca, bozulmaları, bakım gereksinimlerini etkilemelerine göre, onların göreceli önemleri ile ilişkili olarak sayısal terimler halinde sıralamak suretiyle saptanabilir. Buna karşılık, bozulmaların göreceli önemlerini değerlendirme ve buna göre sıralamaların yerini tayin etme, kalite standartlarını oluşturma ile birlikte çok öznel bir işlemdir. Sıralama yöntemleri, yolların trafik akışı ve fiziksel durumlarını göz önüne alarak, farklı yol uzunlukları arasındaki ve her bir yol uzunluğu içindeki değişik bakım gereksinimleri arasındaki öncelikleri göstermek amacıyla tasarlanmalıdır (Karan, 1976).

Bu hususta benimsenen bir yaklaşım, tüm bozulmalar için, bir bozulmanın yoğunluğu veya şiddeti ile ilgili olarak, 0 ile 100 arasında değişen bir nokta ölçeği kullanmaktır. Böylece, ağırlıklı etkenler, bakım gereksinimini etkilemesine göre göz önüne alınan bozulma önemi ile ilgili temel sıralamalar ve trafik akımları ile ilgili trafik etkenlerine göre uygulanır (Karan, 1976).

6.3. Yol Üstyapı Yönetim Sisteminin Yapısı ve Özellikleri

Yol üstyapı yönetim sisteminin yapısı basit bir veri tabanından (ağ düzeyinde büyük ölçekli planlama), çok karmaşık makro planlama düzeyinde uzman (expert) veya bilgi tabanlı (knowledge – based) sistemlere kadar değişiklik göstermektedir.

Bu iki yöntem arasında kullanıcı gereksinimlerine göre veri elde edilebilirliği ve planlama düzeyine bağlı olarak, çok değişik sistemler oluşturmak mümkün olmaktadır. Tipik bir yol üstyapı yönetim sisteminin yapısı aşağıda Şekil 6.2'de verilmektedir (Haas, 1994).

- Seviye 1. Ağ önceliği (Temel Sistem);

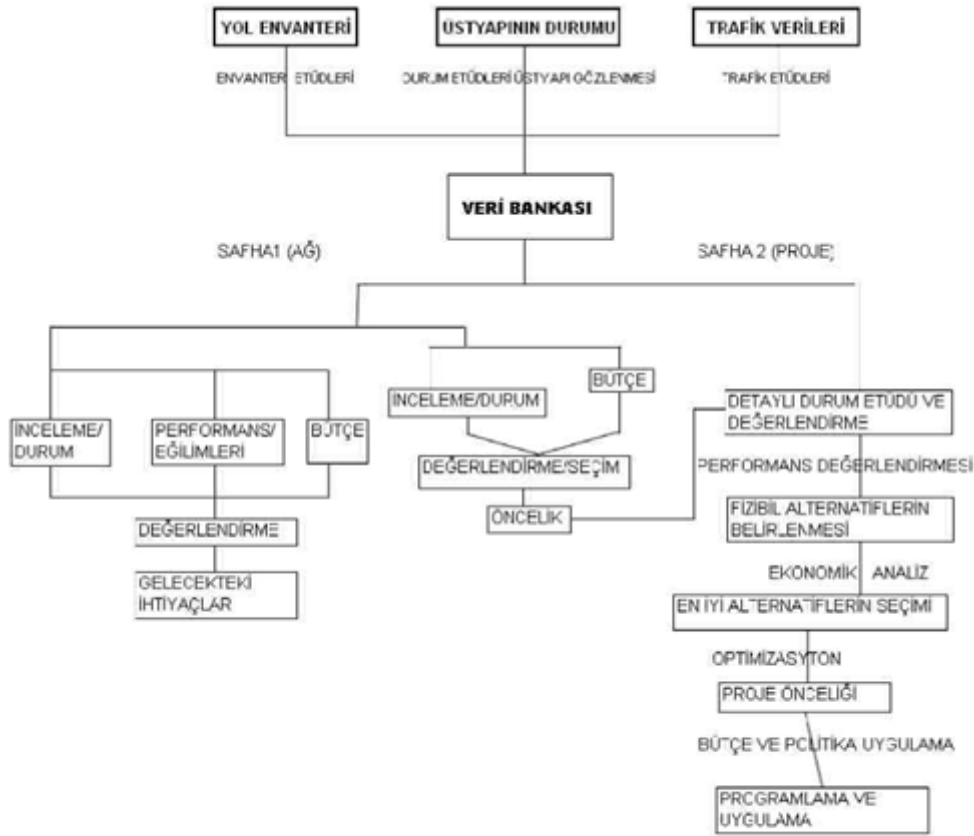
Mevcut ve gelecekteki bakım stratejileri ile ilgilenir. Prensip olarak, bütün yol ağlarının gözlenebilmesi ve aynı derecelendirmeden geçirilebilmesi için bütün yol ağlarına ihtiyaç vardır. Buna göre, yol ağ önceliği mevcut bozulma düzeyine, bozulma tipinin yaygınlığına ve trafik hacmine göre belirlenerek, basit bir sıralama önceliği tespit edilmek suretiyle bütçe ile karşılaştırılır.

- Seviye 2. Ağ önceliği ve proje değerlendirme (orta seviyede sistem);
Çözüm değerlendirme işlemleri, Üstyapı performans tahmin denklemlerinden yararlanarak, iyileştirme veya bakım alternatiflerinin değerlendirilmesi,

Sonra, değişik seçenekler arasında ömür döngü analizine gidilir (life cycle cost) ve uygulama için proje önceliklerinin neler olduğu tespit edilir.

- Seviye 3. Ağ Önceliği, proje değerlendirilmesi ve ağ iyilemeli ileri sistem;

En ileri olan sistemdir. Bütçe kısıtlarını dikkate alarak, problemi en uygun şekilde ele alır. Bu tür modeller için çok karmaşık yöneylem araştırması tekniklerine ihtiyaç vardır. (Haas, 1994)



Şekil 6.2 Üstyapı Yönetim Sistemi Çalışma Şeması (Haas, 1994).

6.4. Yol Üstyapı Bakım İşletim Sistemlerinde Veri Tabanı (Data Base) Kullanımı

Yol üstyapı yönetim sistemi (ÜYS)'in kalbi veri tabanıdır. Veri tabanı, birbirleri ile sıkı ilişki halinde olan dosyaların işlenmesinden elde edilen verilerin bir kümesidir. ÜYS' de yol veri bankası kullanımı, yol ağı ile görevli kurumun işlerini kolaylaştırır. Bu aktiviteler, planlama, yapım, bakım ve yönetimdir. Bu aktivitelerin bir veya birkaçı için, belirli bir yol kesimi için bilgi gerektiğinde, günlük işlerde bir referans olarak kullanılabilir. Bunun dışında, veri bankası yeni yol standartlarının etkisini değerlendirmede ve ağ istatistiklerini elde etme gibi genel etütleri kolaylaştırır.

Bir yol üstyapı yönetim sistemi için oluşturulacak veri bankasında (veri tabanı programında) mevcut olan veri elemanlarının tanımları ve her bir bilginin nasıl elde edildiğini, nasıl ve hangi yöntemler kullanılarak ölçülmesi gerektiği açık bir şekilde ortaya konulmalıdır. Ayrıca, arazide ölçüm yapılan yerlerin bir referans sisteminin oluşturulması da gerekir (Haas, 1994).

Bir yol üstyapı yönetim sistemi için oluşturulacak bir veri bankasında şu hususlara mutlaka dikkat etmek gerekir.

- Uygulamalar belirlenmeden önce mi, bütün mevcut veri elemanları işleme konulacak, yoksa önce uygulamalar tamamlanacak, ona göre mi veriler toplanacak?
- Veri bankası öncelik esasına dayanarak iş programı yapıp merkezi yönetime yardımcı mı olacak, yoksa basit bir düzeyde yerel yönetimlerin iş programı yapmasında mı kullanılacak?

6.4.1. Veri Bankasında Verilerin Referanslanması

Bir veri bankasından istenen en temel özellik verilerin hangi yol ağına ve hangi yerleşim yerine ait olduğunun bir referans sistemi ile gösterilmiş olmasıdır. Üstyapı bakım yönetim sistemi veya genel olarak bir üstyapı yönetim sistemi için oluşturulacak veri bankasında, bu referanslama işi için birkaç metot kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmakta olan iki yönteme değineceğiz.

- Danimarka, Fransa ve Japonya'da kullanılmakta olan bu metotta, yolun her bir kilometresi başına bir işaret konulur ve bu şekilde verilerin hangi yerleşim yerine veya yolun hangi kesimine ait olduğu referanslanmaktadır.
- Ağ düğüm noktaları ile tanımlanan kısımlara ayrılır. Ayrılan bu düğüm noktaları özel olarak seçilmiş noktalardır. Örnek olarak, kavşaklar, sokaklar veya cadde isimlerinin değiştiği noktalar verilebilir. Burada en önemli husus, iki düğüm noktası arasındaki kısmın homojen olduğunun kabul edilmesidir. Bu metot, İsveç tarafından kullanılmaktadır.

Yukarıda bahsedilen bu bilgilerin ışığında yol üstyapı yönetim sistemi veya üstyapı bakım yönetim sistemi için hazırlanan veri tabanı (data base), sürekli olarak yeni bilgilerle (üstyapı durum etütleri, trafik ve kaza etütleri) beslenmeli ve üzerinde gerekli değişiklikler kolayca yapılabilmelidir. Ayrıca, veri tabanı birçok kullanıcıya açık olmalı ve kullanıcı istekleri dikkate alınarak değiştirilebilmelidir (Haas, 1994).

6.4.2. ÜYS için Hazırlanan Bir Veri Bankasında Veri İçerikleri

Yol üstyapı yönetim sistemi için hazırlanacak olan bir veri bankasında Tablo 6.6'da belirtilen içeriklerin detaylı bir şekilde yer alması gerekmektedir.

Tablo 6.6. ÜYS İçin Hazırlanan Bir Veri Bankasında Veri İçerikleri

VERİ İÇERİKLERİ	
TANIM	Yol Tanımlaması Yol İdari Bölümleri
TRAFİK	Y.O.G.T 10 Ton Dingil Yüğü Eşdeğeri
GEOMETRİ	Yol Genişliği Banket Genişliği
YOL ÜSTYAPI İNŞAATI	Malzeme(*) Elastisite Modülü(*) Yaş(*) Kalınlık(*)
YOL ÜSTYAPI DURUMU	Yüzey Bozulmalarının Ölçümlerinin Ortalaması ve Sapması (+)
PLANLAMA DÜŞÜNCELERİ	Genişletme İçin Alınan Kararlar
ÇEVRE	Gürültüye Hassas Komşuluk
MALİYETLER	Kısıtlı Tamir İşlerinin Maliyetleri Üstyapının Rehabilitasyon Maliyetleri Standart Kullanıcı Maliyeti

6.4.3. Veri Bankasında Çıktı Ortamı

Bir yol veri bankasının içeriklerini değişik şekillerde sunmak mümkündür. Temel veri raporları, bilgi değiştirmek isteyen sorumlu kişilere bir kontrol mekanizması oluşturur. Ayrıca yol idaresinden sorumlu olan kişilere bir referansta teşkil eder.

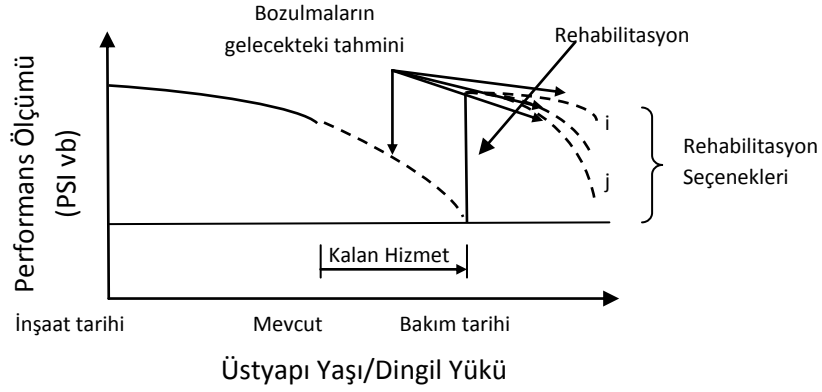
Datalar çeşitli şekillerde takdim edilebilir.

- Liste ve tablolarla (gruplandırılmış bilgi ve sonuç çıktıları)
- Diyagramlarla (tabloların değişik grafik gösterimleri)
- Yol ağı çizimleri (belirli koşulları sağlayan yolların çizimleri)
- Yol kısım profilleri (yol boyunca değişik bilgileri içeren çizimler)

6.5. Üstyapı Performansının Tahmin Yöntemleri

Bütün üstyapılar aynı zamanda incelenemeyeceği için, yolun incelendiği tarihte veya daha sonraki bir tarih için üstyapı kesiminin durumunun tahmin edilmesi gerekmektedir. Belirli bir zaman dilimi için, performans eğrileri kullanılarak tahmin yapılabilir. Performans tahmini için çeşitli modeller geliştirilebilir. Bir üstyapı ağındaki kesimler için gelecek yıllardaki durumu tahmin etmek amacıyla, bozulma için dikkate alınan ölçütlerdeki değişim oranını belirlemek gerekir (Shahin, 2002).

Şekil 6.3, bir üstyapı kesiminde gelecekteki bozulma durumuna göre, bakım zamanını tahmin etmek için kullanılacak performans eğrisini şematik olarak göstermektedir. Ayrıca aynı şekil, bakım yılında uygulanan iyileştirme seçenekleri için bozulma modellerinin uygulamasını gösterir.



Şekil 6.3. Bir Üstyapının Performans Eğrisi ve İyileştirme Seçeneklerinin Etkisi

Herhangi bir tahmin modeli için gereken temel bilgiler şunlardır (Haas, 1994);

- Bir veri tabanı (örnek olarak, yapım tarihi, YOGT, PSI, IRI, RN değeri vb.),
- Bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi,
- Gerçek yol koşullarını kapsayacak şekilde dikkatli bir model seçimi,
- Kriterlerin belirlenmesidir. (Örnek olarak, RN değeri 2,5 olduğunda onarım programına alınması)

Üstyapı performans tahmini için kullanılan modeller aşağıdaki gibi gruplandırılabilir;

- Doğrusal azalan tahmin modeli,
- Çoklu regresyon modeli,
- Mekanistik-Ampirik model,
- En küçük kareler yöntemi ile polinom modeli,
- S-şekilli (logit) eğriler
- Olasılık dağılımı
- Yapay zekâ modelleri.

7. ESNEK ÜSTYAPILARDA KORUYUCU BAKIMIN OPTİMUM ZAMANLAMASI VE MALİYET ETKİNLİĞİ

7.1. Bakım Yöntemlerinin Optimum Zamanlaması

Türkyılmaz (2007) tarafından yapılan çalışmada; seçilen yöntemin yerleştirme zamanına karar verme, etkili bir koruyucu bakım programının diğer bir kritik unsurudur. Bazı idareler, kaplama durumunu, ölçme ve araştırma sonucuna dayanarak yöntemler geliştirmişlerdir. Birçok araştırma uygulanacak yönteme karar vermek için önemli bilgiler sağlamaktadır. Bir araştırma şartının kullanımı, bozulmayan denemeyi birleştirmeye, böylece bir ağ içindeki kaplamaların hangi yönteme ihtiyaç duyduğunu ve ne zaman bu yöntemin uygulanması gerektiğine karar vermeyi sağlar. Şekil 7.2, özel projeler için bir yöntemin zamanlamasına karar vermek için idarenin kabul ettiği karar yöntemi çeşidine bir örnektir (Cornell, 1995). Türkyılmaz (2007) tarafından yapılan çalışmada; 1-100 skala, kaplama araştırma şartlarının verilerini kullanma, eşik limitleri ise ne zaman bir yöntem çeşidinin yerleştirilmesi gerektiğini tanımlamak için geliştirilebilir. Tabi ki koruyucu bakım kavramının amacı, mümkün olduğunca kaplama ömrünü uzatmak ve koşulları korumak için kaplama ömrü içinde ekonomik bir yöntemi erkenden yerleştirmektir (Hicks vd., 2000).

Türkyılmaz (2007) tarafından yapılan çalışmada; Şekil 7.1.'den Şekil 7.3.'e kadar gösterilen bir diğer yaklaşım ise yıllık maliyet yaklaşımını kullanmadır. Şekil 7.3. göstermektedir ki bakım ne kadar gecikirse, kaplama onarımının maliyeti de o kadar yüksek olacaktır. Alternatif olarak eğer kaplamaya erkenden bakım yapılırsa, gereksiz yere harcama yapılmış olur. Vakitsiz bakımın yıllık maliyeti Şekil 7.1'de gösterilmiştir. Uygulanan çeşitli bakım yöntemlerin optimum zamanları aşağıda yer almaktadır (Hicks vd., 2000).

Türkyılmaz (2007) tarafından yapılan çalışmada;

Karartma Tabakası: 1-3 yıl

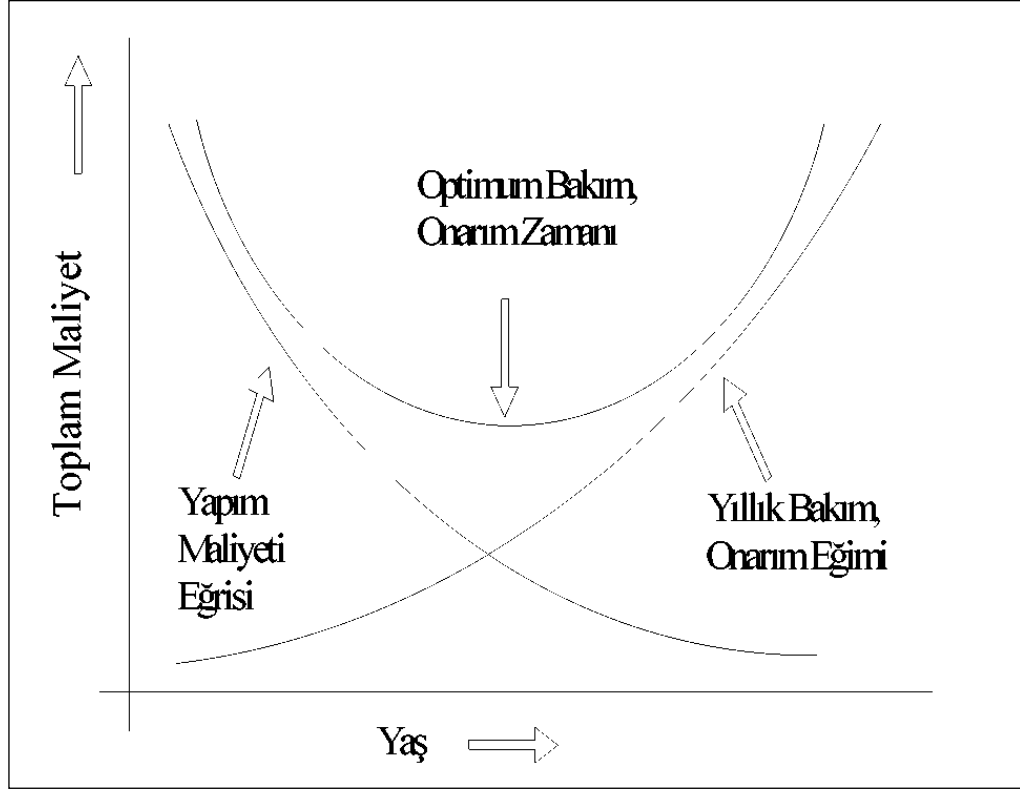
Çatlak Bakımı: 2-4 yıl

Sathi Kaplamalar: 5-7 yıl

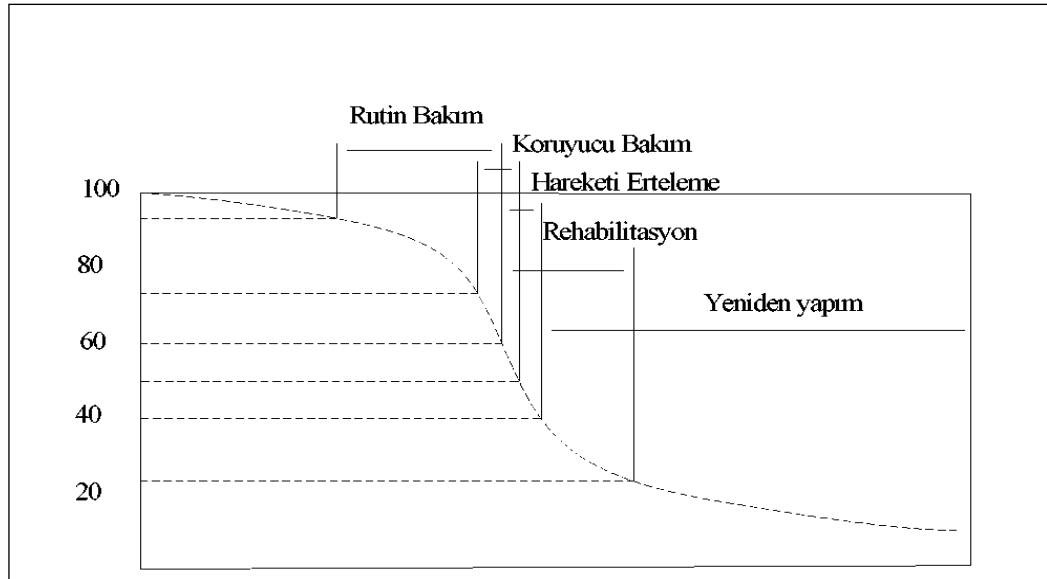
Harç Tipi Örtme Kaplama: 5-7 yıl

İnce Örtücü Tabaka: 5-10 yıl

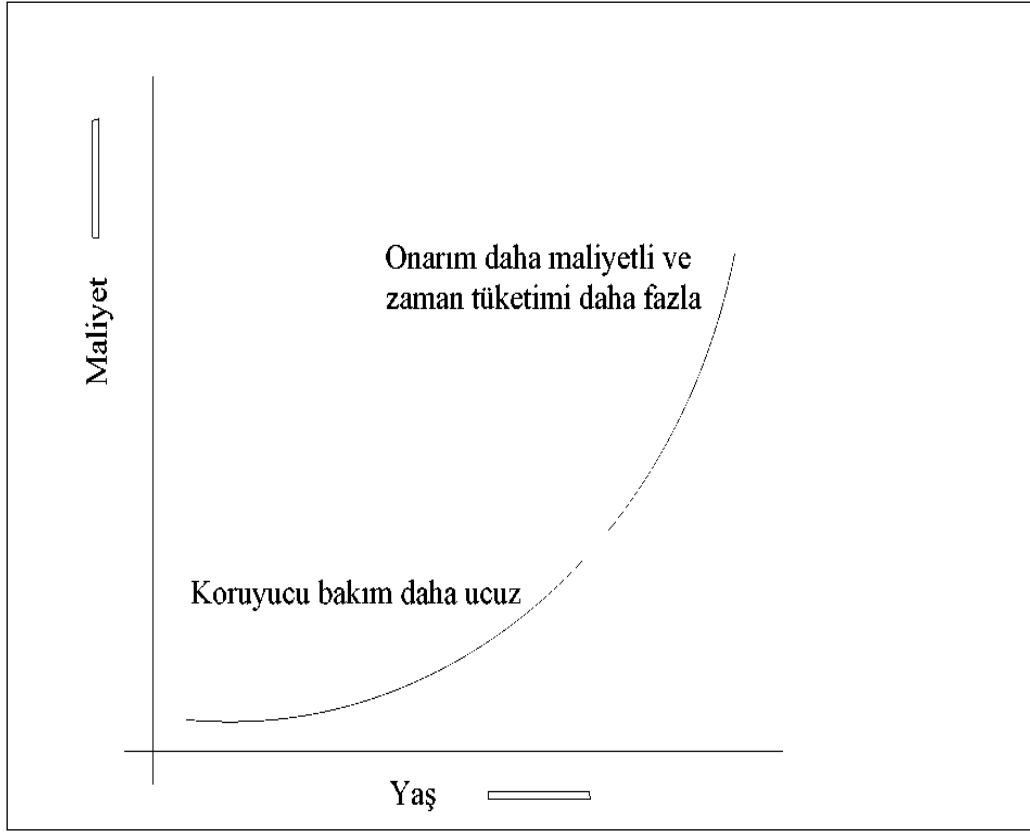
Değişik yöntemlerin gerçek zamanlaması trafik seviyesine (hacmine) ve çevreye bağlı olarak değişiklik gösterebilir (Hicks vd., 2000).



Şekil 7.1. Toplam maliyetin süre ile ilişkisi (Türkyılmaz, 2007)



Şekil 7.2. Çeşitli bakım ve onarımın zamanlama ile ilişkisi (Türkyılmaz, 2007)



Şekil 7.3. Bakım veya onarımın yaşlanma fonksiyonuna göre maliyeti (Türkyılmaz, 2007)

7.2. En Uygun Maliyetli İyileştirme Yöntemine Karar Vermenin Analizi

Değişik koruyucu bakım yöntemleri için beklenen ömür değerleri ve tipik birim maliyetleri Tablo 3.1’de gösterilmiştir. Çalışmanın çok sayıda olan başlıkları, bir fiyat başlığı altında gruplanırsa, teklif sonuçlarından maliyeti analiz etmek zor olabilir. Diğer taraftan düşünülen her yöntemin maliyet etkinliğine karar vermek için bu maliyet verileri kullanılabilir. En uygun maliyete sahip koruyucu bakım yöntemine karar vermek için bir üstyapı oluşturulabilir.

Tablo 7.1. Koruyucubakım yöntemlerinin umulan ömür süreleri ve birim maliyetleri
(Türkyılmaz, 2007)

Yöntemler	maliyet/m2	maliyet/ym2	Umulan ömür süresi (yıl)		
			min	ort	max
Çatlak İyileştirme (a)	\$0,60	\$0,50	2	3	5
Karartma tabakası (b)	\$0,54	\$0,45	2	3	4
Slurry seal(c)	\$1,08	\$0,90	3	5	7
Mikro asfalt betonu (d)	\$1,50	\$1,25	3	7	9
Sathi kaplama(e)	\$1,02	\$0,85	3	5	7
İnce sıcak karışımlar (f)	\$2,09	\$1,75	2	7	12

7.2.1. Uygun Maliyeti Değerlendirme Teknikleri

Uygun maliyete karar vermek için çok sayıda yaklaşım oluşur ve bazısının anlaşılması zor olabilir. Eşdeğer yıllık maliyet(EAC) metodu aşağıdaki gibidir.

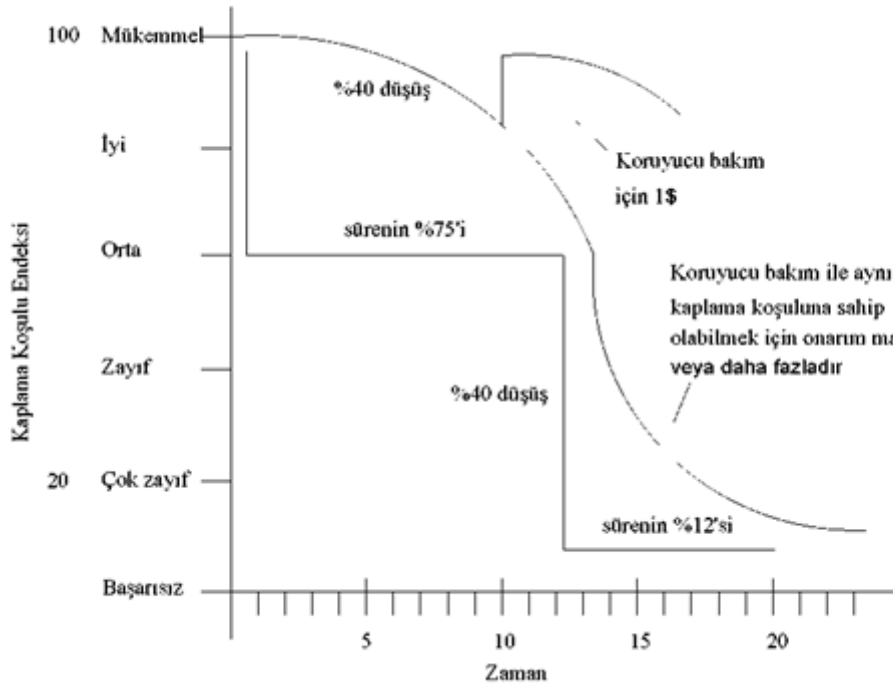
EAC' nin hesaplanmasına örnek olarak, karartma tabakası değerleri kullanılırsa, birim maliyet = \$0.45/ym² beklenen ömür olan 3.5 yıla bölünürse sonuç \$0.13 olacaktır.

7.2.2. Uygun Yöntem Seçeneklerinin Karşılaştırılması ve Analiz Edilmesi

Tanımlanan birçok yöntemin uygun olması mümkündür. Farklı yöntemlerin karşılaştırılmasında, deplasman maliyeti, yöntemin ömrü ve kaplamanın ömrünü uzatıp uzatmadığı gibi kriterler göz önünde bulundurulur. Yöntem seçeneklerini karşılaştırırken ve analiz ederken dikkat edilen diğer faktörler de; maliyet etkinliği, trafik seviyesi ve inşaat kısıtlamalarıdır, ayrıca hava şartları, iyileştirme zamanı ya da yerel sorunlar gibi işleme özel faktörler de vardır. En çok istenen işlem, en önemli faydayı sağlayabilmesinin yanı sıra (kaplama ömrünün uzaması hatta işlem ömrünün uzaması da olabilir).

7.3. Maliyet Etkinliği

İlk değeriendirme için kolaylaştırılmış bir yaklaşım kullanılabilir. Bu kolaylaştırılmış yaklaşım, maliyetler ve gerçek fiyat teklifi dalgalanmalarında kullanışlıdır. Bunun için Eşdeğer yıllık maliyet (EAC) kullanılabilir. Bu yöntemde, yıllık maliyet eşitliği aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.



şekil 7.4. Kaplama koşullarının zaman fonksiyonu ile çeşitlendirilmesi

$$EAC = \text{İşlemin Birim Maliyeti} / \text{İşlemin Beklenen mr}$$

Bu aşamada, en düşük yıllık maliyet eşitliğine sahip işlem seçilebilir ve performans gereksinimleriyle karşılaşılır. Daha kompleks yöntemler de mevcuttur ve bunlar bütün ömür maliyeti hesaplamalarında kullanılabilir.

7.3.1. Bir Yöntemin Maliyet Etkinliğine Karar Verme

Herhangi bir kaplama bakım yönteminin değeriine karar vermek için birçok faktörü göz önünde bulundurmak gerekir. Karar yöntemi aşağıdaki üç soru ve cevaplarını içerir.

1-Yöntemler kaplama performansını arttırır mı?

Performans konfor, uygunluk, güvenlik veya ömür döngüsü maliyetleri gibi bazı değişik yollarla ölçülebilir,. Eğer tketicisiyle ilişkili konuların herhangi birinde ilerlemeler yoksa o

zaman bu yöntemi kullanmak için hiçbir neden yoktur. Eğer bir veya daha fazla alanda gelişme varsa ikinci soru sorulmalıdır.

2-Yöntemin maliyeti uygun mudur?

Bir yöntemin faydasını ölçme, kaplamanın performansı ile değerlendirilerek ölçülmelidir, yöntemin kendi performansı yeterli değildir. Mesela, eğer bir yüzeysel tabaka yapımı kaplamaya uygulanırsa, maliyet faydalarının analizi için o kaplamanın yüzeysel tabaka yapımının uygulanmamış bir benzeriyle kıyaslanması gerekir. Yüzeysel tabaka yapımı kaplama ömrünü 5 yıldan 10 yıla kadar uzatabilir.

Aynı şekilde, kaplamadaki çatlakların bakımı, kaplama ömrünü uzun yıllar uzatır. Kaplama ömrünü uzatım değeri, maliyet etkinliğine (uygun maliyet) karar vermek için gözden geçirilmelidir.

Bakım maliyetlerini kıyaslama yapıldığı zaman genellikle yapılan hata, kaplamanın ömrü ve maliyetinin iyileştirme yönteminin ömrü ve maliyetiyle karşılaştırılmasıdır. Bu karşılaştırma uygun değildir.

3- Kullanılan en iyi iyileştirme metodu nedir?

İlk önce, bir yöntemin uygun maliyetli olmasına karar verilir ve ondan sonra en iyi maliyetler ve yapım metodları işaretlenir.

7.3.2. Faktörleri Seçme

Normal sapmaları, tedbirleri ve diğer özel faktörleri kaldırınca, kaplama yönetim sistemleri, kullanıcılara en uygun maliyetli yöntem karar vermek için imkan tanır. Bu seçimler genellikle aşağıdaki faktörlere dayandırılır.

- Kaplama çeşidinin var olması
- Çatlak koşulu
- Bozulmanın miktarı ve çeşidi
- Karayolu kullanımı ve trafik seviyesi
- İklim ve çevresel faktörler
- Trafik yükü

- İyileştirme yönteminin maliyeti
- Umulan(beklenen) ömür(süre)
- Nitelikli ekip ve müteahhitlerin elverişliliği
- Kaliteli malzemelerin elverişliliği
- Yerleştirme yılının zamanı
- Olanakların aksama süresi
- Kaplama gürültüsü
- Yüzey sürtünmesi

Yukarıda listelenen faktörlerden biri olan -çatlak koşulu- iyileştirme seçme yönteminin nasıl çalıştığını anlamak için iyi bir örnek sağlar. Bozulmuş kaplama için doğru bakım çeşidi genellikle çatlakların koşuluna ve yoğunluğuna bağlıdır. Eğer çatlaklar olağansa, fakat yüksek derecede kenar bozulmalarına sahip değilse, yüzey iyileştirme yöntemleri en iyisi olabilir. Yüksek kenar bozulmalarında ilerlemeler olursa, çatlak stratejisine ve yamamaya ihtiyaç duyulabilir. Eğer çatlaklar, yoğunluk ve biraz bozulmaya sahipse, bakım ve doldurma işinden etkili bir iyileştirme yapılabilir.

Genel olarak birçok çatlak ciddi olarak bozulur. Bu durumda çatlak bakımı veya doldurma, her ikisi de ekonomik olmayabilir ve teknik olarak sağlam temele oturmayabilir.

7.4. Ekonomik Değerlendirme

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; mühendislik ekonomisi ilkelerinin üstyapıları da içeren ulaşım projelerine uygulanması temelde iki düzeyde gerçekleşir. Birincisi, projenin fizibilitesi ve zamanlamasını belirlemek için gereksinim duyulan yönetim kararlarıdır; ikincisi, proje bir kere seçildikten sonra maksimum ekonomiyi sağlamak için gerekliliklerdir (Haas vd., 1994).

7.4.1. Temel Prensipler

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; mühendislik ekonomisi ilkeleri ve ekonomik değerlendirme yöntemleri ile ilgili önemli miktarda kaynak mevcuttur. Üstyapı alanına uygulanabilir ilkeler şu şekilde özetlenebilir:

1. Değerlendirmenin yapılacağı yönetim düzeyi açıkça tanımlanmalıdır; örneğin: yatırım programlaması veya ağ düzeyi; veya ömür döngü stratejisinin proje düzeyi optimizasyonu.
2. Ekonomik analizler, yönetim kararları için temel oluştururken başlı başına birer karar değillerdir.
3. Böyle kararlar için bazı ölçütler açık ve sade olabilmesine karşın tüm ölçütler, kurallar veya rehberler ekonomik değerlendirmenin sonuçları uygulanmadan önce ayrı ayrı formüle edilmelidir.
4. Ekonomik değerlendirmenin, başlı başına bir yöntemle veya bir projenin finansmanı ile ilişkisi yoktur.
5. Ekonomik değerlendirme, zamanlama ve diğer tasarım kaynakları içinde tüm mümkün seçenekleri düşünmelidir. Bu, mevcut durumla tüm seçeneklerin karşılaştırılması demektir.
6. Tüm seçenekler, aynı zaman periyodu için karşılaştırılmalıdır. Değerlendirmede dikkate alınan etkenlerin bazı önemli güvenlik dereceleri ile tahmin edilebilmeleri için belirli bir zaman periyodu seçilmelidir. Alınan kararda en iyi seçeneğin seçiminde belirsizlikler düşünülebilir.
7. Üstyapının ekonomik değerlendirilmesi mümkünse, yapımcı kuruluş maliyetleri, kullanıcı maliyetleri ve kârları içermelidir (Haas vd., 1994).

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; kullanıcı maliyetinin hizmet yeteneği düzeyi, şartlar, rehabilitasyon büyüklüğü ve zamanı, bakım büyüklüğü ve zamanlaması gibi durumlarla değişmediği kabulü ile sadece sermaye ve bakım maliyetleri düşünölmek durumundadır. Bu yaklaşım uygun değildir, çünkü Teksas, Kanada, Ulaşım ve Yol Araştırma Laboratuvarı ve Dünya Bankasındaki araştırmacılar, bu etkenler ile kullanıcı maliyetlerinin önemli miktarda değiştiğini göstermişlerdir. Kârlar, maliyet ıskontosu olarak düşünülebilir (Haas vd., 1994).

7.4.1.1. Üstyapı Maliyetleri

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; alternatif üstyapı stratejilerini ekonomik açıdan değerlendirmede düşünülebilecek en önemli maliyetler şunları içerir:

1. Yapımcı Kuruluş Maliyetleri
 - a. İnşaatın ilk yatırım maliyeti

- b. İnşaatın veya rehabilitasyonun gelecekteki maliyeti (kaplama, rehabilitasyon, yeniden inşa, vs.)
 - c. Tasarım periyodu boyunca tekrar oluşan bakım maliyetleri
 - d. Tasarım periyodu sonunda kurtarılan veya artan ücret dönüşü (negatif maliyet de olabilir)
 - e. Mühendislik ve yönetim
2. Kullanıcı Maliyetleri
- a. Seyahat süresi maliyeti
 - b. Taşıt işletme maliyeti
 - c. Kaza maliyeti
 - d. Yüzey yenileme ve büyük bakımlar süresince seyahat süresi gecikmesi ve ek taşıt işletme maliyetleri
3. Kullanıcı ile ilgili olmayan maliyetler
- a. Hava kirliliği
 - b. Ses kirliliği
 - c. Çevre bozulmaları (Haas vd., 1994)

7.4.1.2. Üstyapı Faydalarının Belirlenmesi

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; ulaşım projesinin faydaları, doğrudan veya dolaylı maliyet azalmasından ve arazi kullanımından oluşabilir. Önceki kısımda listelendiği gibi, üstyapı faydaları, birincil olarak, kullanıcının ulaştırma maliyetindeki direkt azalmadan sağlanır. Aynı zamanda, faydayı ek yol kullanıcı vergileri olarak düşünmek de mümkündür. Bu kabul, bütün bir karayolu projesine uygulanabilir olmasına karşın, ek enerji tüketimi anlamında da sorgulanabilir. Bunun bazı eksiklikleri vardır ve üstyapılar için önerilmez.

Üstyapı faydalarını ölçmek ve hesaplamak için, taşıt işletmesi, seyahat süresi, kaza ve konfor bozukluğunun kullanıcı maliyetlerine etki edecek olan üstyapı karakteristiklerini açıklamak gereklidir. Bunlar, hizmet yeteneği, kayganlık, görünüm, renk, ışık yansıtma karakteristiği olabilir. Yine de, hizmet yeteneği (taşıt işletme maliyetini, seyahat süresi maliyetini, kaza maliyetini, konforsuzluk maliyetini etkilediği için) ve kayganlık (kaza maliyetlerini etkilediği için) en büyük etkiye sahiptir.

Hizmet yeteneği düştükçe, seyahat süresi maliyetleri artar. Çünkü ortalama seyahat hızı lineer olmayan biçimde düşer. Rehabilitasyon esnasında trafik gecikmelerinden dolayı, yüksek

seyahat süresi maliyeti oluşur. Üstyapı hizmet yeteneği bitiş düzeyine yaklaştıkça, kullanıcı maliyeti artar.

Proje değerlendirme amacıyla faydaları belirlemede, mevcut trafiğin mi yoksa aktarılan trafiğin mi dikkate alınacağı sorusu düşünülmelidir. Genellikle, bu sorun kendi başına üstyapıdan ziyade, bütün karayolu projeleri ile ilgili olarak ortaya çıkar. Bununla beraber, üstyapı gelişiminin kendiliğinden, mevcut veya aktarılan trafik ile sonuçlanabileceği olasıdır (Haas vd., 1994).

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; kullanıcı maliyetleri, seyahat süresi maliyeti, taşıt işletme maliyeti ve kaza maliyetini içerir. Genel olarak kullanıcı maliyeti (KM) modeli aşağıdaki formdadır:

$$KM = \text{Kaza Maliyeti} + \text{Taşıt İşletme Maliyeti} + \text{Seyahat Süresi Maliyeti} \quad (7.1)$$

Kullanıcı maliyeti hesaplamasında kullanılan anahtar değişkenler:

- Ortalama Günlük Trafik,
- Trafikteki ağır taşıt yüzdesi,
- Taşıt işletme maliyeti (taşıt başına birim uzunluk maliyeti),
- Seyahat süresi maliyeti (taşıt başına birim uzunluk maliyeti),
- Kaza oranları, durum değişkenlerindeki (PSI vd) değişim nedeniyle kaza oranındaki değişim (kaza başına birim maliyet)
- Bakım uygulaması esnasında trafik gecikmesi ve yolun uzaması nedeniyle ilave maliyetler (taşıt başına birim uzunluk maliyeti).
- Yol durumu ile trafik arasındaki ilişki, özellikle bakım kararının ekonomik çözümlemesinde önemlidir. Yol durumu farklı şekillerde yol trafiğini etkiler. Bu etkiler:
- Taşıt maliyetleri (yakıt, bakım ve onarım maliyeti, lastik aşınması),
- Seyahat süresi (hızdaki değişimin maliyeti),
- Konfor,
- Yol güvenliği,
- Çevre (emisyon, gürültü).

Birçok trafik etkisi, trafik etki modelleri kullanılarak trafik durumu özelliklerinden tahmin edilebilir. Bu modeller, belirli bir süre için nispeten sabit kalabilir. Trafik etkileri para cinsinden belirlenebilir, böylece trafik maliyetine dönüştürülür. Bu değerler, hızlı bir biçimde değişir. Trafik maliyetinin tam değerini belirlemek oldukça zordur. Trafik ilave maliyetleri için önerilen seçenek parametre:

$$\text{Trafik maliyeti} = \text{Mevcut trafik maliyeti} - \text{En iyi durumdaki trafik maliyeti} \quad (7.2)$$

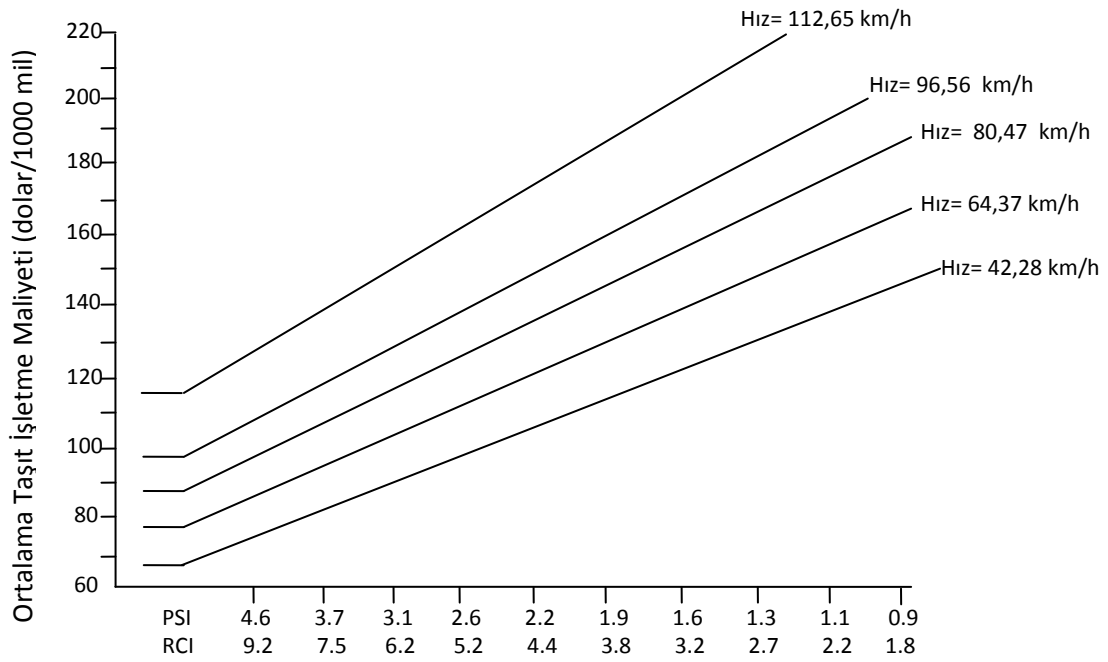
olarak kullanılabilir (RIMES, 1999a).

7.4.1.2.1. Taşıt İşletme Maliyeti (TİM)

RIMES (1999b) tarafından Yunanistan’da yapılan araştırmada taşıt işletme maliyetleri (TİM), yakıt tüketimi, lastik aşınması, taşıt bakımı ve taşıt değerindeki azalma verilerini esas almışlardır. Taşıt tiplerine göre hesaplanan TİM değerleri aşağıdaki gibidir:

- Otomobiller : 0.10 Euro/km
- Kamyonetler : 0.15 Euro/km
- Otobüsler : 0.35 Euro/km
- Kamyonlar : 0.55 Euro/km

Haas ve Hudson (1978) tarafından yapılan araştırmada, TİM ile servis yeteneği arasındaki ilişki ise Şekil 7.5’de görüldüğü gibidir.



Üstyapının Mevcut Servis Yeteneği İndeksi (PSI) veya Sürüş Konforu İndeksi (RCI)

Şekil 7.5. Ortalama Taşıt İşletme Maliyetleri

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; Türkiye’de Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından 2005 yılı için verilen TİM değerleri ise Tablo 7.1’de görüldüğü gibidir (KGM, 2006).

Tablo 7.2. Taşıt işletme giderleri (2005 yılı vergiler hariç) (Dolar-Taşıt-km)

KAPLAMA CİNSİ	ARA Zİ	OTOMOBİL	OTOBÜS	KAMYON
BETON	DÜZ	0.2226	1,4845	1.0946
ASFALT(R=2)	DALGALI	0.2209	1,5550	1.3675
	DAĞLIK	0,2235	2,0274	1.5323
ESKİ BETON	DÜZ	0.2270	1,5057	1,1321
ASFALT(R=2,5)	DALGALI	0,2253	1,6763	1.4046
	DAĞLIK	0.2276	2,0491	1,3697
YENİ	DÜZ	0,2316	1,5277	1,1693
SATHİKAPLAMA	DALGALI	0.2299	1,6985	1.4414
(R=3)	DAĞLIK	0,2324	2,0715	1.9068
ESKİ	DÜZ	0,2366	1,5508	1.2062
SATHİKAPLAMA	DALGALI	0.2349	1,7218	1,4732
(R=3,S)	DAĞLIK	0,2374	2,0948	1,9435
ESKİ	DÜZ	0.2419	1,5749	1,2431
SATHİKAPLAMA(R=4)	DALGALI	0.2402	1,7462	1,5150
	DAĞLIK	0.2426	2,1190	1.9801
İYİ	DÜZ	0.2556	1,6759	1,3311

ŞARTLARALTINDA STABİLİZE (R=5)	DALGALI DAĞLIK	0.2548 0,2605	1,8567 2,2314	1.6115 2.0724
KÖTÜ ŞARTLARALTINDA STABİLİZE(R=10)	DÜZ DALGALI DAĞLIK	0 3471 0.3458 03500	2,0203 2,1933 2,5566	1,7068 1.9785 2.4276

R=Yüzey Düzgünsüzlüğü (Roughness m/Km)

7.4.1.2.2. Zamanın Değeri

Yine RIMES (1999b) tarafından yapılan araştırmada zamanın değeri hesaplanırken, öncelikle ortalama brüt maaş değerleri aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

- Ortalama günlük brüt maaş 60 Euro
- Kamyon sürücüleri için ortalama günlük brüt maaş 120 Euro

Bu değerler 8'e bölünerek saatlik değerler elde edilmiştir. Fakat bilinmektedir ki tüm seyahatler iş amaçlı yapılmamaktadır. İş dışındaki seyahatlerin oranı yaklaşık olarak 1/5 oranında olduğu kabulü yapmışlardır.

Otomobiller için iş dışı seyahatlerin oranı % 50 olarak kabul edilmiştir. Yunanistan'da iş amaçlı seyahatlerde otomobillerde ortalama 1.2, iş dışı seyahatlerde ise 1.8 kişi bulunduğu kabul edilmiştir. Bu durumda otomobiller için zamanın değeri= $0.5 \times (1.2 \times 60 / 8) + 0.5 \times (1.8 \times 1.5) = 5.85 = 6$ Euro/saattir.

Kamyonetlerde ise ortalama 1.2 kişi seyahat etmektedir. Kamyonetler ile yapılan seyahatlerin tümünün iş amaçlı olduğu kabulü yapılmıştır. Bu durumda zamanın maliyeti= $1.2 \times 60 / 8 = 9$ Euro/saattir. Kamyonlarda ortalama 1.2 kişi bulunmaktadır ve daima iş amaçlı seyahat ederler. Bu durumda zamanın maliyeti = $1.2 \times 120 / 8 = 18$ Euro/saattir.

Otobüslerde ortalama 30 yolcu ve 1 sürücü bulunmaktadır. Otobüslerdeki insanların yaklaşık %20'si iş amaçlı seyahat etmektedir. Bu durumda $1 + 0.2 \times 30 = 7$ kişi iş amaçlı seyahat etmektedir. Kalan 24 kişi ise iş dışı amaçlarla seyahat etmektedir. Sonuçta bir otobüsün zamanının değeri= $7 \times 60 / 8 + 24 \times 1.5 = 88.5 =$ yaklaşık 90 Euro/saattir.

7.4.1.2.3. Trafik Kaza Maliyeti

Karayollarında her gün birçok trafik kazası meydana gelmektedir. Kazaların genel sebepleri sürücü, yaya, yolcu, araç ve yol olarak gruplandırılabilir. Türkiye’ de yıllar itibariyle kaza sayıları ve bu kazaların nedenleri Tablo 7.2’ de görülmektedir.

Tablo 7.3. Yıllar itibariyle kaza sayıları ve bu kazaların nedenleri (KGM, 2009)

YILLAR	SÜRÜCÜ	YAYA %	YOLCU %	ARAÇ %	İNSAN FAKTÖRÜ %	YOL %	DİĞER %
2004	97,46	2,08	0,10	0,21	99,64	0,15	-
2005	97,68	1,98	0,05	0,15	99,71	0,14	-
2006	98,10	1,28	0,13	0,32	99,51	0,17	-
2007	98,19	1,51	0,08	0,13	99,78	0,09	-
2008	87,47	11,80	0,30	0,26	99,57	0,17	-
2009	88,11	11,06	0,37	0,24	99,54	0,23	-

2009 yılı için bu değerler dikkate alındığında, kaza sayıları ve kusur unsurları Tablo 7.3’de görüldüğü gibi olmuştur.

Tablo 7.4. 2009 Yılında kaza sayıları ve bu kazaların nedenleri (EGM, 2010)

Kaza Unsurları	Şehiriçi		Şehirdışı		Toplam	
	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%	Kusur Sayısı	%
SÜRÜCÜ	75.194	85,99	23.497	95,63	98.691	88,11
YAYA	11.663	13,34	722	2,94	12.385	11,06
ARAÇ	62	0,07	207	0,84	269	0,24
YOL	136	0,16	118	0,48	254	0,23
YOLCU	388	0,44	28	0,11	416	0,37
TOPLAM	87.443	100,00	24.572	TOP LAM	112.015	100,00

Bu çalışmada karayolu üstyapı servis yeteneğinin kullanıcı maliyetlerine etkisi araştırıldığından, üzerinde durulması gereken kaza nedeni yoldan kaynaklanan kazalardır. Yol

kusurlarına göre meydana gelen kaza sayıları ve kusur oranları Tablo 7.4’de görülmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, yola ait kaza sebepleri büyük oranda karayolu üstyapısından kaynaklanmakta ve gerekli bakım veya onarım çalışmasının yapılması ile ortadan kaldırılabilecek niteliktedir.

Tablo 7.5. Yol kusurlarına göre meydana gelen kaza sayıları ve kusur oranları
(EGM, 2010)

YOLA AİT KAZA SEBEPLERİ	Kaza					
	Şehiriçi		Şehirdışı		Toplam	
	Sayı	%	Sayı	%	Sayı	%
Yol Sathında Gevşek Malzeme	46	33,82	66	55,93	112	44,09
Yolda Münferit Çukur	39	28,68	21	17,80	60	23,62
Tekerlek İzinde Oturma	21	15,44	12	10,17	33	12,99
Kısmi ve Münferit Çökme	21	15,44	10	8,47	31	12,20
Düşük Banket	2	1,47	6	5,08	8	3,15
Köprü Çökmesi	6	4,41	0	0,00	6	2,36
Heyelandan Dolayı Şerit Çökmesi.	1	0,74	3	2,54	4	1,57
TOPLAM	136	100,00	118	100,00	254	100,00

Kazaların maliyetinin belirlenmesi sosyal maliyetlerin belirlenememesi nedeniyle oldukça zordur. Yunanistan’da trafik kazalarının maliyetleri ortalama olarak aşağıdaki gibidir:

- Ölümlü kazalar 250.000 Euro
- Yaralanmalı kazalar 50.000 Euro
- Maddi hasarlı kazalar 5.000 Euro’dur (RIMES, 1999b)

Ülkemizdeki tüm sigorta şirketlerinin bilgilerinin toplandığı Trafik Sigortası Bilgi Merkezi (TRAMER, 2010) raporuna göre 2010 yılı kaza ve ödenen tazminat değerleri çizelgede görüldüğü gibidir.

Tablo 7.6. Araç bazında poliçe üretimi ve hasar ödemeleri

Araç Türü	Araç Grup Kodu Bazında Poliçe Üretimi Ve Hasar Ödemeleri Raporu							
	Tarih: 1/2010-5/2010 Cari (Bin TL)							
	Ödenen Hasar							
	Maddi		Tedavi Giderleri		Ölüm/Sakatlık		Toplam	
	Adet	Tutar	Adet	Tutar	Adet	Tutar	Adet	Tutar
OTOMOBİL	46.995	74.913	8.705	5.028	216	3.256	55.916	83.197
TAKSİ	2.637	4.057	241	91	5	48	2.883	4.196
MİNİBÜS(8-14 KOLTUK)	5.099	7.717	928	532	26	464	6.053	8.713
OTOBÜS(15-25 KOLTUK)	2.102	3.343	411	185	11	256	2.524	3.784
OTOBÜS(26 VE ÜSTÜ)	1.775	3.035	320	249	18	350	2.113	3.634
KAMYONET	25.979	38.833	3.207	1.606	96	1.231	29.282	41.670
KAMYON	7.382	12.869	831	665	57	1.147	8.270	14.681
İŞ MAKİNESİ	144	302	20	121	0	0	164	423
TRAKTÖR	221	540	94	40	4	189	319	769
RÖMORK	8	13	1	1	0	0	9	14
MOTORSİKLET VE YÜK MOTORSİKLETİ	891	1.080	567	372	7	159	1.465	1.611
TANKER	157	377	15	6	1	4	173	387
ÇEKİCİ	1.940	4.720	201	106	10	142	2.151	4.968
ÖZEL AMAÇLI TAŞIT	148	229	51	26	0	59	199	314

DOLMUŞ (SÜRÜCÜ DAHİL 5-8 KOLTUK)	2	0	0	0	0	0	2	0
MİNİBÜS DOLMUŞ (SÜRÜCÜ DAHİL 9-15 KOLTUK)	16	35	0	0	0	0	16	35
OTOBÜS DOLMUŞ (SÜRÜCÜ DAHİL 16-30 KOLTUK)	2	0	0	0	0	0	2	0
OTOBÜS DOLMUŞ (SÜRÜCÜ DAHİL 31 VE ÜSTÜ KOLTUK)	2	1	0	0	0	0	2	1
DİĞER ARAÇLAR	31	70	5	3	0	0	36	73
Toplam	95.531	152.134	15.597	9.031	451	7.305	111.579	168.470

7.4.1.3. Tasarım veya Analiz Periyodu

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; trafik için tasarım veya analiz periyodu için üst limit olarak genellikle 20 yıl kullanılır. Kullanılan iskonto oranına bağlı olarak, gelecek zamanlardaki maliyetlerin veya faydaların bugünkü değeri önemsiz olabilir. Ulaşım projelerinin çoğunda, 20-30 yıllık bir dilim kullanır ve bu üstyapılar için mantıklı görünmektedir (Haas vd., 1994).

7.4.1.4. İskonto ve Faiz Oranı

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; iskonto oranı, gelecekte beklenen maliyet ve faydaları, bugünün terimlerine indirgemek için kullanılır. Bu oran, gelir ve sermaye

kullanımlarını karşılaştırmayı sağlar. Terimler bazen birbirlerinin yerlerine kullanılabilirler de aslında borç alma ile ilgili olan faiz oranı ile karıştırılmamalıdır.

Yapımcı kuruluşların hesaplamalarında kullanılacak olan bu oran, temelde politika ile ilgilidir. Yapımcı kuruluşların çoğu, bütün ekonomik değerlendirmeleri için tek bir analiz yöntemi kullanırlar. Üstyapı alanında genellikle % 4 ila 10 arası iskonto oranı kullanılır. Iskonto oranı çok önemli bir etkidir ve ekonomik çözümlemenin sonuçları üzerinde büyük etkisi olabilir (Haas vd., 1994).

7.4.1.5. Enflasyon

Ekonomik bir değerlendirmede enflasyonun nasıl dikkate alınacağı sorusu, birçok mühendisi ve yöneticiyi ilgilendirir. Fiyatların değişeceğine dair önemli delillerin olmaması durumunda, değerlendirmede enflasyon kullanılmaz. Üstyapı projelerinin ekonomik değerlendirmesinde enflasyon etkeninin kullanılmamasıyla ilgili sebepler şunlardır:

1. Enflasyonu tahmin etmesi çok zordur.
2. Karayolu ekonomi çalışmalarında enflasyon kullanılmışsa, bugünün daha büyük sermaye yatırımlarını doğrulama eğiliminde olmalıdır.
3. Eğer enflasyon dikkate alınırsa, maliyetler kadar faydalar da artar, böylece bunların nispi büyüklükleri de aynı kalır.
4. Ekonomik değerlendirmenin amacı, yönetime karar verme için bir araç sağlamaktır.
5. “Gerçek sabit dolarlar” ekonomik analizler için daha iyi bir araçtır.

7.4.1.6. Kurtarılan veya Kalan Değer

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; kurtarılan veya kalan değer, ekonomik analizlerde bazı yapımcı kuruluşlarca kullanılır. Bu değer, tasarım periyodunun sonunda tekrar kullanılabilir materyallerin değerini gösterir. Özellikle tekrar çalışabilen ve tekrar kullanılacak türde malzemelerin yeni bir üstyapıda dikkate alınması, gelecekte önem kazanabilirler. Bir malzemenin kurtarılan değeri, malzemenin hacmi, kirlenmesi, yaşı veya ömrü, tasarım periyodu sonunda beklenen kullanımı gibi birkaç etkene bağlıdır. Bu, toplam maliyetin yüzdesi olarak projelendirmede kullanılabilir (Haas vd., 1994).

7.4.2. Ekonomik Değerlendirme Metotları

Alternatif üstyapı tasarım stratejilerinin değerlendirilmesinde birkaç ekonomik analiz yöntemi kullanılmaktadır. Bunlar, şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi, basitçe yıllık maliyet yöntemi,
2. Bugünkü değer yöntemi:
 - a. Maliyetler
 - b. Faydalar
 - c. Fayda eksi maliyet; genellikle *net bugünkü değer* olarak anılır,
3. Dönüş oranı yöntemi,
4. Fayda maliyet oranı yöntemi,
5. Maliyet etkinlik yöntemi.

Bu yöntemlerin, maliyetler ve faydaların gelecekteki eğilimlerini belirlemede önemli katkıları vardır. Böylece seçenek yatırımlar karşılaştırılabilir. Zaman geçtikçe paranın değerindeki farklılıklar, kullanılan bileşik faiz eşitliklerine yansıtıldığı gibi, bu tür karşılaştırmalar için yöntem sağlarlar.

7.4.2.1. Bir Değerlendirme Metodunun Seçiminde Temel Düşünceler

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; alternatiflerin ekonomik değerlendirilmeleri için en uygun yöntemin seçiminde birkaç temel düşünce vardır:

1. Gelecekteki beklenen maliyetleri karşılaştırmada ilk yatırım maliyetleri ne kadar önemlidir? Bir ekonomik analiz, örneğin, özel bir seçenek için, bugünün küçük miktar yatırım maliyetlerinin gelecekteki büyük maliyetlerle sonuçlanabileceğini işaret edebilmektedir. Sınırlı fon durumunda, düşük yatırım maliyetleri en mantıklı çözüm olabilmektedir. Böyle durumlar ekonomikliği göstermeyebilir, fakat gerçekçidir.
2. Karar verici için, hangi analiz yöntemi en anlaşılabilir? Örneğin, bir yapımcı kuruluşların yıllarca, iyi bilinen bir fayda/maliyet oranı yöntemini kullandığını düşünelim. Ancak, eldeki problem için bu en uygun yöntem olmayabilir. Fakat daha iyi bir metoda geçiş zor ve fazlasıyla uzun süre alabilir.
3. Belirli bir yapımcı kuruluşun gereksinimlerine hangi yöntem daha iyi uyar? Daha önce belirtildiği gibi üstyapı inşa eden yapımcı kuruluşlar için net bugünkü değer

yöntemi daha tercih edilebilir olmasına karşın, özel olarak yapılmış bir üstyapı için yıllık maliyet yöntemi daha uygun olabilir.

4. Analizlerde faydalar dikkate alınmalı mıdır? Üstyapı seçenekleri arasındaki faydalardaki farklılıkları hesaplamayan her yöntem, temelde genel bir yapımcı kuruluşların kullanımı için eksiktir. Yine de, özel durumlarda, çeşitli seçenekler için eşit faydalar ön kabulü başarılı olabilir (Haas vd., 1994).

7.4.2.2. Eşdeğer Düzenli Yıllık Maliyet Metodu

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi, analiz periyodu üzerinde tüm ilk sermaye maliyetlerini ve gelecekte oluşacak tüm masrafları eşit yıllık ödemeler içine kombine eder. Bu yöntemde, yıllık bakım ve işletme maliyetlerini ve kullanıcı maliyetleri ortalama değerler olarak düşünülür. Eşdeğer düzenli yıllık maliyet yönteminin en önemli cazibesi, sadeliği ve anlaşılabilirliğidir. Fakat değerlendirmede faydaları içermez. Sonuçta, seçenekler arası karşılaştırmalar, faydaların eşit olduğu temel varsayımı ile beraber, sadece maliyet temelinde yapılmalıdır. Yine de, bazı seçenekler arasında araç işletme maliyetlerindeki farklılıkların dâhil edildiği durumlarda bu varsayım sorgulanabilir. Maliyetlerin bugünkü değeri yöntemi, eşdeğer düzenli yıllık maliyet yöntemi ile direkt olarak karşılaştırılabilir (Haas vd., 1994).

7.4.2.3. Bugünkü Değer Metodu

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; bugünkü değer yöntemi, maliyetleri tek başına, faydaları tek başına veya maliyetleri ve faydaları birlikte inceleyebilir. Bütün gelecekteki toplamaların uygun bir iskonto oranı kullanılarak bugüne indirgenmesini içerir. İndirgeme amacıyla maliyetler veya faydalar için kullanılan etken aşağıdaki gibidir:

$$pwf_{i,n} = \frac{1}{(1+i)^n}$$

(7.3)

Burada;

$pwf_{i,n}$ = bugünkü değer etkeni

i = İskonto oranı

n = yıl sayısı

Analiz periyodunun sonundan önce ek sermaye masrafları çıktığı zaman, eşdeğer düzenli yıllık maliyet yönteminde maliyetlerin bugünkü değeri kullanılır.

Üstyapılar için, indirekt kullanıcı faydaları ve kullanıcıyla ilgili olmayan faydaların iyi bir biçimde ölçülüp ölçülmediği sorgulanabilir. Bu nedenle, diğer etkenlerin ölçülebileceği zamana kadar, sadece direkt kullanıcı faydalarını dikkate almak mantıklı olabilir. Net bugünkü değer yöntemi, bahsedilen yöntemi takip eder. Çünkü, bu basitçe faydaların bugünkü değerleri ile maliyetlerin bugünkü değerleri arasındaki farktır. Eğer bir projenin ekonomik olduğu doğrulanacaksa, faydalar maliyetleri geçmelidir.

“Geleneksel” yıllık maliyet ve fayda/maliyet yöntemleri ile karşılaştırıldığında, net bugünkü değer yöntemini, karayolları alanında, belki de en uygun yöntem yapan bazı avantajlar vardır. Bu avantajlar şunlardır:

1. Bir projenin fayda ve maliyetleri tek bir değer olarak ilişkilendirilir ve açıklanır.
2. Farklı servis ömürleri ile projeler direkt olarak ve kolayca karşılaştırılabilir.
3. Tüm maliyetler ve faydalar bugünkü değer şeklinde açıklanır.
4. Parasal olmayan faydalar (veya maliyetler) değerlendirilebilir ve bir maliyet etkinlik değerlendirmesi uygulanabilir.
5. Analiz sonucu, proje için toplam ödeme olarak verilir.
6. Metot hesaplama açısından basit ve açıktır.

Net bugünkü değer yönteminin birkaç dezavantajı da şu şekilde sıralanabilir:

1. Metot, faydaları tahmin edilemeyen seçeneklere uygulanamaz. Böyle durumlarda, her bir seçenek, diğer seçenekler ile karşılaştırılarak değerlendirilebilir.
2. Toptan ödenen para şeklindeki sonuç, bazı insanlar için dönüş oranı veya yıllık maliyet gibi kolayca anlaşılabilir değildir. Aslında, bazı durumlarda, bu şekilde maliyetler toplamı, yatırımlar için caydırıcı bir rol oynayabilmektedir (Haas vd., 1994).

7.4.2.4. Dönüş Oranı Metodu

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; bazı karayolu yapımcı kuruluşlarca kullanılan dönüş oranı yöntemi, hem faydaları hem maliyetleri dikkate alır ve bir proje için faydaların ve maliyetlerin eşit olduğu durumlardaki iskonto oranını belirler. Dönüş oranı, eşdeğer düzenli yıllık maliyetin eşdeğer düzenli yıllık faydaya eşit olduğu durumdaki orandır.

Dönüş oranı yönteminin, sonuçların karar vericiler tarafından iyi anlaşılması bakımından önemli bir avantajı vardır. Normal işletme terimleri ile yakınlığından dolayı, bir yatırımdaki dönüş miktarını belirlemek kolaydır. Bunun gibi sebeplerden ve ağ yatırımlarına uygulanabilirliğinden dolayı, karayolu yapımcı kuruluşlarınca tercih edilir. Yine de, dönüş oranı yönteminin şüpheli sonuçlar verdiği durumlar olabilmektedir (Haas vd., 1994).

7.4.2.5. Fayda-Maliyet Oranı Metodu

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; fayda/maliyet oranı yöntemi, karayolu alanında, tüm yöntemler arasında belki de en yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu, bir seçeneğin faydasının bugünkü değerinin, maliyetinin bugünkü değerine oranının veya eşdeğer düzenli yıllık faydanın, eşdeğer düzenli yıllık maliyete oranının bulunmasıdır. Faydalar, seçeneklerin karşılaştırılması ile oluşturulur. Mühendis, ekonomistlerin çoğu tarafından tercih edilen bugünkü değer formülasyonunu kullanarak, fayda/maliyet oranı aşağıdaki eşitlikteki gibi açıklanabilir (RIMES, 1999a).

$$\text{Fayda/ MaliyetOranı} = \frac{\text{TIM} + \text{KM} + \text{SSM}}{\text{BM}} \quad (7.4)$$

Burada,

TIM= Taşıt İşletme Maliyetindeki Azalma,

KM= Kaza Maliyetindeki Azalma,

SSM= Seyahat Süresi Maliyetindeki Azalma,

BM= B ve R maliyetini göstermektedir.

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; önerilen bir dizi seçeneğin fayda/maliyet oranlarının hesaplanması, standart veya temel seçenek ile karşılaştırılarak yapılır. Sonra, 1.0'den daha büyük oran veren seçenekler, detaylı bir şekilde karşılaştırılırlar.

Fayda/maliyet oranı yönteminin bazı dezavantajları da vardır. En önemlisi, oranın tek başına kavranması zor olan soyut doğasıdır. Diğer bir dezavantaj, bakım maliyet iskontosu payda mı yoksa paydada mı olması gerektiği, maliyet iskontolarının fayda mı yoksa maliyet mi olduğu gibi karışıklıklardır (Haas vd., 1994).

7.4.2.6. Maliyet Etkinlik Metodu

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; maliyet etkililik yöntemi, önemli, parasal olmayan çıktıların dikkate alındığı seçeneklerin karşılaştırılmasında kullanılabilir. Kazanılacak faydaların avantajlarının belirlenmesini içerir. Bu, estetik oranlama, konfor indeksi, hizmet yeteneği indeksi gibi etkililik veya faydanın ölçümlerinin belirlenmesini gerektirir.

Bu analiz yöntemindeki masraflar genellikle maliyetlerin bugünkü değeri şeklinde ifade edilir. Yine de, etkinlik ölçümleri bugünkü değere indirgenemez; bu sebeple bunlar, belli bir zaman dilimindeki ortalama değer ya da belli zamanlardaki değerler olarak gösterilmelidir.

Alternatif tasarım stratejilerini, maliyetler temelinde karşılaştırmak gerçekten bir maliyet etkinlik yöntemidir. Bu, minimum hizmet yeteneği indeksinin tasarımcı tarafından belirlendiği ve analiz periyodu boyunca bütün seçenek stratejilerin minimumdan geçmesi gerektiği ölçütüne dayanır. Yine de, kullanıcı maliyetleri ve faydalar hizmet yeteneği düzeyi ile değiştiği için, bütün seçeneklerin hizmet yeteneği düzeyleri minimumun altında kalırsa eşit etkililiklere sahip olduğu iddiası sorgulanabilir. Dahası, minimum hizmet yeteneği düzeyi bütün seçenek stratejileri için aynı olmayabilir (Haas vd., 1994).

7.5. Üstyapı Servis Yeteneği Kavramı

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; sistematik bir biçimde üstyapı yönetiminin ilk ne zaman başladığını söylemek zordur. Birçok kişiye göre, Mühendislik İlkeleri kullanılarak uygulanan Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) 1956-1960 yıllarında AASHO Road Test ile başlamıştır. ÜYS, yol deneylerinde üstyapıların mevcut hizmet yeteneğinin (sürüş konforu)

kullanılmasını da esas alır. O yıllarda sürüş konforunun nasıl tahmin edileceği ve bunun uygulayıcılar tarafından nasıl kullanılacağı önemli bir problemdi. Çözüm, Carey ve Irick tarafından 1960'da Highway Research Bulletin 250' de yayımlanan "The Pavement Serviceability-Performance Concepts," isimli çalışmada basitçe tanımlandı. Önce bir grup yol kullanıcısı, seçilen bölgede sürüş kalitesini kendi düşüncelerine göre belirleyecekti. Sonra aynı yol kesiminde fiziksel ölçümler yapılacaktı. Üçüncü olarak ise fiziksel durum için sürüş kalitesi ile fiziksel ölçümler arasındaki ilişkiden cevaplar bulunacaktı. Yol deneylerinde birçok mühendis, 1 ile 5 arasındaki oranlarda (çok kötü, kötü, orta, iyi ve çok iyi), seçilen üstyapılar için bu tahminleri yaptı. Bu oran, Mevcut Hizmet yeteneği Oranı (Present Serviceability Rating (PSR)) olarak isimlendirilmektedir. Her bir kesim için bu oranlama yapıldıktan sonra üstyapının kabul edilebilir olup olmadığı sorgulanmıştır. AASHTO Road Test'in kullandığı Mevcut Hizmet yeteneği İndeksi (PSI) formu Şekil 7.6'da gösterilmiştir. (Terzi, 2004).

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; üstyapı bakım yönetimi, toplum için faydayı maksimize etmek gibi, mevcut kaynakları en olası biçimde kullanırmak için, üstyapıları korumaya ait bir dizi geniş etkinliği koordine ve kontrol etme işlemidir. Bu etkinlikler, rutin bakım, yüzey bakımı (fonksiyonel bakım) ve yapısal bakımdan ibarettir. Üstyapı yönetim etkinlikleri ve sistem bileşenleri genellikle "ağ" ve "proje" düzeyleri olarak adlandırılan, yönetimle ilgili iki düzeyde tanımlanırlar.

Karar vericileri ve bütçe yöneticilerini daha çok ilgilendiren ağ düzeyinde analiz, kuşkusuz en güçlü üstyapı yönetim kısmıdır. Bunun nedeni ÜYS'nin,

- Geliştirilmeye gereksinim gösteren üstyapıların saptanmasını ve sıralanmasını,
- Ağ düzeyinde bütçeleşmeyi,
- Uzun aralıklı bütçe tahminlerini,
- Ağ düzeyinde üstyapı durum değerlendirmelerini ve
- Gelecekteki durum tahminini kapsamaktadır.

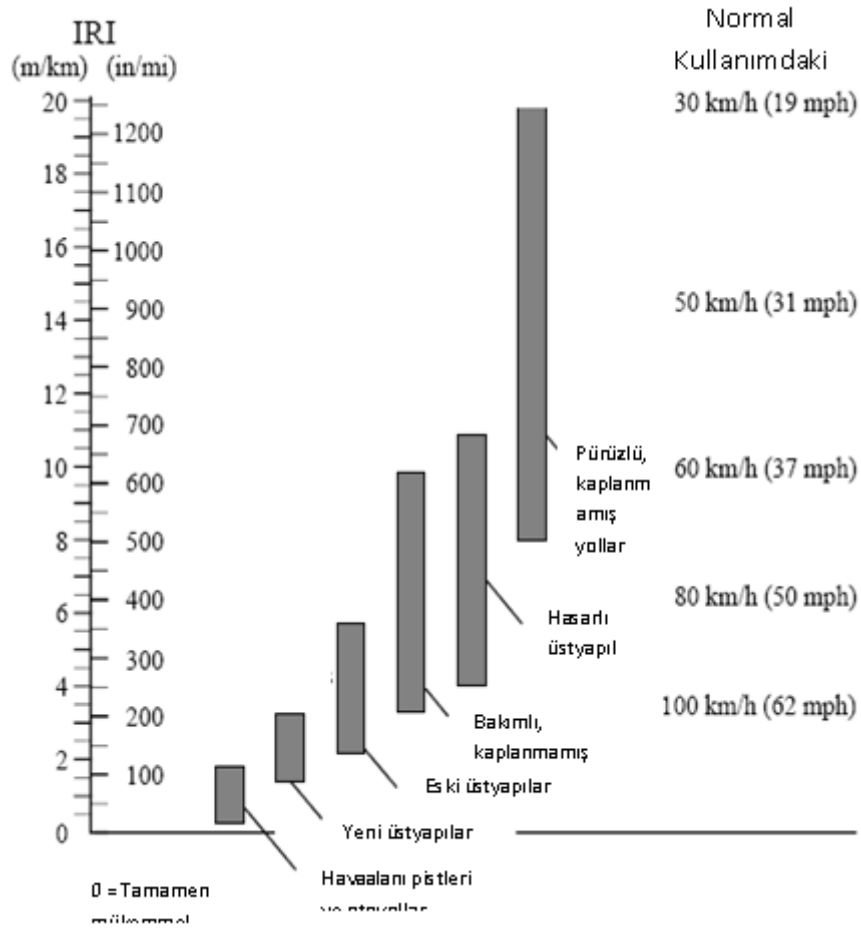
Proje düzeyinde analiz daha çok teknik personeli ilgilendirir. Bu,

- Bozulma nedenlerini saptama,
- Potansiyel çözümleri belirleme,
- Ömür döngü maliyet hesabı ile seçeneklerin faydalarını tayin etme ve

- Sonunda istenen çözümleri seçme ve tasarlama gibi hususları kapsar (Karaşahin ve Terzi, 2004).

7.5.1. Üstyapı Servis Yeteneği – Hız İlişkisi

Tulum (2006) tarafından yapılan çalışmada; karayolu üstyapı servis yeteneği özellikle karayolu kullanıcılarını doğrudan etkilemektedir. Üstyapının düzgünlüğü sadece kullanıcıları konfor açısından etkilemez. Konfor yanında, üstyapının düzgün olmaması ilave gecikmelere, çeşitli kazalara ve kullanılan taşıtların erken zarar görmesine de neden olur. Düzgünsüzlük (IRI) ile hız ilişkisi Şekil 7.7’ de görüldüğü gibi tanımlanmıştır (Sayers vd. 1986).



Şekil 7.6. Düzgünsüzlük ile hız arasındaki ilişki

Şekil 7.6’de görülen grafik sadece düzgünsüzlük ile servis yeteneği arasındaki ilişkiyi tanımlamaktadır. Oysa tüm dünyada yaygın olarak kullanılan gösterge servis yeteneği indeksidir. Papagionnakis ve Delwar (1999), IRI değerleri kullanılarak PSI hesabı için bir yöntem önermişlerdir.

$$PSI = 5,0 e^{-0,18 IRI} \text{ (m/km)} \quad (8.5)$$

8. ARAZİ VE DENEYSEL ÇALIŞMALAR

8.1. Giriş

Modüller veya Poisson oranı ya arazi ya da laboratuvar deneyleri ile belirlenebilmektedirler. Çok daha karmaşık analizlerde, gerilme ile rijitlikteki değişim arasındaki durumu anlamak için malzemenin davranışı belirlenmelidir. Bu davranış, esneklik modülü deneyleri gibi laboratuvarda yapılan deneylerle tespit edilirler. Bu deneyler zaman alıcı deneylerdir, çünkü her proje için bir ya da iki numune teste tabi tutulabilir. Basitleştirilmiş laboratuvar deneyleri ve oldukça karmaşık deneyler ile arazide kolaylıkla kullanılabilen tahribatsız deney aletlerinden elde edilen sonuçlar birleştirilerek, bütün bu deneysel çalışmalar aralarındaki ilişkiler geliştirilebilmekte ya da sonuçlarının uyuşabilirliği sağlanabilmektedir.

Proje kapsamında kullanılan veri toplama araçları, üstyapı defleksiyon ölçüm araçlarından olan LWD (Light Weight Deflectometer), Profilometre ölçüm cihazı ve Nükleer yoğunlukölçer başlıkları altında daha önceki proje raporları kapsamında ele alınmıştır. Projenin bu aşamasında gerçekleştirilen arazi ve deneysel çalışmalar ele alınmıştır. Proje kapsamında alınan tahribatsız deney aletleri kullanılarak arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Tahribatsız deneylerin yanında arazi çalışması yapılarak alınan asfalt karot numelere laboratuvar ortamında tahribatlı deneyler uygulanarak sonuçları incelenmiştir. Bu amaçla çalışma alanında belirlenen 80 ayrı noktada tahribatsız veri toplama araçları ile ölçümler gerçekleştirilmiş ve ölçüm yapılan bu noktalardan karot numuneler alınmıştır. Tahribatsız veri toplama araçları ile ölçüm yapılan ve karot numune alınan noktaların lokasyonları Meridian Platinum el GPS'i ile tespit edilerek Isparta iline ait sayısal haritalar üzerinde işaretlenmiştir. Hazırlanan bu haritalar Quickbird uydu görüntüsü ile örtüştürülmüştür. Arazi çalışmalarında sırasıyla belirlenen noktaların el tipi GPS ile koordinatları alınmış, koordinatları alınan noktalarda LWD, Nükleer yoğunluk ve rutubet ölçer cihazları ile asfalt beton yola ait veriler toplanmış daha sonra ise bu noktalardan karot numuneler laboratuvar ortamında incelenmek üzere alınmıştır. Tüm bu işlemler sırasıyla aşağıda verilmiştir.

8.2. Tahribatsız Deneyler ve Aletleri ile Arazide Veri Toplama İşlemleri

Bir üstyapının durumunu belirlemek için yukarıda bahsedilen modül değerleri kadar tabaka kalınlıklarının da bilinmesi gereklidir. Aynı zamanda yeni inşa edilmiş üstyapı tabaka kalınlıklarının projeye olan uygunluklarını belirlemek için de kalınlık tayini şarttır. Bunun için, karot numunesi alınarak kalınlık tayini yapılabilir. Ancak karot numunesi almak hem zahmet vericidir, hem de üstyapının belirli kısımları hakkında bilgi vermektedir. Bu

aşamada da tahribatsız deney aletleri ön plana çıkmaktadır. Tahribatsız deney aletleri ile kısa sürede üstyapının geniş bir bölgesi için ölçüm yapılabilip, üstyapı hakkında doğru bilgi elde edilebilmektedir.

Yukarıda sayılan parametrelerin haricinde, üstyapıya uygulanan yükler sonucunda oluşan defleksiyon değerleri üstyapı dayanımının bir göstergesi olmaktadır ve elde elden defleksiyon verilerine dayanarak üstyapı hakkında bilgiler elde edilebilmektedir (Saltan, 1999).

Üstyapıyla ilgili bahsedilen birçok parametreyi elde etmeyi sağlayan çeşitli tahribatsız deney aletleri mevcuttur. Bunlar düşen ağırlık deflektometresi (Falling Weight Deflektometer - FWD), zemin penetrasyon radarı (Ground Penetration Radar - GPR), sismik üstyapı analizcisi (Seismic Pavement Analyzer - SPA), etki-tepki metodu (Impact Echo Metod - IE), dinamik koni penetrometresi (Dynamic Cone Penetrometer - DCP) ve ultrasonik ölçüm yapan deney aletleridir.

Üstyapının durumunu belirlemek için kullanılan güvenilir metotlardan biri NDT (Yıkıntısız Ölçüm yöntemleri – non destructive test) kullanımıdır. NDT tahribatlı yöntemlere göre iki önemli avantaja sahiptir. Birincisi, NDT üstyapıya zarar vermeden ya da modifikasyon gerektirmeden değerlendirme yaparken, tahribatlı testler üstyapı temel tabakasına zarar vermekte ya da üstyapı malzemesinin laboratuara taşınmasını gerektirmektedir. İkinci avantajı ise, NDT testler nispeten ucuz ve hızlı, trafik yüklemeleri sırasında tahribatlı testlerin neden olduğu bozulmalardan ziyade testlerin tamamlanmasına izin vermektedir (Saltan ve Kardeşahin, 2001).

NDT ekipmanı üstyapıya yük uygulayarak ve maksimum yüzey defleksiyonu sonucu ölçülerek kullanılır. NDT sonuçları aşağıdakileri belirlemek için kullanılmaktadır;

2. Asfalt üstyapılar

- a. Her üstyapı tabakasının elastiklik modülünü
- b. Yükleme uygulamasının özelleştirilen sayısı için izin verilen yüklemeyi
- c. Aşırı yükleme kalınlık dizaynını

3. Beton üstyapılar

- a. Beton elastiklik modülü ve reaksiyonun alt temel modülü

- b. Derzlerden geçen yük transferini
- c. Çukurların belirlenmesini
- d. Yükleme uygulamasının özelleştirilen sayısı için izin verilen yüklemeyi
- e. Onarım dizaynını (Shahin, 2002).

Üstyapı Defleksiyon Ölçüm Araçları

Üstyapı defleksiyon ölçüm araçları yükleme durumlarına göre, ani, sürekli-dinamik ve statik olarak gruplandırılabilir.

Ani Defleksiyon Ölçüm Araçları

Düşen Ağırlıklı Deflektometre (FWD) en yaygın kullanılan ani defleksiyon ölçüm aracıdır. FWD belirli yükseklikten(H) düşürülen bir ağırlık (W) konsepti üzerine kuruludur, böylece üretilen kinetik enerji yükseklik ve ağırlığın çarpımına eşittir ($W \times H$)

Üstyapıya uygulanan güç integrasyonu (F), düşen ağırlığın ve üstyapının kompozit basıncı tarafından çoğalması(Δ) üretilen kinetik enerjiye eşittir: (Shahin, 2002).

$$\Delta = \Delta$$

$$\int F.d\Delta = W.H$$

$$\Delta = 0$$

Δ = toplam basınç

Eşitliğin Düzgün yaklaşımı:

$$0,5 \cdot F \cdot \Delta \approx W.H$$

Ya da,

$$F \approx 2W.H / \Delta$$

Sürekli-Dinamik Defleksiyon Araçları

Bütün sürekli-dinamik defleksiyon araçları aynı uygulama modu için kullanılır. Nispeten büyük statik önyükleme üstyapıya uygulanan ve sinüzoidal vibrasyondur ve bu da oluşturulan dinamik güç tarafından yaratılır. (Shahin, 2002).

Statik Defleksiyon Araçları

Statik defleksiyon araçları üstyapı yüzeyine hem bir statik hem de yavaş hareket eden yüklemeye uygular ve sonuç defleksiyonlarını ölçer. Yaygın olarak kullanılan statik defleksiyon ölçüm aracı Benkelman Kirişi'dir. (Shahin, 2002)

LWD (Light Weight Deflectometer)

Dynatest 1970'lerde kaplamalardaki bağımsız materyallerin elastisite modulünü belirlemede dünyanın ilk portatif LWD'yi (Light Weight Deflectometer) yeni bir metot olarak tanıtmıştır. Yakın zamanlarda son teknoloji ile otomatik versiyonunu geliştirmiştir. Elektronik aksam ve yazılım analizleri geliştirilerek önemli bir yere gelmiştir.

Light weight deflectometer alt tabaka, alt temel ve ince eğilebilir yapıların taşıma kapasitesi ve rijitliğinin arazide ölçülmesi için kullanışlı bir araçtır. Çalışma için sadece bir kişi gereklidir. LWD çok zor şartlar altında çalışabilir. (hafriyat çukurları gibi ulaşılması zor yerler gibi) GPS ile çalışılan alan kaydedilebilir ve verinin harita ve sahanın planında gösterilmesi sağlanabilir.

LWD (Light Weight Deflectometer) ile Veri Toplama işlemleri

Çalışmada koordinatları belirlenmiş 80 ayrı noktada (Beton Asfalt) LWD ile ölçüm gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.1.). Elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 8.1'de verilmiştir.



Şekil 8.1. LWD ölçümleri

Tablo 8.1. LWD ölçüm sonuçları

ÖLÇÜ M NO	TARİH (2011)	GPS KOORDİNAT		LWD				
		X	Y	FORCE (Şiddet, Kuvvet)	PRESS (Basın, Baskı)	PULSE (Çarpma Vurum)	DEFLEKSİYON	ELASTİSİTE MOD.
1	04 Mart	36282102	4189200	5,7	80,6	27	111	165
2	04 Mart	36282094	4189179	5,7	80,4	28	90	201
3	04 Mart	36282086	4189158	5,8	82	27	96	193
4	04 Mart	36282076	4189136	5,7	80,3	28	106	171
5	04 Mart	36282066	4189115	5,6	79,3	27	152	118
6	04 Mart	36281621	4189688	5,4	76,4	28	118	146
7	04 Mart	36281587	4189664	5,8	81,4	28	131	140
8	04 Mart	36281553	4189638	5,7	80,3	28	68	267
9	04 Mart	36281527	4189604	5,6	79,8	28	56	320
10	04 Mart	36281506	4189572	5,6	79,3	28	57	313
11	04 Mart	36281516	4189611	5,4	76,2	28	123	139
12	04 Mart	36281495	4189625	5,5	78,3	28	225	78

13	04 Mart	36281450	4189652	5,5	77,8	28	49	361
14	04 Mart	36281415	4189650	5,4	76	28	114	150
15	04 Mart	36281391	4189649	5,6	78,9	28	98	182
16	04 Mart	36281393	4189629	5,4	76,7	28	68	254
17	04 Mart	36281420	4189626	5,6	79,7	28	116	154
18	04 Mart	36281420	4189623	5,5	78,2	27	179	98
19	04 Mart	36281477	4189606	5,7	79,9	27	116	155
20	04 Mart	36281499	4189590	5,5	77,9	28	124	141
21	07 Nisan	36282893	4190333	5,8	81,5	27	46	462
22	07 Nisan	36282914	4190339	5,8	81,7	27	72	301
23	07 Nisan	36282935	4190343	5,7	80,8	27	98	217
24	07 Nisan	36282953	4190348	5,9	83,4	27	82	268
25	07 Nisan	36282970	4190352	5,8	81,6	27	56	380
26	07 Nisan	36282986	4190355	5,9	83,8	28	76	290
27	07 Nisan	36283000	4190359	5,8	81,4	27	91	237
28	07 Nisan	36283015	4190363	5,9	84,8	28	142	154
29	07 Nisan	36283026	4190364	5,9	83,6	27	130	170
30	07 Nisan	36283040	4190369	5,8	81,7	27	119	181
31	07 Nisan	36283049	4190373	5,7	81,1	28	197	108
32	07 Nisan	36283063	4190376	5,9	83	27	78	281
33	07 Nisan	36283078	4190376	5,9	82,8	27	112	195
34	07 Nisan	36283088	4190381	5,9	83	27	94	232
35	07 Nisan	36283101	4190386	5,8	82,4	27	117	186
36	11 Nisan	36282720	4190178	5,8	82,7	26	71	308
37	11 Nisan	36282719	4190170	5,9	83,8	26	81	271
38	11 Nisan	36282719	4190158	6	84,2	27	127	174
39	11 Nisan	36282719	4190141	5,9	83,6	27	171	129
40	11 Nisan	36282718	4190125	5,9	83,5	27	98	224
41	11 Nisan	36282718	4190110	5,8	82,6	26	74	292
42	11 Nisan	36282716	4190095	5,9	83,2	26	97	226

43	11 Nisan	36282714	4190082	5,8	82,6	26	104	209
44	11 Nisan	36282714	4190066	5,8	81,9	27	94	229
45	11 Nisan	36282715	4190049	5,8	81,6	27	80	268
46	11 Nisan	36282716	4190032	5,7	80,8	28	102	209
47	11 Nisan	36282717	4190015	5,8	81,6	28	124	173
48	11 Nisan	36282718	4189998	5,8	81,8	27	144	150
49	11 Nisan	36282719	4189981	5,8	82	28	135	160
50	11 Nisan	36282720	4189964	5,9	83,5	28	167	132
51	11 Nisan	36282721	4189947	5,7	81,2	28	114	187
52	11 Nisan	36282722	4189930	5,7	80,5	28	185	115
53	11 Nisan	36282723	4189913	5,8	81,6	28	114	189
54	11 Nisan	36282724	4189896	5,7	80,3	28	137	154
55	11 Nisan	36282725	4189879	5,7	81,2	28	147	140
56	11 Nisan	36282723	4189865	5,8	81,4	28	208	103
57	11 Nisan	36282724	4189848	5,7	80,3	28	174	122
58	11 Nisan	36282724	4189832	5,8	82,3	27	237	91
59	11 Nisan	36282725	4189815	5,9	83,1	29	305	72
60	11 Nisan	36282725	4189799	5,6	79,3	28	201	104
61	11 Nisan	36282726	4189782	5,7	81,3	28	182	118
62	11 Nisan	36282726	4189766	5,8	81,4	28	81	264
63	11 Nisan	36282727	4189750	5,9	83,5	28	94	233
64	11 Nisan	36282727	4189733	5,8	81,7	28	285	75
65	17 Nisan	36282728	4189717	5,8	81,7	28	283	76
66	17 Nisan	36282728	4189700	5,7	81,3	27	75	285
67	17 Nisan	36282729	4189684	5,8	81,7	27	144	150
68	17 Nisan	36282729	4189667	5,8	81,5	28	187	115
69	17 Nisan	36282730	4189651	5,7	80,9	28	302	71
70	17 Nisan	36282730	4189634	5,9	83	27	145	151
71	17 Nisan	36282731	4189618	5,7	81,2	27	115	187
72	17 Nisan	36282731	4189601	5,7	81,2	28	81	264

73	17 Nisan	36282732	4189585	5,8	82,5	27	78	279
74	17 Nisan	36282732	4189568	5,7	81,2	28	319	67
75	17 Nisan	36282733	4189552	5,8	82,1	28	151	143
76	17 Nisan	36282733	4189535	5,7	81,2	28	334	64
77	17 Nisan	36282734	4189519	5,8	81,6	28	275	78
78	17 Nisan	36282734	4189502	5,7	80,7	29	351	61
79	17 Nisan	36282735	4189486	5,8	82	28	343	63
80	17 Nisan	36282735	4189469	5,7	81,3	28	299	72

8.3. Nükleer Yoğunluk Ölçer (Radyoaktif Yöntem) ile Asfalt Beton Yoğunluk Tayini

Doğal zemin üzerinde, topraklı agregalar ile yapılan dolgularda, temel tabakaları ve çimento-bitüm karışım kaplamalarda, “optimum rutubet/max. sıkışma laboratuvar verileri” ile yerinde yoğunluk ve rutubet miktarlarını karşılaştırarak sıkışma oranı nükleer kaynaklı cihazlarla tespit edilmektedir.

Seaman C-200, Troxler 3401, 3411, 3440 ve 3450 serili cihazlar nükleer geometrileri ve kaynak dizaynları ile yüksek teknoloji ürünü hardware’leri sayesinde yüksek dayanıklılık ve doğruluk içinde test sonuçları veren bu cihazlar, inşaatın hızlı ve ekonomik olarak sürdürülmesinde önemli yarar sağlar (www.troxlerlabs.com).



Şekil 8.2. Troxler 3440

Troxler RoadReader™ nükleer nem / yoğunluk ölçerler birçok mühendis, müteahhit, karayolu departmanları tarafından toprak, beton ve asfalt sıkıştırmanın tayin için kullanılırlar.

Genellikle iki tip test modu yoğunluk tayini için seçilir: Bunlar doğrudan iletim ve geri dağılım modudur. Operatör, malzeme türüne bağlı olarak modunu seçer ve tabaka kalınlığı testi yapılarak yoğunluğu belirtir.

Model 3430'da tuş takımı, ekran ve dört dilde operatör kılavuzu kullanılır ve bu Troxler'in sunduğu en basit, en ekonomik göstergedir. Model 3440 ise 30 ayrı özel fonksiyon, 450 kadar test kayıtlarının saklanması, 18 aylık kayıt saklama garantisi, basit işlemler yapabilmek için birçok özellik sağlar.

Model 3440 bize sıkıştırma kontrolü için gereken özelliklerini Model 3430' dan bir adım daha fazla verir. Model 3440'da yoğunluk geri dağılım ya da doğrudan iletim moduyla nem ise geri dağılım modunda ölçülür.

Çalışmada koordinatları belirlenmiş 80 ayrı noktada (Beton Asfalt) nükleer yoğunlukölçer (radyoaktif yöntem) ile asfalt betonu yoğunluk tayini gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.3, 9.4, 9.5). Cihaz Sezyum-137 radyoaktif elementinden yayılan gama ışınları aracılığı ile yoğunluk ölçümü yapmaktadır (Şekil 8.3).Elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 8.2’de verilmiştir.



Şekil 8.3 Asfalt betonu yoğunluk tayininin gerçekleştirilmesi



Şekil 8.4 Asfalt betonu yoğunluk tayininin gerçekleştirilmesi



Şekil 8.5. Radyoaktif yöntemle asfalt beton yoğunluğu tayini

Tablo 8.2. Radyoaktif yöntemle asfalt beton yoğunluğu tayini deney sonuçları

ÖLÇÜM NO	TARİH (2011)	GPS KOORDİNAT		Radyoaktif Yoğunluk Tayini (TROXLER)			
		X	Y	MA	WD	M	% M
1	04.Mar	36282102	4189200	92,2	133,8	7,7	6,1
2	04.Mar	36282094	4189179	85,2	123,5	7	6
3	04.Mar	36282086	4189158	95,4	138,4	8,3	6,4
4	04.Mar	36282076	4189136	97,1	140,8	6,7	5
5	04.Mar	36282066	4189115	96,3	139,6	6,7	5,1
6	04.Mar	36281621	4189688	95,1	137,9	5,7	4,3
7	04.Mar	36281587	4189664	96,3	139,7	5,7	4,3
8	04.Mar	36281553	4189638	96,3	139,7	5,7	4,3
9	04.Mar	36281527	4189604	96,6	140,1	6	4,5
10	04.Mar	36281506	4189572	95,9	139	6,1	4,6
11	04.Mar	36281516	4189611	94,7	137,3	6,8	5,2

12	04.Mar	36281495	4189625	97,6	141,5	6,9	5,1
13	04.Mar	36281450	4189652	99,1	143,8	6,7	4,9
14	04.Mar	36281415	4189650	94,6	137,2	5,8	4,4
15	04.Mar	36281391	4189649	94,2	136,6	5,7	4,3
16	04.Mar	36281393	4189629	94,4	136,9	7,6	5,9
17	04.Mar	36281420	4189626	91,9	133,2	6,5	5,2
18	04.Mar	36281420	4189623	93,2	135,2	6,5	5,1
19	04.Mar	36281477	4189606	90,1	130,6	6,8	5,5
20	04.Mar	36281499	4189590	96,5	140	6,3	4,7
21	07.Mar	36282893	4190333	89,4	129,7	5,5	4,4
22	07.Mar	36282914	4190339	98,6	143	6	4,4
23	07.Mar	36282935	4190343	91,8	133,1	4,9	3,9
24	07.Mar	36282953	4190348	103,3	149,8	6,3	4,4
25	07.Mar	36282970	4190352	98,1	142,2	5,4	3,9
26	07.Mar	36282986	4190355	90,2	130,8	6,3	5
27	07.Mar	36283000	4190359	93	134,8	6,1	4,7
28	07.Mar	36283015	4190363	92,2	133,6	6,1	4,8
29	07.Mar	36283026	4190364	95,9	139	6,6	5
30	07.Mar	36283040	4190369	108,9	157,9	7,2	4,8
31	07.Mar	36283049	4190373	98	142,1	5,9	4,4
32	07.Mar	36283063	4190376	89,9	130,4	5,7	4,5
33	07.Mar	36283078	4190376	93,9	136,2	5,2	4
34	07.Mar	36283088	4190381	92,4	134	5,2	4
35	07.Mar	36283101	4190386	98,5	142,8	5	3,7
36	11.Nis	36282720	4190178	95,6	138,6	5,7	4,3
37	11.Nis	36282719	4190170	99,8	144,6	5,5	3,9
38	11.Nis	36282719	4190158	94,5	137,1	7,1	5,5
39	11.Nis	36282719	4190141	89,5	129,8	8,2	6,7
40	11.Nis	36282718	4190125	92,4	133,9	5,7	4,5
41	11.Nis	36282718	4190110	95,7	138,8	6,1	4,6
42	11.Nis	36282716	4190095	93,2	135,1	6,1	4,7
43	11.Nis	36282714	4190082	91	131,9	5,7	4,5

44	11.Nis	36282714	4190066	103,1	149,4	5,7	4
45	11.Nis	36282715	4190049	98,8	143,2	5,8	4,2
46	11.Nis	36282716	4190032	95,7	138,7	62,8	82,7
47	11.Nis	36282717	4190015	98,2	142,4	59	70,7
48	11.Nis	36282718	4189998	97,5	141,4	59	71,6
49	11.Nis	36282719	4189981	98	142,1	55,2	63,4
50	11.Nis	36282720	4189964	102,8	149,1	62,8	72,7
51	11.Nis	36282721	4189947	89,8	130,2	59	82,8
52	11.Nis	36282722	4189930	93,9	136,2	55,2	68,1
53	11.Nis	36282723	4189913	99,9	144,9	55,9	62,9
54	11.Nis	36282724	4189896	98,6	143	61,3	74,9
55	11.Nis	36282725	4189879	98,4	142,8	62	76,8
56	11.Nis	36282723	4189865	87	126,2	9,2	7,9
57	11.Nis	36282724	4189848	96,3	139,7	7,8	5,9
58	11.Nis	36282724	4189832	91,2	133,5	7,9	6,3
59	11.Nis	36282725	4189815	90,4	131,1	6,5	5,2
60	11.Nis	36282725	4189799	95,2	138,1	6,1	4,6
61	11.Nis	36282726	4189782	96,8	140,4	8,9	6,7
62	11.Nis	36282726	4189766	105,9	153,5	7,3	5
63	11.Nis	36282727	4189750	92	133,4	8	6,4
64	11.Nis	36282727	4189733	99,2	133,2	7,8	6,3
65	17.Nis	36282728	4189717	96,7	140,2	8,9	6,8
66	17.Nis	36282728	4189700	94,4	136,8	8	6,2
67	17.Nis	36282729	4189684	101,1	141,6	8,1	5,8
68	17.Nis	36282729	4189667	97,4	141,3	9,1	6,9
69	17.Nis	36282730	4189651	97	140,7	9,4	7,2
70	17.Nis	36282730	4189634	98,7	143,1	7,9	5,8
71	17.Nis	36282731	4189618	103,2	152,5	7,5	5,2
72	17.Nis	36282731	4189601	97,9	142	6	4,4
73	17.Nis	36282732	4189585	101	146,4	8,2	6
74	17.Nis	36282732	4189568	97,6	141,6	7,6	5,7
75	17.Nis	36282733	4189552	98,9	143,4	6,2	4,5

76	17.Nis	36282733	4189535	98,2	127,8	10,2	8,7
77	17.Nis	36282734	4189519	91,6	132,9	8,3	6,7
78	17.Nis	36282734	4189502	91,7	133	8,9	7,1
79	17.Nis	36282735	4189486	90,8	131,7	8,4	6,8
80	17.Nis	36282735	4189469	89,8	130,2	8,2	6,7

8.4. Kayma Direnci ve Sürtünme Ölçümlerinin Gerçekleştirilmesi

Taşıt kontrolü ve uçak iniş güvenliği, büyük bir oranda üstyapı yüzey özelliklerine bağlıdır. Üstyapı kuru olduğunda, lastikler ile üstyapı arasında oluşan sürtünme normalde yüksektir. Yağışlı havalarda, özellikle üstyapının kayma direnci düşük olduğunda patinajdaki veya durma mesafesindeki potansiyel artışla kritik bir durum oluşabilir. Yeterli kayma direnci olmadığında, sürücü veya pilot direksiyon hakimiyetini sağlayamayabilir ve ıslak üstyapıda duramayabilir. Kayma direnci verisi toplamanın ana sebebi, kazaları azaltmak veya artmasına engel olmaktır. Bu veriler, kayma direncinin yavaş veya hızlı bozulma düzeyine sahip üstyapı kesimlerini tanımlamada kullanılır. Bu bilgi daha sonra uygun bakım ve rehabilitasyon (B ve R) seçeneğini seçmek için ve öncelikli üstyapı B ve R bulmak için bir yönetim aracı olarak kullanılabilir (Shahin, 2002).

Kayma direnci, lastiklerin dönmesi engellendiğinde bir üstyapıda lastiklerin kayma gerilmesi dayanımı olarak tanımlanır. Kayma direnci bir üstyapı özelliği olarak düşünülmesine karşın, lastik dişi, suyun varlığı, sıcaklık, yük ve taşıt hızı gibi durumlar bir lastik ile üstyapı arasında oluşan kuvveti etkiler.

Kayma direncini etkileyen etkenler, daha önce de ifade edildiği gibi, kayma direnci değerlendirmesi, kayma değerine katkıda bulunan bir çok değişken ile ilgilidir. Trafik ve mevsimsel değişim, taşıt etkenleri (hız, lastik basıncı, lastik yükü ve lastik dişi) ve üstyapı etkenleri (yüzey karakteristikleri ve drenaj) kayma direncini etkiler.

Genellikle, sürtünme katsayısı hızın artışıyla azalır. Kuru üstyapılarda, sürtünme etkeninin hızın değişimiyle çok az değiştiği belirlenmiştir. Fakat, ıslak üstyapılarda sürtünmedeki azalma çok fazladır.

Deneyimler, verilen bir tekerlek yükü için lastik basıncındaki artışın sürtünme katsayısında azalmaya neden olacağını göstermiştir. Büyük bir alanın yüksek sürtünme katsayısı ve soğuk

lastikler sonucunda kayma ve yavaşlamayla ortaya çıkan ısı ve düşük basıncın neden olduğu alan artışı bu duruma katkıda bulunabilir (Shahin, 2002).

Sürtünme daima harekete karşı bir kuvvettir. Sürtünme katsayısı arayüzey düzlemdeki sürtünme kuvveti ile yüzeydeki normal kuvvet arasındaki oran olarak tanımlanır. Üstyapılar için, sürtünme katsayısı sürtünme etkeni (f) olarak ifade edilir.

$$f = \frac{F}{L} \quad (1)$$

burada,

F = Sürtünme kuvveti,

L =Normal yük

Üstyapının sürtünme etkenini ölçmek için birkaç yöntem aşağıda tartışılmıştır (Shahin, 2002).

-Kilitli Tekerlek Modu

Bu yöntemde, bir veya iki tekerlekli treyler verilen bir hızda çekilir. Bu deney tekerleği daha sonra kilitlenir ve önüne su dökülür. Test tekerleği sabit sıcaklıkta belirli bir mesafe boyunca üstyapıda kaydırılır. Yüzeye temas eden lastikteki sürtünme kuvveti bir süre için kaydedilir. Sonuçlar bir kayma sayısı (skid number-SN) olarak kaydedilir.

$$SN=100 \times \text{sürtünme etkeni} \quad (2)$$

Sonuçların değişkenliğini minimize etmek için, ASTM E 274-90 (1992)'daki standart bir lastik özelliği kullanılır. Şekil 8.6., tipik bir kilitli teker kayma treylerini göstermektedir.



Şekil 8.6. Kilitli tekerlekli kayma treyleri

-Kayma Modu

Kayma (slip) aşağıdaki gibi tanımlanır:

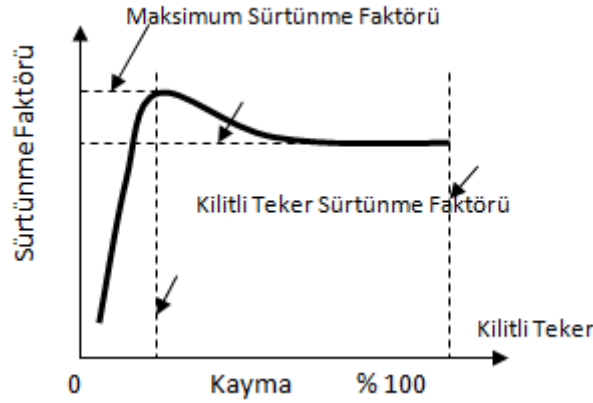
$$S = 100 \frac{W_0 - W}{W_0} \quad (3)$$

burada,

W_0 = Serbest yuvarlanmada açısal tekerlek hızı

W = ölçüm zamanında açısal tekerlek hızı

Eğer düz hareket eden bir tekerleğe fren yapılırsa kayma, tekerlek kilitlendiğinde % 100'e ulaşana kadar artar. Sürtünme etkeni, "kritik kaymada" f_{max} bir maksimum değere ulaşana kadar kayma artışıyla artar ve tekerlekler kilitlenene kadar azalmaya (f_{kilit}) başlar (Şekil 8.7.). Kritik kayma ve f_{max}/f_{kilit} oranı, yüzey dokusu ve sıcaklığının bir fonksiyonudur ve sadece uygun ölçüm ile elde edilebilir. Kritik kayma olayı, tekerlekler kilitlendiğinde veya kayma % 10-15 olduğunda maksimum sürtünmenin olmadığını gösterdiği için çok önemlidir. Bu bilgi, birçok uçakta kullanılan otomatik fren kontrol sistemlerinin geliştirilmesini sağlamıştır.



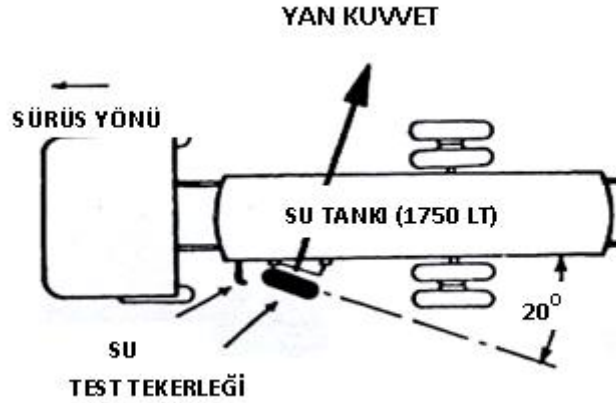
Şekil 8.7. Kaymanın bir etkeni olarak sürtünme katsayısı

-Yalpa Modu

Yalpa modu, hareket yönü (yalpa açısı) ile bir açığa deney tekerleğinin (frensiz) döndürülmesiyle yan sürtünme etkenini ölçer. Yan sürtünme etkeni yalpa açısının büyüklüğü ile değiştiğı için, sürtünme etkenini küçük değişimlere duyarsız yapacak yalpa açısında deney

edilmesi arzu edilir. Yalpa modu deneyi için mevcut bir treyler, iki düz tekerleği olan Mu-Meter'dir.

Yan sürtünmeyi ölçmek için bir diğer cihaz, İngiliz Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarı (Britain's Transport and Road Research Laboratory) tarafından geliştirilen SCRIM'dir (Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine) (Şekil 8.8.).



Şekil 8.8. Yan kuvvet katsayısı olağan inceleme makinesi

Bu taşıt, deney tekerleği ilerlerken yola yaymak için gerekli suyu taşır. Bu deney tekerleği, taşıt hareket yönüne 20 derecede monte edilmiştir ve kullanılmadığında yoldan kaldırılabilir. Bu cihaz, yan kuvvet katsayısını (Sideways Force Coefficient-SFC) ölçer. SCRIM sürekli kayıt yapabilir ve yüksek hızda (65 km/st) çalışabilir (Shahin, 2002).

-Laboratuvar ve Doku Ölçüm Metotları

En yaygın laboratuvar aygıtlarından biri İngiliz Yol Laboratuvarı (British Road Laboratory) tarafından geliştirilen İngiliz Taşınabilir Test Aletidir (Şekil 8.9.). Çalışma esnasında yüzey numunesi üzerinde kayan bir pandüle eklenmiş kauçuk parça içerir. Bu yöntem ASTM E303-83 (1992)' de tanımlanmıştır. Sonuçlar, İngiliz Pandül Sayısı (British Pendulum Numbers - BPN) olarak ifade edilir.



Şekil 8.9. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme deneyi

Üstyapı yüzeyinin dokusunu ölçmek için birkaç yöntem mevcuttur. Fakat bunların bireysel ölçümleri ve kayma direnci ile arasında geliştirilen başarılı bir ilişki yoktur.

FAA Advisory Circular tarafından bir yüzey dokusu yöntemi (AC No. 150/5320-12A) geliştirilmiştir. Bu yöntem, makro doku derinliğini ölçmek için etkilidir. Fakat üstyapı yüzeyinin makro dokusal özelliklerini ölçmede etkili değildir. Pistler için, ortalama makro doku derinliği kayma direnci kuvveti için en az 0,381 mm (0,015) inç olmalıdır. Bu yöntem, bilinen bir yağ hacminin yayılmasını içerir. Yağ ile kaplı alan ölçülür. Doku derinliği, yağ hacminin yağ ile kaplı alana bölünmesiyle hesaplanır. Ortalama doku derinliği bireysel deney/toplam deney toplamıdır (Shahin, 2002).

Arazi çalışmalarında koordinatları belirlenmiş 80 ayrı noktada (Beton Asfalt) Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme aleti ile asfalt betonu sürtünme ölçümleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 8.10. ve 9.11.). Elde edilen ölçüm sonuçları Tablo 8.3'de verilmiştir.



Şekil 8.10. Pandül ile asfalt betonu sürtünme ölçümlerinin gerçekleştirilmesi.



Şekil 8.11. Pandül ile asfalt betonu sürtünme ölçümlerinin gerçekleştirilmesi

Tablo 8.3. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme deneyi ölçüm sonuçları

ÖLÇÜM NO	TARİH (2011)	GPS KOORDİNAT		SÜRTÜNME
		X	Y	
1	04.Mar	36282102	4189200	78
2	04.Mar	36282094	4189179	77
3	04.Mar	36282086	4189158	75
4	04.Mar	36282076	4189136	79
5	04.Mar	36282066	4189115	77
6	04.Mar	36281621	4189688	72
7	04.Mar	36281587	4189664	83
8	04.Mar	36281553	4189638	81
9	04.Mar	36281527	4189604	84
10	04.Mar	36281506	4189572	82
11	04.Mar	36281516	4189611	88
12	04.Mar	36281495	4189625	90
13	04.Mar	36281450	4189652	78
14	04.Mar	36281415	4189650	55
15	04.Mar	36281391	4189649	76
16	04.Mar	36281393	4189629	58
17	04.Mar	36281420	4189626	65
18	04.Mar	36281420	4189623	80
19	04.Mar	36281477	4189606	92
20	04.Mar	36281499	4189590	72
21	07.Mar	36282893	4190333	98
22	07.Mar	36282914	4190339	111
23	07.Mar	36282935	4190343	105
24	07.Mar	36282953	4190348	102
25	07.Mar	36282970	4190352	115
26	07.Mar	36282986	4190355	112

27	07.Mar	36283000	4190359	87
28	07.Mar	36283015	4190363	103
29	07.Mar	36283026	4190364	68
30	07.Mar	36283040	4190369	95
31	07.Mar	36283049	4190373	111
32	07.Mar	36283063	4190376	108
33	07.Mar	36283078	4190376	99
34	07.Mar	36283088	4190381	109
35	07.Mar	36283101	4190386	114
36	11.Nis	36282720	4190178	73
37	11.Nis	36282719	4190170	108
38	11.Nis	36282719	4190158	88
39	11.Nis	36282719	4190141	93
40	11.Nis	36282718	4190125	85
41	11.Nis	36282718	4190110	80
42	11.Nis	36282716	4190095	79
43	11.Nis	36282714	4190082	89
44	11.Nis	36282714	4190066	116
45	11.Nis	36282715	4190049	106
46	11.Nis	36282716	4190032	74,5
47	11.Nis	36282717	4190015	82
48	11.Nis	36282718	4189998	76
49	11.Nis	36282719	4189981	73
50	11.Nis	36282720	4189964	74
51	11.Nis	36282721	4189947	93
52	11.Nis	36282722	4189930	82,2
53	11.Nis	36282723	4189913	82
54	11.Nis	36282724	4189896	83,1
55	11.Nis	36282725	4189879	76,5
56	11.Nis	36282723	4189865	70
57	11.Nis	36282724	4189848	73
58	11.Nis	36282724	4189832	72

59	11.Nis	36282725	4189815	68
60	11.Nis	36282725	4189799	83
61	11.Nis	36282726	4189782	87
62	11.Nis	36282726	4189766	79,5
63	11.Nis	36282727	4189750	64
64	11.Nis	36282727	4189733	65,5
65	17.Nis	36282728	4189717	72
66	17.Nis	36282728	4189700	71
67	17.Nis	36282729	4189684	73
68	17.Nis	36282729	4189667	100
69	17.Nis	36282730	4189651	75
70	17.Nis	36282730	4189634	85
71	17.Nis	36282731	4189618	75
72	17.Nis	36282731	4189601	70
73	17.Nis	36282732	4189585	75
74	17.Nis	36282732	4189568	70
75	17.Nis	36282733	4189552	90
76	17.Nis	36282733	4189535	89
77	17.Nis	36282734	4189519	79
78	17.Nis	36282734	4189502	85
79	17.Nis	36282735	4189486	90
80	17.Nis	36282735	4189469	80

8.5. Tahribatlı Test Yöntemlerinin Gerçekleştirilmesi

Karayolunda meydana gelen hasar ve bozulmalar karayolunun temel ve alt tabakalardan ziyade daha çok binder ve aşınma tabakalarında meydana gelmektedir. Binder ve aşınma tabakalarındaki bozulmalar; yüzey çatlakları, çökmeler, lastik izleri, çukurlar v.b. oluşmaktadır.

Karayolu kaplamasında kaplama performansını asfalt betonunun stabilitesi belirlemektedir. Asfalt betonunun düşük stabilitede olması kaplamada birçok bozulmaya neden olabilir. Asfalt beton kaplamanın stabilitesi karışımın özelliklerine, bitüm miktarına, yumuşama noktasına,

bitümün viskozitesine, agrega gradasyonuna, yerinde imalat şartları ile trafik ve iklim şartları gibi özelliklere bağlıdır. Karayolu kaplamasında görülen en önemli bozulmalardan bir tanesi de tekrar eden yüklerin etkisi ile oluşan yorulma çatlaklarıdır. Diğer taraftan asfalt karışımlarının istenilen sıcaklıklarda olmasında asfaltın performansını ve ekonomik ömrünü belirleyen temel faktörlerden biridir. Asfalt betonunda numunelerin stabilitesi Marshall deneyi ile hasarlı ve ultrases metodu ile de hasarsız olarak belirlenebilir. Uygulamalarda, kesin sonuç vermesi nedeniyle tahribatsız yöntemler yerine maliyeti yüksek ve zaman kaybına neden olan tahribatlı metotlar kullanılmaktadır.

Arazi çalışmaları esnasında alınan toplam 80 karot numune alınmıştır (Şekil 8a ve 8b). 60 °C'deki havuzda bekletilerek numuneler üzerinde Marshall Stabilite deneyi yapılmıştır. Karot numuneler 6.00 cm uzunluğunda olacak şekilde numune kesme makinesi ile kesilerek Marshall stabilite deneyine uygun hale getirilmiş ve 0,01 gr hassasiyette tartılmışlardır. Numuneler tartıldıktan sonra 16 °C sıcaklıktaki su içinde 24 saat bekletilerek doymun yüzey haline getirilmiştir. Asfalt karot numunelerin fiziksel özelliklerinin belirlenebilmesi amacıyla aşağıdaki denklem kullanılarak hacimleri hesaplanmıştır.

$$V = \frac{m_a - [(m_{st} + m_w) - m_{st}]}{\rho_w}$$

V: Numune hacmi (cm³),

m_a: Numunenin havadaki ağırlığı (kg),

m_{st}: Su içindeki sepetin görünür ağırlığı (kg),

m_w: Su içindeki numunenin görünür ağırlığı (kg),

ρ_w: 20 °C sıcaklıktaki suyun yoğunluğu 998 kg/m³.

Numunelerin hacimleri yukarıdaki ifade ile bulunduktan sonra, boşluk hacmi, doymun yüzey birim hacim ağırlık ve hava kurusu birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.



Şekil 8.12. Asfalt karot numunelerin alınması



Şekil 8.13. Asfalt karot numunelerin alınması

Marshall Stabilite test cihazı, BS 598-107 standardına uygun olup dijital ekranlı bir cihazdır. Cihaz asfalt karot numunelerin stabilite değerlerini 0,1 kg hassasiyetle ölçebilmektedir.



Şekil 8.14. Marshall Stabilite Test Cihazı



Şekil 8.15. Marshall Stabilite Test Cihazı

Numuneler yukarıda gösterildiği gibi Marshall Stabilite cihazına yerleştirilmiş ve her bir numunenin stabilitesi ile akmaya karşı direnci ölçülerek kaydedilmiştir. (Tablo 8.4).

Tablo 8.4. Marshall Stabilitesi ve Ultrases deney sonuçları

Numune No	BRİKET YÜKSEKLİĞİ				HAVADAKİ AĞIRLIK(g)	SUDAKİ AĞIRLIK(g)	DOY.Y.KURU AĞIRLIK(g)	ULTRASES	MARSHALL	
	1	2	3	ORT.					AKMA (mm)	STABİLİTE (kg)
1	56,91	57,14	56,43	56,82667	949,22	529	952,5	14,7	5,58	16,4
2	56,6	55,95	57,05	56,53333	909,68	494,5	912,5	15,8	4,41	11
3	45,72	45,06	45,64	45,47333	779,37	442	780	9,3	5,33	7,65
4	46,44	46,5	45,04	45,99333	780,87	440	784,5	10,2	4,38	8,96
5	43,27	42,96	42,2	42,81	686,43	384,5	695	12,4	2,86	15,8
6	60,56	59,99	61,39	60,64667	988,54	549	998	18,2	6,58	5,84
7	41,56	42,93	43,03	42,50667	694,44	385,5	702	11,2	3,88	4,29
8	57,07	59,77	59,54	58,79333	971,74	541,5	979,5	16,4	6,48	8,6
9	59,33	60,13	58,95	59,47	1001,61	558,5	1004,5	15,7	10	6,1
10	59,75	59,1	58,51	59,12	991,97	548,5	997	14,7	6,48	7,37
11	58,68	59,15	58,87	58,9	972,89	540,5	989,5	15,7	8,29	9,28
12	42,09	43,47	42,46	42,67333	692,65	384	696,5	9,2	4,33	5,42
13	59,37	58,53	59,2	59,03333	985,25	546,5	990	13,2	10	9,06
14	58	61,07	59,63	59,56667	959,53	527	961	15,8	6,26	7,09
15	41,49	41,14	40,97	41,2	664,78	370,5	679	12,3	4,18	6,82
16	59,95	59,8	59,18	59,64333	921,33	506,5	934	16,7	10,2	11,3
17	59,53	58,98	59,45	59,32	952,3	521,5	961,5	17,8	9,13	4,84
18	42,23	42,52	42,54	42,43	675,46	365	681	12,6	5,64	7,43
19	60,75	60,09	60,95	60,59667	987,38	536,5	993	17,3	9,62	13,1
20	59,88	59,54	61,24	60,22	992,25	555,5	1001	18,7	10	10,4
21	60,01	59,72	59,95	59,89333	970,51	534,5	978,15	19,6	9,94	6,54
22	60,87	60,83	60,81	60,83667	988,23	544,5	997,04	19,4	7,7	9,58
23	60,6	60,54	60,1	60,41333	1009,74	559,5	1015,35	20,6	9,32	14
24	59,3	60,03	60,94	60,09	991,95	549,5	996,85	20,8	6,95	11,2
25	58,4	60,14	58,88	59,14	927,03	505,5	937,09	20,7	5,56	6,08

26	58,56	57,7	58,62	58,29333	902	488,5	915,3	18,9	8,14	9,47
27	59,89	61,98	60,42	60,76333	961,04	526,5	972,19	18,6	9,93	5,84
28	39,55	40,62	39,93	40,03333	628,78	343,5	638,93	11,9	4,14	6,39
29	59,99	59,93	60,45	60,12333	971,72	532,5	980,7	19,5	9,46	8,81
30	58,72	58,18	60,12	59,00667	947,46	517,5	951,51	19,7	9,94	10,1
31	40,47	40,28	40,61	40,45333	648,01	350	654,84	10,5	4,79	10,6
32	60,01	59,23	59,7	59,64667	924,39	494,5	933,73	21,7	9,87	11
33	58,95	58,85	58,36	58,72	922,67	507,5	939,24	20,4	6,14	6,97
34	40,16	40,73	39,99	40,29333	632,34	342,5	638,12	9,8	4,45	4,46
35	61	60,4	60,58	60,66	984,15	540	993,34	16,5	9,25	12,9
36	60,4	60,2	60,47	60,35667	971,7	539,5	985,63	19,5	5,94	7,54
37	60,04	59,92	60,02	59,99333	961,58	525	970,33	21,4	8,99	7,92
38	59,61	56,61	58,9	58,37333	922,78	508,5	933,7	17,6	4,88	12,1
39	39,19	39,83	40,57	39,86333	614,78	338,5	621,88	13,4	2,72	7,98
40	60,02	59,54	59,14	59,56667	955,62	526,5	967,8	18,6	6,95	5,27
41	59,99	60,19	59,75	59,97667	954,97	537,5	970,6	19,1	7,91	10,8
42	59,76	59,36	59,37	59,49667	951,16	517	962,29	17,4		
43	60,89	60,72	60,58	60,73	975,32	533,5	984,97	20,8	9,35	11,5
44	59,64	59,8	60,3	59,91333	961,68	528,5	972,3	18,8	5,87	13,3
45	59,11	60,19	58,84	59,38	971,08	534	978,78	18,9	8,64	13,7
46	60,33	60,69	60,41	60,47667	1024,6	573,5	1027,79	17,7	4,84	9,33
47	59,08	59,94	59,79	59,60333	989,9	544,5	994,72	16,3	5,4	12,1
48	60,56	61,23	60,35	60,71333	1015,96	567,5	1022,51	19,5	8,38	11,2
49	60,78	60,7	60,95	60,81	1026,54	570	1032,13	18,2	5,22	9,33
50	60,16	59,6	60,02	59,92667	999,51	557	1003,27	19,1	5,46	12,4
51	58,65	58,38	60,3	59,11	963,81	530,5	979,58	18,6	5,37	8,05
52	59,57	60,02	58,8	59,46333	955,79	524	962,14	22,2	5,53	10,7
53	59,1	59,32	60,13	59,51667	975,4	537	982,5	20,1	4,84	6,01
54	60,72	60,69	61,39	60,93333	993,04	542	995,99	22,2	6,08	10
55	58,01	59,22	59,07	58,76667	958,21	526,5	963,42	18,2	5,5	7,61

56	60,73	60,03	60,44	60,4	989,52	552,5	997,49	19,4	5,9	8,26
57	40,24	40,01	39,86	40,03667	689,59	392,5	690,62	13,4	4,96	7,4
58	60,17	60,62	60,75	60,51333	995,62	554,5	998,33	21,3	4,69	10,5
59	41,73	40,8	42,13	41,55333	697,96	387	699,96	10,2	4,41	10
60	40,88	41,07	40,84	40,93	691,84	387,5	693,1	14,2	4,57	5,68
61	58,11	59,04	60,23	59,12667	1000,25	563,5	1001,77	20,7	4,42	8,67
62	60,14	58,75	58,99	59,29333	1007,14	568	1009,83	21,7	5,7	8,29
63	60,49	60,85	60,66	60,66667	1064,87	605,5	1066,05	20,3	6,38	11,8
64	60,27	60,25	60,21	60,24333	1063,89	610,5	1064,88	22,6	7,22	10
65	39,8	40,18	40,44	40,14	689,16	392	690,69	14,5	3,56	12,2
66	40,47	40,28	40,68	40,47667	640,56	349	649,46	9,6	4,96	1,3
67	40,42	40,15	39,89	40,15333	638,62	349	645,92	15,2	5,74	3,65
68	40,69	40,35	40,57	40,53667	628,83	344	640,07	11,2	3,87	2,55
69	39,35	40,15	40,24	39,91333	610,48	328,5	622,36	18,2	6,14	1,92
70	40,15	40,14	40,27	40,18667	617,53	330,5	628,18	10,2	5,07	2,46
71	26,81	26,77	26,19	26,59	989,16	246,5	435,79	12,6	3,74	5,2
72	40,6	41,01	40,34	40,65	655,93	358,5	660,09	13,6	5,2	3,7
73	42,24	40,5	40,76	41,16667	668,72	376,5	676,86	16,8	4,67	6,46
74	41,92	41,61	41,74	41,75667	690,18	388	693,92	14,7	4,69	6,93
75	24,86	24,96	24,66	24,82667	402,56	226	404,93	12,3	2,22	7,72
76	39,66	40,91	39,84	40,13667	661,28	371	664,21	14,5	4,38	10,4
77	59,38	59,7	60,51	59,86333	998,08	550,5	1004,43	17,7	1,12	25
78	60,33	60,2	59,87	60,13333	1004,24	557,5	1008,12	19,7	6,48	14,6
79	45,07	47,85	45	45,97333	666,68	361,5	671,7	14,9	3,68	3,52
80	25,98	25,65	25,62	25,75	390,06	214	394,06	11,5	7,96	4,25

9. COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ

Günümüzde bilginin gücü çok daha belirgin bir hal almıştır. Bilgiyi etkin kullanan toplumların çok daha hızlı ve dinamik bir gelişme göstermeleri yanı sıra, yine bu toplum bireylerinin çağdaş hizmetlerden en iyi düzeyde yararlandıkları görülmektedir. İnsanların bilgi toplumu olma yönündeki gayretleri, ekonomik, sosyal ve kültürel alanlarda daha iyi olma arzusundan kaynaklanmaktadır. Bugün bilgi teknolojisindeki hızlı gelişmeler bilim ve sanatın yanında artık yönetsel işlevlerde de etkili olmaktadır. Yaşadığımız bilgi çağında, bilgi teknolojisi çok değişik alanlarda insanlığa hizmet vermektedir. Özellikle konuma bağlı bilgilerin yönetilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) birçok konumsal uygulamada önemli rol oynamaktadır.

Günümüzde verilerin güncelliği ve doğruluğu, planlama çalışmaları gibi verilerin analiz edilmesinin karmaşık olduğu disiplinlerde coğrafi bilgi sistemleri ile kolaylıkla sağlanmaktadır. Coğrafi bilgi sistemleri verilerle ilgili her türlü yönetim ve depolama işini yaparak, kullanıcılara hız ve doğruluk kazandırmaktadır. Uzaktan algılama teknikleri ise çalışma alanı ile ilgili görüntüler sağlayarak coğrafi bilgi sistemlerine güncel altlıklar sağlamaktadır. Altlığın güncel olması, kullanıcı veya yönetici tarafından çalışma alanının tanınmasını, doğru analiz edilebilmesi dolayısı ile oluşturulacak kararların doğruya yakınlığını sağlamaktadır.

CBS güncel verilerle, planlama ve veri yönetimi gibi karmaşık işlemleri anlaşılır ve hızlı hale getirmektedir. Böylelikle alınacak kararlar için karar destek sistemini oluşturmakta ve eski yöntemlere göre daha hızlı, doğru çözümler üretmeyi sağlamaktadır. Eski yöntemlerle tutanaklarda yığın halinde bulunan veriler veri yönetim sistemleri ile daha güvenli depolanabilmektedir. Eski yöntemlerle on binlerce verinin analiz edilmesi mümkün olamazken, veri yönetim sistemleri bütün verilere anında erişmeyi ve verileri analiz etmeyi sağlamaktadır. Ayrıca kamu kurumları gibi veri paylaşımının gerekli olduğu birimlerde verilerin görev ve yetki dâhilinde paylaşımı sağlanmaktadır. Coğrafi bilgi teknolojileri sayesinde verilerin yönetimi ile birlikte veri paylaşımı sağlanabilmektedir. Böylelikle veriler, yapılabilecek her türlü uygulamaya ve geliştirilmeye açık olmaktadır.

9.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri ile İlgili Tanımlamalar

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) yaygın olarak kullanılan tek bir tanımı yoktur. Farklı bakış açılarına göre değişik tanımlar yapılabilir. Bu tanımlardan bazıları aşağıda sunulmuştur;

Coğrafi Bilgi Sistemi (Geographical Information System- GIS), en genel anlamıyla mekansal verilerin belirli bir amaç doğrultusunda, bilgisayar ortamında depolanması, modellenmesi, analiz edilmesi ve raporlanması için gerekli yazılım, donanım ve personel bütünüdür. CBS sorgulama ve istatistiki analiz gibi ortak veri tabanı işlemleri, haritalar tarafından sunulan coğrafi analiz yararlarını eşsiz görselleştirmeye entegre eden teknolojidir (Acar, 2002).

CBS, yeryüzünde mevcut olan ve sonradan oluşan her türlü veriyi haritalamaya ve analiz yapmaya yarayan bilgisayar tabanlı bir sistemdir. CBS teknolojisi sorgulama, görüntüleme, istatistik analiz ve haritalarda gösterilen coğrafi analiz gibi ortak veri tabanı işlemlerini birleştirir. Bütün bu özellikler CBS'yi diğer bilgi sistemlerinden ayırır ve strateji planlamada, sonuçları tahmin etmede, olayları açıklamada genel ve özel işlemlere cevap vermesi ile önemli hale getirir (Maquire vd., 1991).

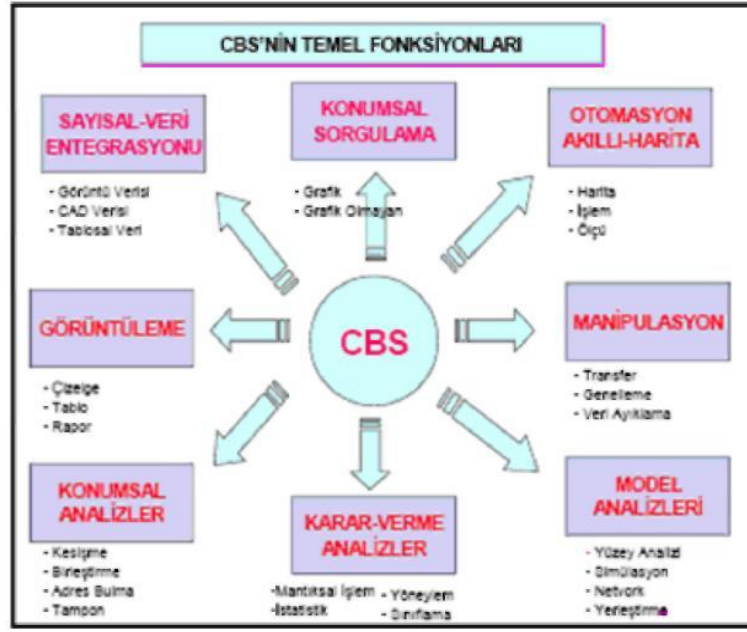
CBS; coğrafi verilerin işlenerek üzerinde çeşitli analiz ve modellemelerin yapılabilirdiği bilgisayar sistemidir (Goodchild vd., 1993). CBS; dünya üzerindeki bölgeleri tarif eden, verileri saklayan ve kullanan bilgisayar sistemi olarak tanımlanabilir (Foody ve Curran, 1994). CBS, yeryüzüne ait verilerin toplanması, depolanması, sorgulanması, paylaşımı ve görüntülenmesi işlemlerini yerine getiren bilgisayar destekli araçlar bütünüdür (Burrough, 1986).

9.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri

CBS; mekândaki konumu belirlenmiş verilerin kapsanması, yönetimi, işlenmesi, analiz edilmesi, modellenmesi ve görüntülenebilmesi işlemlerini kapsayan insan, yazılım, veriler, yönetim çemberinden oluşan bir sistemdir.

9.3. Coğrafi Bilgi Sisteminin Fonksiyonları

Bir CBS'nin fonksiyonlarını veri girişi, işlem, sorgulama ve analiz, görsel hale getirme başlıkları altında incelemek mümkündür. Şekil 9.1'de CBS'nin fonksiyonları şematik olarak gösterilmektedir.



Şekil 9.1. Coğrafi Bilgi Sisteminin temel fonksiyonları (Yomralıoğlu, 2000).

9.3.1. Veri Girişi

Coğrafi veri bir CBS’de kullanılmadan önce, veriler uygun bir sayısal biçime dönüştürülmelidir. Kâğıt üzerindeki verilerin haritalardan bilgisayar dosyalarına dönüştürülmesine sayısallaştırma denir.

Yeni CBS teknolojisi büyük projelerde bu işlemi tarama teknolojisi kullanarak tamamen otomatik hale getirebilir, daha küçük işlerde bir sayısallaştırma masası kullanarak elle sayısallaştırma gereklidir. Bugün çok sayıda CBS/KBS ile uyumlu biçimde bulunan coğrafi veri mevcuttur. Bu veriler veri sağlayıcılardan temin edilebilir ve doğrudan bir CBS’ye aktarılabilir.

9.3.2. Verilerin İşlenmesi

Özel bir CBS projesinde kullanılacak çeşitli tipteki verilerin sistemle uyumlu hale gelmesi için dönüştürmeye veya muameleye ihtiyacı vardır. Mesela, coğrafi bilgi farklı ölçeklerde (ayrıntılı merkezi sokak çizgisi dosyaları, daha az ayrıntılı ada/parsel sınırları ve bölgesel ölçekte posta kodları) mevcuttur. Bu bilgiler birleştirilmeden önce aynı ölçeğe (ayrıntı veya kesinlik derecesine) dönüştürülmelidir. Bu görüntüleme amacıyla, geçici bir dönüştürme veya analiz için kalıcı bir dönüştürme olabilir. CBS/KBS teknolojisi mekân verilerini muamele için ve gereksiz verilerin ayıklanması için çok sayıda araç sunmaktadır.

9.3.3.Yönetim

Küçük CBS/KBS projeleri için coğrafi bilgiyi basit dosyalar halinde saklamak yeterlidir. Bununla birlikte, veri hacmi genişlediğinde ve verileri kullanan kişi sayısı arttığında verileri saklamak/depolamak, örgütlemek ve yönetmek için bir veri tabanı yönetim sistemi kullanmak gerekir.

9.3.4. Sorgulama ve Analiz

Analiz deyince, CBS’de kullanılan temel elemanlar olan nokta, çizgi ve poligonlar arasındaki ilişki uzaklık, yön ve birbiriyle bağlantıları cinsinden tanımlanması ve bunlardan yeni veriler yaratılması anlaşılır. Bu yeni veriler ise sorgulamalarda kullanılır. CBS’de sorgulama tipleri şu şekilde gruplandırılabilir.

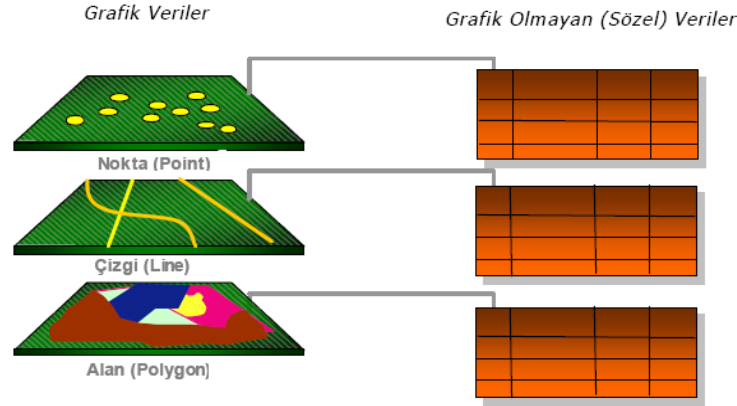
- Grafikten veritabanına sorgulamalar
- Veritabanı sorgulamaları
- Veri tabanından grafiğe sorgulamalar
- Metrik sorgulamalar
- Topolojik sorgulamalar
- Kapsam sorgulamaları

9.4. Coğrafi Bilgi Sistemi Veri Yapısı

Gerçek dünyadaki coğrafi varlıkların, hızlı ve sağlıklı bir şekilde işlenebilmesi için, bu varlıkların matematiksel gösterimlere dönüştürülüp, bilgisayar ortamına aktarılması gerektirmektedir. Dönüşüm için öncelikle veriler, grafik ve grafik olmayan veriler şeklinde iki gruba ayrılırlar. Şekil 9.2’de grafik ve grafik olmayan veriler görülmektedir. Daha sonra, özellikle grafik veriler coğrafi veri elementleri şeklinde nokta, çizgi poligon biçiminde koordinatlarla tanımlanırlar. Böylece koordinat bilgileri kolayca bilgisayar ortamına aktarılabilir. Diğer taraftan, coğrafik verilerin grafik olmayan öznitelik bilgileri tablosal dokümanlar şeklinde olduğu düşünülürse, bunlar da metinsel ifadelerle bilgisayar ortamına kolayca aktarılabilirler. Bundan sonraki aşama iki değişik yapıdaki veri grubu arasında bir bağlantı kurarak, tıpkı haritaların kullanıcıya sağladığı yorum özniteliklerinin aynı şekilde dijital olarak ta sağlanabilmesidir.

Bunun gerçekleşebilmesi, gerçek dünyadaki coğrafik veri yapısının gerçekte olduğu gibi, dijital biçimlere dönüştürülerek bilgisayara yansıtılmasına bağlıdır. Coğrafik veri yapılarının oluşumu, bu verilerin elde ediliş yöntemlerine bağlıdır. Örneğin, bir kente ait veriler klasik bir

biçimde hazırlanmış haritalar üzerinde olabileceği gibi, bu kentin uydudan alınmış bir uydu fotoğrafı üzerinde de bulunabilir. Veri elde etme yöntemleri farklılık taşıdığından bu farklılığa bağlı olarak da verilerin bilgisayar ortamına aktarılması ya da bilgisayarda bu şekilde modellenmesi gerekmektedir (Koldemir, 2002).



Şekil 9.2. Grafik ve grafik olmayan veriler

9.4.1. Grafik Veriler

Grafik veriler vektör ve raster olarak iki şekildedirler. Vektör veriler coğrafi verilerin konum ve şekillerinin depolandığı veri tipleridir. Vektör bir haritada nesneler genellikle x,y veya x,y,z koordinat setleri olarak tanımlanırlar. Çoğu coğrafi bilgi sistemi vektör verileri nokta, çizgi ve poligon olmak üzere üç temel coğrafi nesneden oluşur. Bazı sistemler daha kompleks nesne tiplerini (daire, elips gibi) de destekler vektör verilerde her nesneye bir özellik atanabilir ve geometrik (alan, uzunluk, koordinat gibi) özelliklerine ulaşmak oldukça kolaydır (Acar, 2002).

Grafik veriler, genellikle katmanlar şeklinde, aynı konumu dikkate alan ve işlevsel olarak ilişkili harita elemanlarıdır. Örneğin bir ulaşırma planlaması için, otobüs yolları, topoğrafik harita, alışveriş merkezleri, mevcut yollar vb. Bu veriler, mevcut haritalar sayısallaştırılarak elde edilebilir. Eğer mevcut harita yoksa hava fotoğrafları sayısallaştırılarak da sayısal haritalar elde edilebilir. Eğer, yerleşim yerleri gibi önemli etkenler varsa, bu takdirde uydu görüntülerinden yararlanılabilir.

9.4.2. Grafik Olmayan Veriler

Coğrafi varlıkların koordinat bilgileri yanında, bu varlıklar arasındaki ilişkiler ve bu varlıkların özellikleri hakkındaki diğer bilgilere de ihtiyaç vardır. Bunlar genellikle grafik olmayan tanımlayıcı nitelikteki yazılı bilgiler olup, coğrafi varlıkların, öznitelik bilgilerinden

oluşurlar. Öznitelik bilgisi, coğrafik detayın sahip olduğu karakteristik özelliğin, alfa sayısal olarak gösterimidir. Diğer bir deyişle, grafik olarak ifade edilemeyen özelliklerin, şekilden bağımsız, metinsel olarak ifade edilmeleridir. Uzayda bir nokta koordinatları ile tanımlanmış olsa dahi, bu noktanın bütün özellikleriyle bilinebilmesi için, noktanın adı, numarası, işlevi gibi öznitelik bilgilerine de ihtiyaç vardır. Grafik olmayan bilgiler genellikle yazılı olarak tablo dokümanları halinde toplanan verilerden oluşurlar. Bu türden veriler, mevcut kayıt evraklarından elde edildiği gibi, anket, istatistik, form doldurma, liste, rapor, sayaç okuma vb şekillerde toplanabilirler (Koldemir, 2002).

9.4.3. Coğrafi Verilerin Bilgisayarda Gösterimi (Veri Depolama Formatları)

Şekilleri tanıma konusunda insan gözü hayli yeteneklidir oysa bir bilgisayar ortamında şekilleri temsil etmek üzere çok daha başka yaklaşımlar gereklidir. Coğrafi verilerin bilgisayara aktarılması, bilgisayarda işlenmesi ve görüntülenmesi için öncelikle söz konusu ham verilerin bilgisayarca anlaşılır hale dönüştürülmesi gerekir. Bu dönüşüm verilerin sayısal, diğer bir deyişle dijital forma dönüştürülmesiyle mümkündür. Bilgisayarda şekilleri temsil etmek için birbirinden tamamen farklı ancak birbirini tamamlayan iki değişik yapı kullanılmaktadır. Coğrafi bilgi sistemlerinde konumsal veri yapıları iki şekilde olmaktadır Bu iki farklı yapıdan biri raster (raster data structure) veri yapısı, diğeri de vektör (vektor data structure) veri yapısıdır. Grafik olamayan veriler ise bu verilerle ilişkili durumdaki tablosal bilgilerdir (Ermışoğlu, 2002).

9.4.3.1. Vektör Veri Yapısı

KBS’de ağırlıklı olarak kullanılan veri yapısıdır. Vektör veri yapısında detaylar, nokta, çizgi, alan ve yazı detaylar olarak ele alınırlar. Bazı detaylar veri tabanı ölçeğine göre öyle küçüklerdir ki tek bir nokta ile ifade edilirler. Böyle detaylara (Örneğin; tek ev, kuyu, elektrik direği vb.) nokta detay denir. Bazen detayların geometrik biçimleri, yine esas alınan ölçek gereği çizgi olarak gösterilmelerini gerektirir. Böyle detaylara (Örneğin; yol, nehir, fay hattı vb.) çizgi detay denilir. Ölçeğe göre, nokta kadar küçük, çizgi kadar ince olmayan tüm detaylar ise (Örneğin; orman alanı, yerleşim birimi, göl vb.) poligon veya alan detay olarak adlandırılırlar. Bazı GIS yazılımları yazıları da vektör veri olarak saklayabilmektedir.

Coğrafik varlığın gerçek modeldeki konumu, referans tabanlı herhangi bir koordinat sisteminde (x,y) koordinat değeriyle gösterilir. Vektörel veri yapısında da coğrafik varlıklara ait her konum yine bir (x,y) koordinatına sahiptir. Noktalar tek bir koordinat ile temsil edilirken, çizgiler ve poligonlar sıralı koordinat serileriyle temsil edilir. Ancak poligonları

temsil eden koordinat serisinde başlangıç ve bitiş noktasının koordinatı aynı olup, bu özelliğiyle çizgilerden ayrılmaktadırlar.

Resim veya grafik kullanılmaksızın, nokta, çizgi ve poligon şeklindeki coğrafi varlıklar sahip oldukları (x,y) koordinat değerleri ile matematiksel, diğer bir deyişle sayısal olarak temsil edilebilirler.

9.4.3.2. Raster (Hücresel) Veri Yapısı

Raster veriler pikseller ile temsil edilir. Piksel, en küçük boyutlu resim elemanıdır. Raster veriler belirli çözünürlükteki grid hücreleri tarafından temsil edilirler. Veriler grid hücrelerinin matris değerleri ile depolanırlar. Bu arada grafik verilere ait çizgi kalınlıklarının ne olacağı, hangi çizginin neyi ifade edeceği, hangi çizginin hangi renkte gösterileceği belirlenir (örnek olarak kadastro parsellerinin mavi, imar parsellerinin yeşil renkte çizilmesi gibi) (İnce,1999).

Raster gösterimde, farklı özellik gösteren coğrafi varlıklar arasında, vektörel gösterimdeki gibi bir sınır olmayıp, sürekli bir gösterim söz konusudur. Farklı özelliklerin ayrımı, komşu piksellerin farklı renk değerleri veya toplanmasıyla olur. Dolayısıyla, her piksel taşıdığı özelliği yansıtmak ve diğer özelliklerden ayırt edilmek üzere farklı bir renk koduna sahiptir. Varlıklar, yansıttıkları renk değerlerine veya bilgi tiplerine göre; renk skalasındaki (renk ölçü cetveli) değerlere atanırlar. Bu renk skalasına renk veya görüntü derinliği (image depth) denir. Örneğin, bir haritanın raster gösteriminde yollar açık gri tonda, binalar daha koyu gri tonda ve park alanları daha çok daha açık bir gri tonda gösterilebilir. Bu gösterimler istenen hassasiyete bağlı olarak görüntü kalitesini etkileyecek nitelikte olurlar. Haritada gösterilen coğrafi varlığın gerçeği yansıtma gücü, diğer bir deyişle hassasiyeti, harita ölçeğine ya da görüntünün elde edilme kalitesine bağlıdır (Koldemir, 2002).

Raster gösterimde, bu hassasiyet piksel boyutuna göre değişen ayırma veya çözünürlük (resolution) gücü ile ölçülür. Piksellerin boyutu, bilgisayar veya fotoğraf ortamında mikron biriminde ölçülebilir. Piksellerin gerçekteki boyutuna yersel çözünürlük denilmektedir (Anonim, 2004).

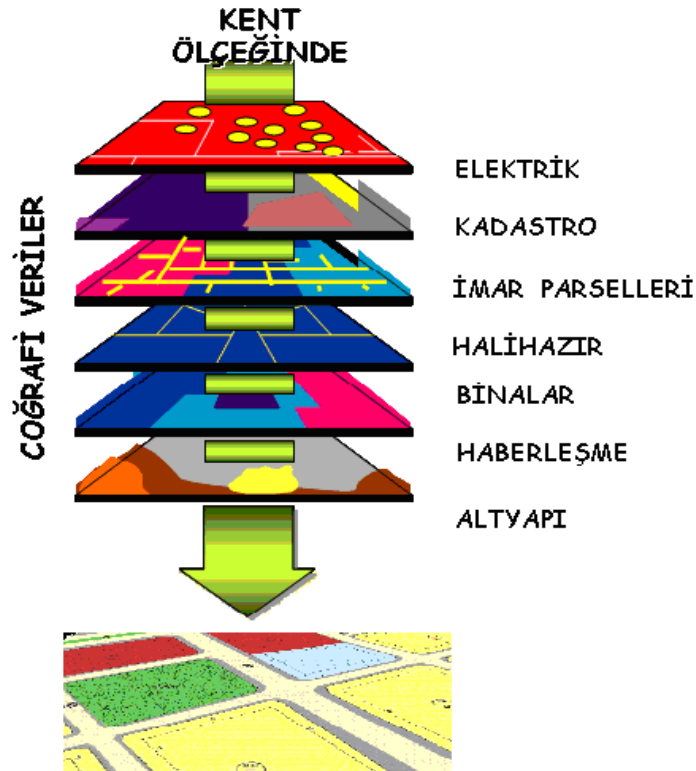
9.4.3.3. Tablosal Veri Yapısı

Raster ve Vektör veriler GIS'in grafik kısmını gösterir. Grafik bilgiye ilintili veriler ise; Öznitelik Tablosu (attribute table) olarak adlandırılan, objeler ile ilgili (yol genişliği, iletken kesiti vb.) bilgilerin yer aldığı tablosal verilerdir. Grafik ortamda tutulan her katman için bir

öznitelik tablosu ve her obje için bu tablolarda bir kayıt tutulmaktadır. Tablolarda tutulacak anahtar sahalardan yardımı ile aynı katmanda tutulan farklı objeler için ilişkisel veri tabanı yapısı içinde istenilen her türlü veri saklanabilir. Vektör verilere bağlı olan tüm veriler öznitelik (attribute) olarak adlandırılırken, aynı formatta herhangi bir grafik veriye bağlı olmayan veriler de saklanabilir. Entegre GIS sistemlerinde genellikle grafik kısımdan bağımsız olarak işleyen işletimsel veri yapıları mevcuttur. Coğrafi Bilgi Sistemi ortamında istatistikî veya doğrudan erişim için kullanılmakta olan bilgiler herhangi bir format veya veritabanından değişik protokol veya transfer yöntemleri ile de oluşturulabilmektedir (Ermişoğlu, 2002).

9.5. Coğrafi Bilgi Sisteminde Yer Alan Veriler

KBS kapsamındaki veri kavramlarından hem mekânsal konuma ilişkin grafik ve sözel bilgiyi, hem de bu bilgilerin kendi içlerindeki ve karşılıklı ilişkiler anlaşılmalıdır. Bu ilişkiler kullanarak grafik bilgilerden sözel bilgilere, sözel bilgilerden de grafik bilgilere ve diğer sözel bilgilere ulaşabilmek mümkün olabilmektedir (Baz, 1999). CBS veri tabanında amaçlanan hizmetlerin yerine getirilebilmesi için aşağıda ana başlıklar altında sıralanmış, CBS yazılımı ile desteklenen, sorgulanabilen grafik ve sözel bilgilere veya bilgi katmanlarına ihtiyaç vardır. Şekil 9.3 bu katmanları göstermektedir.



Şekil 9.3. Kent ölçeğinde coğrafi veriler

Kent Bilgi Sisteminde kullanılan veriler şunlardır (Baz, 1999).

Grafik Bilgiler;

Vektör veriler:

- Güncel hâlihazır harita bilgileri
- Güncel kadastral harita bilgileri
- İmar planı bilgileri
- Plan, proje ve vaziyet planı bilgileri
- Plan tadilatı bilgileri
- İmar durumu düzenlemesine dair bilgiler
- İmar uygulamasına dair bilgiler
- Yol ulaşım ağı plan proje bilgileri
- Toplu taşıma planı, güzergâh bilgileri
- Alt yapı, tesis, harita, plan, proje bilgileri
- Çevre, bahçe, park, düzenleme, koruma, plan, proje bilgileri
- Çevre kirlilik harita ve proje bilgileri
- Sit ve koruma alanı bilgileri
- Araç takip proje bilgileri
- Yapılaşma takip bilgileri
- Bina alım ve revizyon bilgileri

Raster veriler:

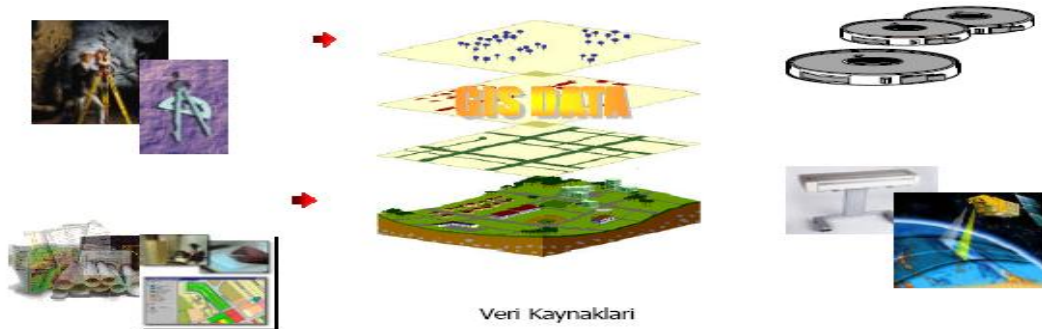
- Uydudan alınan veriler
- Hava fotoğrafları
- Yersel fotoğraflar
- Uzaktan algılama verileri

Sözel Bilgiler:

- Mülkiyet (tapu kayıt) bilgileri
- Emlak-Çöp vergisi beyan ve tahsilât bilgileri
- Elektrik, su, doğal gaz kullanıcıları adres bilgileri
- Arazi kullanım bilgileri
- Planlama ve plan karar bilgileri
- İmar durum bilgileri

- Hizmet ve iş sektörü ile ilgili bilgiler
- Bina kullanım ve numarataj bilgileri
- Yapı izin bilgileri
- İskân izin bilgileri
- Gayri sıhhi müessese izin bilgileri
- Kaçak yapı ve yapılaşma takip, tespit bilgileri
- Tarihi, turistik, yeşil doku envanteri
- Sit ve koruma alanı karar bilgileri
- Park, bahçe, ağaçlandırma bilgileri
- Ulaşım envanteri
- Altyapı tesis plan, proje ve uygulama bilgileri
- Belediye gelir ve gider (bütçe) takip bilgileri
- Belediye işletme ve iştirakleri bilgileri
- İtfaiye hizmet bilgileri
- Personel bilgileri
- Makine ikmal, araç-gereç parkı, araç takip bilgileri
- Yasa, yürütme ve yönetim bilgileri

Şekil 9.4, KBS'nin veri kaynaklarını göstermektedir. Mevcut farklı ölçeklerdeki haritalar, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları ve yersel ölçmeler ile elde edilen koordinat bilgileri ile açılı mesafe değerleri veri kaynakları olarak tanımlanabilir.



Şekil 9.4. CBS veri kaynakları

9.6. Coğrafi Bilgi Sisteminin Sahip Olması Gereken Temel Özellikler

Büyük yatırım ve emekler harcanarak kurulan bir Coğrafi Bilgi Sisteminin mutlaka ihtiyaçlara en üst düzeyde cevap vermesi beklenir. Bu nedenden dolayı kurulacak sistemin mutlak suretle bazı özelliklere sahip olması beklenir. Bu özellikleri şu şekilde sıralamak mümkündür (Tecim, 2004).

- Yöneticilerin karar verme aşamasında, sorunların çözümü için gerekli bilgileri üretebilmelidir.
- Yapısal olarak, en büyük yönetim kademesinden, en küçük yönetim kademesine kadar kullanılabilmelidir.
- Verilen hizmetlerin tümünü kapsamalıdır.
- Karşılaşılabilecek kompleks planlama ve karar verme süreçlerine uyum sağlayabilmelidir.
- Tüm hizmetlerin, bir ağ altında birbirleriyle etkileşimli ve entegre bir şekilde yürütülmesini sağlamalıdır.
- Diğer sistem kullanıcısı yerel yönetimler ve kurumlar ile istenildiği taktirde bilgi alışverişinde bulunulmasına olanak sağlayabilmelidir.
- Diğer kurum ve kuruluşlarda kurulacak online bağlantılar ile iller, bölgeler ve nihayetinde ülke düzeyinde bilgi sisteminin oluşturulmasına olanak sağlamalıdır.
- Sistemi kullanacak olan personelin kolayca öğrenebilmesine, kullanabilmesine, gerekli müdahaleleri yapabilmesine ve yazılımı hazırlayan personele ihtiyaç duymadan veri girişi yapabilmesine imkân vermelidir.
- Belediye/kurum tarafından halka sunulan tüm hizmetleri kapsamalıdır.
- Veri girişine imkân veren ve bu verilerden yeni bilgiler üretebilen bir sistem oluşturulmalıdır.
- Sistem tasarımında uygun donanım ve yazılım kullanılmalıdır. Herhangi bir birimde oluşan ve bilgisayara girilen bir bilgi, diğer birimler tarafından tekrar giriş yapılmaksızın anında görülebilmeli ve kullanılabilmelidir.
- Sistemde günümüzün en ileri sistem metodolojisi ve bilgisayar donanım - yazılım teknolojisi kullanılmalıdır.
- İleriye dönük olmalı, donanım ve yazılım teknolojisindeki gelişmeler göz önüne alınarak, işlerin mümkün olduğu kadar insan gücü yerine bilgisayarlar tarafından yapılmasına ve böylece daha çok, daha hızlı ve doğru işler yapılmasını sağlamalıdır.

9.7. Coğrafi Bilgi Sistemi Olası Kullanıcıları

Coğrafi Bilgi Sistemleri birçok farklı sektör ve disiplinin ilgi alanına giren ve tasarımının gereksinimine bağlı olarak ilgili tüm disiplinlerin bir araya gelmesiyle sağlanabileceği sistemlerdir. Dolayısıyla bu sistemlerin kullanımına ilgi gösteren ve yatırım yapan birçok farklı alanda faaliyet gösteren yönetim birimleri, kurumlar-kuruluşlar ve sektörler vardır. Avrupa Birliği 5. Çerçeve programı kapsamında yürütülen GINIE (Geographic Information Network in Europe - Avrupa Coğrafi Bilgi Ağı) projesinde, CBS marketinin bu paydaşları yatırım oranlarına bağlı olarak en yüksekten düşüğe doğru aşağıdaki biçimde sıralanmaktadır:

- Merkezi Hükümetler
- Belediyeler/Valilikler
- Ulaşım Sektörü
- Kamu Kurumlar
- Telekomünikasyon Sektörü
- Acil Yardım Servisleri
- Eğitim /Araştırma Kurumları
- Tüketiciler
- Bölgesel Hizmet Kurumlar
- Perakende ve Toptan Ticaret Sektörü
- Finans Sektörü
- Savunma/Askeri
- Sağlık Sektörü
- Çevre
- Emniyet Kurumları
- Emlak/İnşaat

Türkiye’de şu ana kadar CBS uygulaması olarak çoğunlukla Kent Bilgi Sistemi (KBS) adı altında belediyecilik faaliyetleri yer almaktadır. Kent Bilgi Sistemleri (KBS), Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kent bazında bir uygulaması olan konumsal bilgi sistemlerinden biridir. Şüphesiz ki, böylesi bir sistemin odağında belediyeler olacaktır. Yerel yönetimler ülkemizde vatandaşlarla en fazla muhatap olan kurumların başında gelmektedir. Su, doğalgaz, imar, vergiler ve daha birçok konuda insanımızın yolu belediyeden geçmektedir (Karaş, 2001).

9.8. Coğrafi Bilgi Sistemi Uygulama Alanları

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanım alanları oldukça geniştir. CBS'nin kullanım alanlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür.

Ulaşım planlaması: Kara, hava, deniz ulaşım ağları, Doğal gaz boru hatları, iletişim istasyonları, yer secimi, enerji nakil hatları, ulaşım haritaları

Çevre yönetimi: Çevre düzeni planları, Çevre Koruma alanları, CED raporu hazırlama, Goller, göletler, sulak alanların tespiti, Çevresel izleme, Hava ve gürültü kirliliği, Kıyı Yönetimi, Meteoroloji, Hidroloji

Doğal Kaynak yönetimi: Arazi yapısı, su kaynakları, akarsular, havza analizleri, yabani hayat, yeraltı ve yerüstü doğal kaynak yönetimi, madenler, petrol kaynakları

Mülkiyet-İdari Yönetim: Tapu-Kadastro, Vergilendirme, Seçmen tespiti, Nüfus, Kentler, Beldeler, Kıyı Sınırları, İdari sınırlar, Tapu bilgileri, Mücavir alan dışında kalan alanlar, Uygulama imar planları

Bayındırlık hizmetleri: İmar faaliyetleri, Otoyollar, Devlet yolları, Demir yolları on etütleri, Deprem zonları, Afet yönetimi, Bina hasar tespitleri, binaların cinslerine göre dağılımları, bölgesel kalkınma dağılımı

Eğitim: Araştırma-inceleme, eğitim kurumlarının kapasiteleri ve bölgesel dağılımları, okuma-yazma oranları, öğrenci ve öğretmen sayıları, planlama

Sağlık yönetimi: Sağlık-coğrafya ilişkisi, sağlık birimlerinin dağılımı, personel yönetimi, Hastane vb birimlerin kapasiteleri, bölgesel hastalık analizleri, sağlık tarama faaliyetleri, ambulans hizmetleri

Belediye faaliyetleri: Kentsel faaliyetler, imar, emlak vergisi toplama, imar düzenlemeleri, çevre, park bahçeler, fen işleri, su-kanalizasyon-doğalgaz tesis işleri, TV kablolama, Uygulama imar planları, Nazım imar planları, Hâlihazır haritalar, Altyapı, Ulaştırma planı toplu taşımacılık, Belediye yolları ve tesisleri

Turizm: Turizm bölgeleri alanları ve merkezleri, Turizm amaçlı uygulama imar planları, Turizm tesisleri, Kapasiteleri, Arkeoloji çalışmaları

Orman ve Tarım: Eğim-Bakı hesapları, Orman amenajman haritaları, Orman sınırlar, Peyzaj

Planlaması, Milli parklar, Orman kadastro, Arazi örtüsü, Toprak haritaları

Ticaret ve Sanayi: Sanayi alanları, Organize sanayi bölgeleri, Serbest bölgeler, Bankacılık, Pazarlama, Sigorta, Risk Yönetimi, Abone, Adres yönetimi

Savunma, Güvenlik: Askeri tesisler, Tatbikat ve atış alanları, Yasak Bölgeler, sivil savunma, emniyet, suç analizleri, suç haritaları, araç takibi, trafik sistemleri, acil durum

CBS uygulama alanlarını kategorize ederken konuyu bir de kullanıcı grupları açısından değerlendirmek gerekmektedir. Kullanıcı grupları açısından bir sınıflandırma yaptığımızda ise çok farklı kullanıcının CBS teknolojisini kullandığını görmekteyiz.

- İş Dünyası
- Ekonomik Kalkınma
- Eğitim Yönetimi
- Mühendislik
- Tesis Yönetimi
- Altyapı Yönetimi
- Lojistik/Dağıtım Yönetimi
- Modern Tarama/Çıkarma
- Savunma
- Petrol Arama
- Politik Yönetim
- Kamu Sağlığı
- Kamu Yönetimi
- Toplu Tasıma
- Basın ve Medya
- Emlak Bilgi Yönetimi
- Yenilenebilir Kaynak Yönetimi
- Araştırma
- Ölçme, Haritalama ve Veri Dönüşümü (Morova, 2007)

9.9. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Yararları

CBS ile ilgilenen kişilerin bu sisteme yönelmelerinin ilk nedeni, böyle bir sistemin kendi konularında sağlayacağı yararlarıdır. CBS'nin kullanılması ile maliyet/yarar kriteri dikkate alınarak bir değerlendirme yapıldığında, sistemin kullanıcısı olan kurum ve kuruluş, üretim

arttırma ve maliyeti düşürme yararları ile birlikte uzun vadede stratejik yararlar sağlayacağı görülür.

Doğru verilerle üretilen bilgiler gerçeği yansıtır. Doğru verilerle hızlı bilgi edinmenin de bir maliyeti vardır. Yarar/maliyet analizleri genellikle yeni sistemin olumlu ve olumsuz yönlerinin eski klasik sistemlerle karşılaştırılması sonucu yapılır.

Klasik yönetim sistemi ile otomatik yönetim sistemi (CBS) karşılaştırmalı olarak incelendiğinde, klasik yönetim sisteminde maliyetin zamanla arttığı gözlenmektedir. Bunun nedeni, iş hacmine bağlı olarak zamanla artan eleman sayısı, ücretleri ve enflasyon baskısıdır. CBS'de ise, maliyetin klasik yöntemle göre başlangıçta yüksek olduğu, zamanla bunun azaldığı görülmektedir. Başlangıçtaki yüksek maliyetin nedeni, otomatik veri elde etme, teknoloji yatırımı, uzman personel alımı ve eğitimi, sistemin sürekli bakımındır.

CBS'nin yararları şöyle sıralanabilir:

- **Bilgilerin paylaşımı:** Farklı yönetim birimleri, kurum ve kuruluşlar arasında bilgilerin paylaşımını sağlayarak birbirlerine ait bilgileri kullanmaya olanak sağlar.
- **Bilgi fazlalığı, karmaşası ve tutarsızlığının önlenmesi:** Bilgilerde hızlı değişim olması ve buna paralel olarak güncelleştirme ihtiyacı, farklı yerlerde depolanan bilgiler arasında tutarsızlıklara yol açar. CBS bilgi fazlalığını, karmaşasını ve tutarsızlığını önler.
- **Bilgilerin bir araya getirilmesi:** CBS'nin önemli bir yararı, farklı birim, kurum ve kuruluşların problemlere daha sistematik bir tarzda yaklaşmaları için gereken bütünleşik etkinliği teşvik etmesidir.
- **Bilgilerin sınıflandırılması:** CBS yardımıyla bilgiler belli özelliklerine göre sınıflandırılabilirler. Sınıflandırmalar çeşitli bilgilere ihtiyaç duyan birimlere bir takım problemlerini çözmelerinde yardımcı olabilir. Örneğin belli bir yiyecek üreten firma, ürettiği yiyeceğe talep ve nüfus özellikleri gibi coğrafi olarak dağılmış birçok değişkeni bir araya getirip sınıflandırarak, bu değişkenler arasında korelasyon olup olmadığını, sonuçlara göre en iyi yatırım bölgesinin nereler olduğu hakkında sağlıklı kararlar alabilir.
- CBS teknolojisinde veri tekrarı yoktur.
- Sayısal olarak elde edilen coğrafi verileri güncelleştirmek daha kolay ve ucuzdur.
- Verilere dayalı olarak istenilen bilgileri üretmek daha doğru ve daha hızlıdır.

- Uygun veri standardı ile bir başka CBS'den veri aktarmak yeniden üretmekten daha ucuzdur.
- Kullanıcıya daha iyi karar alma imkânı verir.
- Üretimin artmasına yardımcı olur
- Zaman, para ve insan gücü tasarrufu sağlar.

9.10. Ulaştırma Mühendisliğinde Coğrafi Bilgi Sistemleri Kullanımı

Coğrafi bilgi sistemleri, esas itibariyle coğrafik koordinatları da içeren bir veri tabanı olup, görsel olarak analize olanak tanımaktadır. Özellikle ulaştırma mühendisliğinde yaygın olarak dünyada ve ülkemizde diğer alanlara göre, daha fazla uygulama alanı bulmaktadır.

9.10.1. Geleneksel Veri Yönetimi Sistemi

Ulaştırma şirketleri, ulaştırma altyapısının ayrıntılı bakım envanteri ile ilgili uzun bir geçmiş veriye sahiptir. Normalde, bir şirket bünyesinde birçok geleneksel UBS (Ulaştırma Bilgi Sistemi) bilgisine sahiptir. Yaygın olarak, her bir UBS kendi verilerini (köprü envanteri, karayolu planlama ağı, üstyapı bilgi sistemi, kaza envanteri vd) tek tipte saklar ve kendi yazılım ve donanım platformunda çalıştırır. CBS' nin ciddi bir özelliği, geleneksel veriler için giriş sağlayan veri yönetim sistemine tamamen farklı veri aktarmasıdır, ve çoklu tematik analizlerin gereksinimlerini karşılamak için diğer bütünleşmelere izin verir. Eğer ulaştırma politikası ve yönetiminde karar vermek için çok çeşitli analiz, model ve desteğe izin verecek farklı veri modelleri arasında verilerin değişimi ve iletişimi için iskelet kurulursa, CBS bütünleştirici bir rol oynayabilir. Bu seçeneklerin bazıları genel ilişkisel veri modelleri, yeni dinamik veri ayrıştırma standartları, ve obje-yön veri modelleri içerir (Thill, 2000).

Akın ve Eryılmaz (2001), Coğrafi Bilgi Sistemi destekli bir trafik kaza analizinin nasıl yapılabileceği ve kaza verilerinin coğrafi konum ve saha verileri ile birlikte beraberce değerlendirilmesinin mühendisler ve uzmanlar açısından ne gibi bir önem arz ettiği örneklerle anlatmışlardır. Kaza sayısı yüksek olan yerlerin tespiti, kazaya sebep olan faktörlerin belirlenmesi için kaza noktalarının detaylı fonksiyonel değerlendirilmesi, genel kaza eğiliminin ve sebeplerinin neler olduğuna, benzer bilgilere daha fazla vakıf olabilmek için kazalarla ilgili çeşitli faktörlere ait genel istatistiksel kriterlerin geliştirilmesi, çok sayıda kaza meydana gelmeden önce tehlike yaratan yol ve trafik kontrolü elemanlarının tespit edilmesini sağlayacak metotların geliştirilmesi ve trafik kaza istatistiklerinin CBS ortamında elde edilmesi konusunda örnek bir çalışma yapmışlardır.

Contini vd (2000), önemli kaza risklerinin kontrolü ve yönetiminde modern bilgi teknolojileri ve özellikle de coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımı tartışmışlardır. Çalışmada, yeni talepler, geliştirilen araçlarla desteklenmiştir. Tehlike kaynakları haritası, risk değerlendirmesi, risk yönetimi ve acil planlarla ilişkili araçların ana özellikleri tartışmışlar ve örnekler vermişlerdir. Sonuçta, bu araçların kullanımlarındaki sınırlamalar ve gelecekte gelişmeleri için ihtimalleri tartışmışlardır.

San Diego Şehir Planlama Bölümü, ESRI ArcInfo GIS ile entegre edilen trafik modeli prosedürlerini kullanarak gelecekteki yolları planlamaktadır. Abouna (2000), sunumunda, ulaştırma planlamasında CBS uygulamalarını içeren ulaştırma planlaması çalışmalarını göstermiştir. Örnekler, trafik girdi ve çıktı modelinin saklama, görüntüleme ve analizi için CBS' nin nasıl kullanılacağını tartışmıştır. Güney Kaliforniya'da kamyon trafiğinin 2020 yılına kadar yüzde 40 artacağı tahmin edilmektedir. Los Angeles, kamyon kazalarına yüzde 28' inin bu şehirde olması nedeniyle kamyon kazalarının en sık görüldüğü şehirdir. Ekonomik büyüme, eğer etkili ulaştırma güvenle, zamanında ve en az maliyetle sağlanırsa uzun süreli olabilir. Ticari malların taşınması için bir CBS tabanlı model işletimi, Güney Kaliforniya' nın ulaştırma koridoru boyunca risk tahmininin yapılmasını sağlamak için gerçekleştirilmiştir. Bu model, risk analizinde önemli kriter olarak kaza verilerini, yıllık ortalama günlük trafiği ve kamyon trafiğini kullanır (Parentela ve Cheoma, 2001).

Spring ve Hummer .(1995) çalışmalarında, tehlikeli bölgelerin tanımlanması için kaza nedenlerine göre mühendislik bilgilerinin kullanımını göstermek için Guilford şehrinin mevcut detaylı haritaları (örneğin karayolu özellikleri ve geometrik unsurlarını içeren) ile coğrafi bilgi sistemleri (CBS) birlikte kullanılmışlardır. Genel amaç, yeni bir teknoloji olan CBS' nin özel problem veya problemleri çözmek için nasıl kullanılacağını göstermek için örnek bir çalışma yapmaktır. Kuzey Karolayna' nın Kaza Kayıt Sistemi (Accident Record System-ARS) ve Guilford şehrinin mevcut harita verileri ile diğer çeşitli veriler birlikte kullanılmıştır. Bu proje, sınırlılıklar yönünden değerli veriler ve tehlikeli bölgelerin tanımlanması için kaza nedenleri hakkında mühendislik bilgilerinin kullanımının avantajlarını ve ARS için CBS uygulamalarının zorluklarını ve faydalarını göstermiştir.

9.10.2. Veri İşlerliği

Ulaştırma verileri genellikle çeşitli özel veri sağlayıcılar ve şirketler tarafından sağlanır. Her bir veri kaynağı kendi veri modeline sahiptir, çünkü veri yakalama teknikleri ve standartları farklıdır. Veri pozisyonunda, topolojisinde, sınıflandırma ve eklenmesinde, isimlendirme ve

özniteliklerinde, lineer ölçümlerdeki hatalar, gelişigüzel sonuçlar ile çeşitli kaynaklı zahmetli görevlerin verilerini bir arada sunar. Bu işlerlik konusu, CBS’de en önemli konulardan biri haline gelmektedir. Acil servisler için acil yönlendirme sistemleri ve rota, detaylı dijital sokak veritabanı, ve taşıt navigasyon sistemleri, ticari taşıt filoları için ve genel kamu için mevcuttur. Sürücü ve trafik kontrol merkezi veya bilgi sağlayıcı servisi arasında kablosuz iletişim ile ilgilenen Akıllı Ulaştırma Sistemlerinin (ITS) elemanları, kabul edilebilir doğrulukta sürücü konumunun tahmini zorunlu olmayan bir gerekliliktir. İlerideki gündem, kablosuz bilgi servislerinin yeni nesline izin verebilecektir (Thill, 2000).

Mevcut coğrafi bilgi sistemleri (CBS), dinamik coğrafi olayların yönetimi için iyi bir şekilde adapte edilemez. Bu, gerçek zamanlı hesaplama ile kavramsal ve fiziksel işlerlik eksikliği nedeniyle olur. Bu çalışmaya esas olan araştırma, yeni bir metodolojinin tanımlama ve deneysel yönüne yönelmiştir ve şehir trafik verilerinin gerçek zamanlı entegrasyonu, kullanımı ve görüntülenmesi için bir model uygulanmıştır. Uzaysal-zamansal veri tabanı ile görsel seviyeler arasında, ve görsellik ile son kullanıcı arasında gerçek zamanlı etkileşim için bu model ile uygulanmıştır. Bu amaçla oluşturulan model, şehir trafik verilerinin analizi esnasında ayrıştırılmış farklı uzaysal ve zamansal seviyeli bütünlerdir. Şehir trafik davranışları ya birkaç taşıtın hareketlerinin gözlenmesi ile yada şehir ağ özelliklerinin değişimi ile analiz edilir. Görsel ve etkileşim araçları CBS içinde şehir trafik verilerinin gösterimi için esnek bir çevre arayüzünü birlikte oluşturur. Bu kavramlar, tematik, uzaysal ve zamansal yönlerde şehir trafiğinin görsel analizi için konu ile ilgili destekleri sağlar. Bu entegre model İngiltere’ de büyük bir kasabada geliştirilen deneysel prototip ile gösterilir. Bu çalışmada sunulan deneysel araştırma, şehir trafik verilerinin entegrasyonu, analizi ve görüntülenmesi için yeni bir model geliştirilmesidir (Claramunt vd., 2000).

Ulaştırma Sistemleri Merkezi (Transportation Systems Center-TSC) bir araştırma taşıtından yararlanarak karayolundan trafik verilerinin toplanması için Global Pozisyon Sistemi (GPS) ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) entegresini geliştirmiştir. Bu sistem, iki saniyede bir, GPS pozisyonu, hız, seyahat aralığı, ivme, yakıt tüketimi, motor performansı ve hava kirliliği verilerini toplamak için bir taşıtın motor yönetim sistemi ile entegre edilmiştir. Bu veriler, CBS içine aktarılmış, işlenmiş ve veri toplama esnasında (taşıtta bulunan masaüstü bilgisayardan) sorgulanmış veya daha sonra analiz için bir dosyaya kaydedilmiştir. Bu şekilde oluşturulan bir veri tabanı, seyahat süresindeki gecikmeler, trafik sıkışıklığı seviyesi, enerji gereksinimi ve emisyonların belirlenmesi için zengin bir bilgi kaynağı sağlar. Bu sistemin

örnek bir çalışması, Güney Avustralya' nın Adelaide şehrinde birçok arter koridorda iki paralel rotada trafik sıkışıklığı seviyesi çalışmada odaklanarak tanımlanmıştır (Taylor vd., 2000).

Quiroga ve Bullock (1998) çalışmalarında, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) ve global pozisyon sistemi (GPS) kullanılarak seyahat süresi çalışması yapmak için yeni bir metodoloji tanımlamışlardır. Çalışma, veri toplama, veri azaltma, ve veri raporlama işlemi kadar CBS/GPS metodolojilerinin yeteneklerini gösteren veri analizini de belgeler. Veri toplama prosedürü, toplama zamanını, yerel koordinatları, ve düzenli periyotlarda hızı (örneğin her iki saniye) otomatik bir biçimde veren GPS' leri kullanır. Veri azaltma prosedürü, karayolu kesimleri boyunca hız ve seyahat süresini hesaplamak için GPS verilerini filtreler ve ayrıştırır. Veri raporlama prosedürü, bu karayolu kesimleri boyunca seyahat zamanı verilerini belgelemek için sorgulamalar, raporlar ve renkli kodlu haritaları tanımlamak için CBS tabanlı yönetim bilgi sistemi kullanır. Bu prosedürler Louisiana' da üç büyük şehirde (Baton Rouge, Shreveport ve New Orleans) tamamlanmıştır. Bu şehirlerde, 180 000 kesimden daha fazla seyahat süresi ve hız kaydı, şehir karayolunda 300 mil boyunca 30 000 mil seyahat süresinde yaklaşık üç milyon GPS veri noktasından 1995 ve 1996 yılları arasında elde edilmiştir. CBS/GPS metodolojini anlamada yardım etmesi için bu çalışmadaki bu üç analiz şunlardır: kesim uzunluğu, modelleme uzunluğu ve merkezi eğilim. Kesim uzunluğu analizi, farklı karayolu kesim uzunlukları kullanmanın etkisini örnekler ve göreceli kısalıkta kesimlerin (0.2-0.5 mil) yerleştirilmiş trafik etkisini bulmak için ihtiyaçları gösterir. Bu trafik karışıklıkları sadece kesim uzunlukları karışıklıkla birleşim uzunluğunun yarısından fazla olduğunda görünür olur. Bu demektir ki, tipik olarak 0.5 mil' den daha uzun olan geleneksel link tabanlı kesimler, gereği gibi etkileyen yerleştirmeleri karakterize etmek için yeterli değildir. Örneklem oran analizi, farklı örneklem periyotlarında GPS verilerini toplamanın etkisini adresler ve onunla birleştirilen GPS verilerine sahip olmak için kesimleri gösterir. Merkezi eğilim analizi, harmonik ortalama hızları ve ortalama hızları karşılaştırır ve merkezi eğilimin ortalama hızların harmonik hızlardan daha güçlü tahminler olduğunu gösterir. Bu çalışmada, GPS hızlarında hatalar ile sabitlenen GPS pozisyonlarındaki hataları karşılaştırmak için hata yayılım teorisi kullanan bir model geliştirilmiştir. GPS hızları kullanılarak değerlendirmek için bize imkân veren böyle bir model kesim hızlarını hesaplamak için daha uygundur. Yapımı düşünülen bir karayolu için uygun alinymanın seçimi, geometrik tasarım

kontrolleri için topografik, şehir ve çevre özellikleri ile ilgili olarak belirlenir. Tipik olarak, hava fotoğrafları, topografik, jeolojik ve zemin haritaları gözden geçirilir.

Sadek vd, (1999), alinyiman doğrultusunu belirlemek için ihtiyaç duyulan ana kapsamları birleştiren coğrafi bilgi sistemleri (CBS) platformu tanımlanmıştır. CBS ve coğrafi bir biçimde referanslanmış bir veritabanı kullanılarak, alinyiman rotasının çok kriterli değerlendirmesi için karar destekli araçlar geliştirilmiştir. Muhtemel alinyimanlar, çevresel, zeminsel ve geometrik tasarım kriterleri esas alınarak değerlendirilmiştir. Geliştirilen karar destekli araç, eğim, stabilite, ARC/INFO ve ArcView CBS paket programları ile özel olarak yazılan kodlarla ve karayolu tasarım programları ile entegre edilmiştir. Örnek çalışma olarak, geliştirilen platformun Lübnan' ın Beyrut şehrinin güneyinde 12 km' lik bir karayolu için potansiyel alinyimanların testi için uygulaması sunulmuştur. Bu çalışmanın sonuçları, karar destekli araçların avantajları ve onun daha hızlı çalışmasının sağlanmasının önemi, muhtemel rota alinyimanlarının çok kriterli değerlendirmesini göstermiştir (Sadek vd, 1999).

9.10.3. Gerçek Zamanlı (Real-Time) Coğrafi Bilgi Sistemi

Coğrafi referanslı veriler, önceden zamanın ayarlanmasından ziyade devamlı işlem parçası olarak artan bir biçimde toplanır. İhtiyaç ayrıca, gerçek zaman esaslı ulaşım için ortaya çıkmaktadır. Örneğin, New York şehrinin otoyol sisteminin bir kesiminde bekleme yapmadan geçiş yapan araçlardan sağlanan otomatik trafik verilerinin devamlı elde edilmesiyle, erken kaza olasılıkları sürekli güncelleştirilmiştir. Diğer büyük kentlerde, Global Pozisyon Sistemi (GPS) aygıtı ile donatılmış taşıtlar, kablosuz servis sağlayıcılar için trafik sıkışıklığı bilgisi ve tahmini yapan Trafik Yönetim Merkezi için hız verileri sağlar. Bu gerçek zamanlı trafik verileri ayrıca internet uygulamaları için başlıca girdidir. Gerçek zamanlı veri saklama, düzeltme, işleme, ve analiz, coğrafi referanslı veriler ortaya çıktığında toplumun ihtiyaçlarını şimdiki kadar karşılayamıyordu. Daha hızlı veri ulaşım modelleri, ve daha güçlü uzaysal veri birleştirme teknikleri ve dinamik rota algoritmalarına gerçek zamanlı trafik bilgilerinin avantajlarını kullanmak için ihtiyaç duyulur (Thill, 2000).

Dueker ve Butler, (2000), ulaştırma veri paylaşımı için bir model ve prensipler geliştirilmiştir. Bu model, iştirakçiler, veri sağlayıcılar, veri ekleyiciler, ve veri kullanıcıları arasında aydınlatıcı bir rol oynar. Hem bu model hem de bu prensipler, ulaştırma veri elemanları arasındaki ilişkileri tanımlayan bir coğrafi bilgi sistemi-ulaştırma veri modelini esas alır. Bu veri modeli, ulaştırma verilerinin paylaşımı için model ve prensiplerin geliştirilmesinde esas oluşturur ve istenmeyen kullanımı önler. İki merkezi prensip vardır. İlki, grafik, topoloji,

pozisyon ve karakteristik özelliklerin çözümüdür. İkincisi ise, ulaştırma organları ve onların tanımlayıcıları için bir şemanın oluşturulmasıdır. Esas prensip ilgili objeler için grafik sunumlar dışındaki ulaştırma organlarını kapsayan yaygın bir veri modeline ihtiyaç duyulmasıdır.

Kurar (2001), Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kavşak noktalarının grafik ekran üzerinden koordinatlı olarak takip ve kontrolünün sağlanmasında, zamansal kavşak programlarının yönetilmesinde ve kavşak sinyalizasyonunun bakım ve onarım müdahalesinin hızlandırılmasında ne derece etkili olabileceğini irdelemiş, konuyu İstanbul örneği üzerinde ele almıştır. Ulaştırma uygulamalarında (planlama, mühendislik ve işletme) yaygın bir biçimde kullanılan model, uzaysal-zamansal veri, modeller ve kullanıcıları birlikte getiren internet-tabanlı coğrafi bilgi sisteminin (CBS) geliştirilmesi ile ilgilenir. Bu sistem için fonksiyonel gereksinimler, internet araçları, büyük ölçekli veritabanları ve dağıtıcı hesaplama sistemleri gibi çeşitli teknolojilere izin veren düşünceleri dikkate alan ana hatlardır. Sistemi desteklemek için gerekli modeller kadar uygulama konuları da özetle tartışıldı.

Ziliaskopoulos ve Waller, (2000) çalışmalarında, birkaç ulaştırma araçlarını birleştiren ulaştırma analizi, kontrol ve optimizasyon için bir bütünleştirici modeli tartışmışlardır. Ana odak, coğrafi sunumun özel konularından ziyade ulaştırma sistemleri için özel veri ve modeller arasında etkileş olduğunu vurgulamışlardır.

Peng ve Huang (2000) çalışmalarında, web sunumu, CBS işlemleri, ağ analizi ve veri tabanı yönetimini entegre etmek için internet coğrafi bilgi sistemlerini kullanan web tabanlı transit bilgi sistemini ortaya koymuşlardır. Transit ağ için algoritma bulunan bir güzergahta transit ağların (örneğin zamana bağlı servisler, aynı caddede yaygın otobüs yolları, ve merkez/hedef çifti yönünden simetrik olmayan güzergahlar) özel karakteristiklerini yönetmek amaçlanmıştır. Bu algoritma, en kısa güzergah ve aktarma noktasını belirlemek için bir rotada servis programı ve servisin baştan başa seviyesinin raporlanmasında kullanılır. Daha karmaşık gerçek zamanlı transit bilgi sistemleri için basit statik programdan fonksiyonel bir biçimde ve özünü esas alan transit bilgi sisteminin geliştirilmesini kategorize etmek için bir model oluşturulmuştur. Web tabanlı transit bilgi sisteminin tek özelliği, interaktif harita arayüzü ile internet-CBS tabanlı bir sistem olmasıdır. Bu, kullanıcının transit rota bilgisi, program ve seyahat yolcu planlaması ile etkileşimine olanak sağlar. Bazı haritalar, gösterim, sorgulama, ağ analizi fonksiyonlarını da sağlar.

9.11. Coğrafi Bilgi Sistemleri Kaynak Özetleri

21. yy. içerisinde daha da gelişmekte olan teknolojik ürünler, aynı zamanda bu ürünlerin dahasistematik ve optimum kullanılması gerekliliğini ortaya çıkarmıştır. Son çıkan bir bilgisayarprogramı bile, etkin bir şekilde kullanılmadıkça uygun sonuçlar elde edilememektedir. Busebeple Coğrafi Bilgi Sistemleri, etkin bir yönetim sistemi oluşturabilmek için oldukçaelverişlidir.

Coğrafi bilgi sistemlerinin farklı alanlarda, farklı birçok uygulamaları vardır. Birçok alanda görülen CBS'lere bir takım uygulama örnekleri vermek, konunun ne kadar önemli olduğunu vurgulamak açısından etkili olacaktır.

Coğrafi bilgi sistemleri, ülkesel ölçekteki karayolu - demiryolu - denizyolu - havayolu güzergâhlarının belirlenmesi, daha etkili kullanımı, hasarların giderilmesi, ek bağlantı alanları saptanması gibi üst ölçek kararlarda kullanıldığı gibi; kent merkezindeki yaya - bisiklet - toplu taşıma - özel araç kullanımları, yoğunlukları, trafik akış yönleri, dönüştürülebilecek yollar, acil taşıt güzergâhlarının belirlenmesi ve dolaşımının sağlanması, trafik kazası haritalaması, trafik modellemesi, gibi pek çok alanda verimli olarak kullanılabilir (Sürücü, 2005).

Kentlerin en önemli unsurlarından biri de şehri oluşturan cadde ve sokak sistemleridir. Kentsel fonksiyonların yerine getirilmesinde cadde ve sokak sistemlerinin rolü büyüktür. Nitekim yollar kentsel hizmetlerin her biri için vazgeçilmez bir unsurdur. Coğrafi bilgi sistemlerinde kentte yer alan cadde ve sokak sistemlerini en iyi ve en doğru şekilde bilinmesi; kentte çeşitli zaman ve yerlerde nerede ne var? Nerede ne oluyor? gibi sorulara cevap alabilme konusunda bilgiye ulaşabilmede büyük kolaylıklar sağlaması söz konusudur. Ulaşım hizmetleri, bugün özellikle büyük kentlerde gerçek anlamda büyük bir sorun olarak bilinmektedir. Bu açıdan bakıldığında coğrafi bilgi sistemleri, kentin ulaşım fonksiyonunu yerine getirmesinde büyük kolaylıklar sağlamaktadır (Bayartan, 2002). Ayrıca her yola ilişkin yol tipi, yol genişliği, trafik kapasitesi, yapım tarihi, son bakım tarihi, yol adı, yol kaplaması, vb. veriler, veri tabanı olarak veya nesnelere bağlı nitelik verisi olarak tutulabilir. Böylece mekana bağlı haritalar elde edildikten, bu veriler ışığında sorgulamalar yapılabilir. Örneğin, asfalt yollar, toprak yollar, belirli zaman diliminde yapılmış olan yollar, su anda bakım ihtiyacı olan yollar, trafik kapasitesi yoğun olan yollar, gibi sorgulamalar gerçekleştirilebilir.

Ulaşımında mobil CBS uygulama gerçekleştirilebilir. Böylece anlık veriler temin edilebilirken, mobil kullanım sayesinde toplanan verilerin sayısal ortama geçirilmesi hızlı ve güvenilir olmaktadır. Ayrıca yapılmış olan çalışmalar Internet ortamında yayınlanabilir ve herhangi bir değişiklik sonucu güncelleme gerektiğinde değişiklikler yapılarak bilginin güncel olması sağlanabilir. Bilgi teknolojisinin büyük hızla gelişmesi klasik sorunlara, klasik yöntemler dışında çözümlerin getirilmesi imkânını sağlamıştır.

Ulaşım hizmetlerini veren kurum içinde oluşturulacak bir CBS ile kuruma ait tüm grafik ve sözel bilgiler toplanarak, bu bilginin islenmesi ve islenen bilginin, kurum departmanlarında ihtiyaçlarına göre kullanılması sağlanabilecektir. Bu sayede kurum gerçek verilerle sefer planlarını yapabilecek ve geliştirebilecek, kaynaklarını daha hızlı büyümeyi yakalamak için sadece otobüs sayısını arttırmak yeterli olmayacaktır. Bunu sağlamak için sefer sayısının minimuma indirilmesi, yolcu yoğunluğunun eşit dağıtılması, günlük iş kontrolünün kolaylaştırılması, arızalanan ve kaza yapan araçlara hızlı müdahale edilmesi, toplu taşıma için en uygun hattın seçilmesi, olu kilometrelerin (sefer sonrası garaja dönüş mesafesi) azaltılması gibi çözümler gerekmektedir. Ayrıca yapılan yol analizleri o yerin demografik yapısı ve arazi kullanımı ile ilişkilendirilerek toplu taşıma durak yerlerinin saptanması gerekmektedir. Tüm bunların kontrolü, planlanması ve yönetilmesi oluşturulacak bir CBS ile mümkündür.

Güney Kaliforniya’da kamyon trafiğinin 2020 yılına kadar yüzde 40 artacağı tahmin edilmektedir. Los Angeles, kamyon kazalarına yüzde 28’ inin bu şehirde olması nedeniyle kamyon kazalarının en sık görüldüğü şehirdir. Ekonomik büyüme, eğer etkili ulaştırma güvenle, zamanında ve en az maliyetle sağlanırsa uzun süreli olabilir. Ticari malların taşınması için bir CBS tabanlı model işletimi, Güney Kaliforniya’ nın ulaştırma koridoru boyunca risk tahmininin yapılmasını sağlamak için gerçekleştirilmiştir. Bu model, risk analizinde önemli kriter olarak kaza verilerini, yıllık ortalama günlük trafiği ve kamyon trafiğini kullanır (Parentela ve Cheoma, 2001).

San Diego Şehir Planlama Bölümü, ESRI ArcInfo GIS ile entegre edilen trafik modeli prosedürlerini kullanarak gelecekteki yolları planlamaktadır. Ulaştırma planlamasında CBS uygulamalarını içeren ulaştırma planlaması çalışmalarında, trafik girdi ve çıktı modelinin saklama, görüntüleme ve analizi için CBS yöntemi kullanılmaktadır.

Santo Domingo nüfusu 2.1 milyon olan ve toplam 2712 km yol ağına sahip günlük ortalama 1.2 milyon insanın taşımacılık hizmetlerinden yararlandığı oldukça büyük bir şehirdir.

Şehirde taşımacılık hizmetlerinin yürütülmesi ve şehir içi yolların düzenlenmesi için ArcView yazılımında bir CBS uygulaması geliştirilmiştir. Veri tabanı olarak Oracle kullanılmaktadır.

Sistemde ilk olarak nüfus ve yerleşim bilgileri oluşturulmuştur. Daha sonra yol ağı hazırlanmış, trafik ışık ve işaretleri, otobüs durakları sisteme girilmiştir. Yollara ait hız Limitleri ve yoğunluk bilgileri tespit edilmiştir. Yol güvenliğinin arttırılması için kaza yerleri grafik olarak oluşturulmuştur. Sistemde otobüs hatlarının geçmesi gereken güzergahlar, durak yerleri, yenilenmesi ve ilave edilmesi gereken yollar, yol geçişleri, trafik işaret ve ışıkları ilgili analizler yapılabilmektedir (Gomez, 1998).

İstanbul ili için trafik kaza analizi çalışması yapılmaktadır. Böyle bir çalışma, farklı coğrafi bölgelerdeki trafik kazalarının, doğal çevre şartları (yağış, buzlanma, karlanma, vs.), yol şartları (eğim, yatay ve düşey kurplar, sürtünme) ve ulaşım altyapısıyla son derece ilişkili olmasından dolayı, bir coğrafi bilgi sisteminin kaza analizlerinde kullanılması gerekliliğinden doğmuştur. 18 İstanbul ili için yapılan bu çalışmada, kaza sayısı yüksek olan yerlerin tespiti yapılabilmektedir. Gerekli kaza verileri coğrafi konumları ile kodlandıktan sonra, kaza sayısı yüksek olan yerlerin tespit işlemi bir CBS programı ile sadece 10 saniye gibi bir surede gerçekleştirilebilir (Uran, 2004).

Dallas'da 1996 yılında Ulaştırma Mühendisleri Bölümünce başlatılan CBS çalışmasında amaç ulaşım ile ilgili grafik veri tabanının oluşturulmasıdır. Proje kapsamında CBS ihtiyaçları belirlenmiş ve CBS yazılımı olarak ArcView kullanılmasına karar verilmiştir. Sistem için Ulaştırma Mühendisleri Bolumu diğer kurumlarla birlikte ortak bir çalışma yürütmüştür. Sistemde ana caddeler, sokaklar, kavşak sinyalizasyonları, bisiklet yolları, otobüs yolları, yol engelleri, trafik işaretleri ve yerleşim bilgileri farklı katmanlar olarak oluşturulmuştur. Yollara ait hız limitleri, kaza bilgileri ve trafik yoğunluğu girilmiştir. Oluşturulan CBS ile yollara ait grafik analizler yapılabilmektedir ve şehrin ihtiyaçlarına göre gerekli değişiklikler, ilaveler ve çalışma planları hazırlanmaktadır. Yol güvenliğinin arttırılması için, oluşturulan bu sistemden yararlanılmaktadır (Anonim, 2006).

Kopenhag'da toplu taşımacılık faaliyetlerini yürüten şirket HT için ArcView yazılımı ile bir CBS uygulaması geliştirilmiştir. Sistem 1998 yılında kullanılmaya başlanmıştır. Veri tabanı olarak SDE kullanılmaktadır. Sistem içerisinde yol ağı, otobüs hatları, durakları ve eğitim, çalışma gibi şehrin arazi kullanım alanları oluşturulmuştur. Sistemde otobüs güzergâh analizleri, planlanması ve durak yerlerinin belirlenmesi işlemleri yapılabilmektedir (Thorsen

ve Rusmussen, 1999).

Abkowitz vd. (1989), o tarihlerde yeni gelişmekte olan CBS' lerini tanımlayarak, özellikle veri saklama ve kullanma özelliklerinin karayolu yönetiminde nasıl kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

Quiroga ve Bullock (1998) çalışmalarında, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve global konum belirleme sistemi (GPS) kullanılarak seyahat süresi çalışması yapmak için yeni bir metodoloji tanımlamışlardır. Çalışma, veri toplama, veri azaltma ve veri raporlama işlemi kadar CBS/GPS metodolojilerinin üstünlüklerini de gösteren bir veri çözümlemesi örneğidir.

Shaw ve Xin (2003), alan kullanımı ve ulaştırma etkileşiminin karmaşıklığını ve dinamik bir süreç olduğunu belirtmişlerdir. Çalışmalarında CBS tasarımının avantajlarını bir örnekle açıklamış ve alan kullanımı ile ulaştırma arasındaki etkileşimin CBS kullanımı ile nasıl arttığını göstermişlerdir.

Texas At Dallas Üniversitesinde 2005 yılında olarak Tope Bello tarafından hazırlanan '*A Stratified Traffic Accident Analysis*' konulu bilimsel çalışma okul çağındaki çocuklar için kazaların nerelerde yoğunlaştığının araştırmasını yapmıştır. Bu çalışmada kazaların konumlarına göre kodlaması yapılmış ve GPS ve Pictometreler kullanılarak okullar etrafındaki hız sınır bölgeleri tespit edilmiştir (Bello, 2006).

Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mimarlık Fakültesinden Darçin Akın ve Yasasin Eryılmaz' in 2001 yılında İstanbul için hazırladığı *Coğrafi Bilgi Sistemi Destekli Trafik Kaza Analizi* başlıklı çalışmalarında İstanbul'daki trafik kazalarının yoğunlaştığı noktalarda kaza nedenlerinin araştırmasını yapmıştır (Akın ve Eryılmaz, 2001).

Washington Eyaleti Polis Departmanı tarafından hazırlanan "The Washington Traffic Records Committee" başlıklı bilgilendirme sunusunda kayıt departmanının öncelikli amacının istenildiğinde daha güvenilir, ulaşımı kolay eyalet çapında bir veri tabanını oluşturulmak olduğu görülmüştür. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ve GPS'ler kullanılarak trafik kazalarının lokasyon kayıtlarının düzgün tutulması ve bu sistemleri kullanarak elektronik veri toplama ve depolama uygulamaları çalışmaları yapılmış ve eldeki verilerin tek bir formatta birleştirilerek kullanım kolaylığı sağlanmıştır (Washington State Patrol, 2006).

George Spencer'in (WSDOT Coğrafi Servisler Müdürü) 2003 yılında hazırladığı CBS Uygulamaları Notlarında Washington Ulaşım Departmanının birleşik verilerinin konu ve

konumsal özelliklerine göre analiz edilmesinde SQL Veritabanı formatı kullanılarak, ArcView GIS programının nasıl kullanılacağı anlatılmıştır (Spencer, 2006).

Ellen K.Cromley (Medical Geographer, University Of Connecticut) "GIS And Road Accidents İn CT" çalışmasında emniyet kemeri ve kask kullanımı gibi koruma sistemlerinin önemini kazaların medikal sonuçların değerlendirilerek öne çıkarmaya çalışmıştır. Bu çalışmada Coğrafi Bilgi Sistemleri sayesinde Kaza Sonuçları Veri Değerlendirme Sistemi kurularak Polis departmanı kaza raporları, hastane kayıtları Access veritabanı ve ArcView programının ortaklaşa kullanımıyla, kazaların medikal sonuçlarının koruma sistemlerinin eksik kullanımı ile ilişkilendirilmiştir (Cromley, 2005).

Dan Nual, "A Case Study Of Event-Responsive Route Guidancesystem Using TIE" isimli çalışmasında CBS kullanılarak oluşturulan Trafik Bilgi Sistemi ile anlık trafik verilerine ulaşarak durum bazlı sürüş yönlerinin kullanıcılara ulaştırılması ile ilgili çalışmalarından söz etmiştir (Nual, 2005).

Jaroslav HENRICH'in "ETSC-Best in Europe 2006 Esafety That Matters Brussels/ Collecting Road Safety Data in The Czech Republicpast- Present -Future" çalışmasında giderek artan trafik kazalarının önüne geçmek amacıyla kurulan yeni bir veritabanı sistemi kurulması gerektiği görülmüş ve trafikten toplanan çok çeşitli verilerin CBS ile analizi yapılarak artan trafik kazalarının nedenleri araştırılmış ve kazaların sayılarında azalma görülmüştür (Heinrich, 2005).

Bharat Salhotra "Transportation Modeling And GIS" sunumuyla CBS'nin değişik konumlardaki farklı verilerin entegrasyonu, alternatif rotaların değerlendirilmesi ve trafik akış şekillerinin gösterimdeki kullanım kolaylığından söz etmiştir. CBS sayesinde çeşitli durum senaryolarını da değerlendirilerek, tren yolu ağının kapasite ve performansını geliştirmeye yönelik yöntemler bulmada yardımcı olmuştur (Salhotra, 2005).

Ron Filian And Jeff Higelin'in 1993 yılında hazırladığı "Traffic Engineering in A Gis Environment" konulu çalışmasında trafik mühendisliğinde yol kavşakları, tren yolu makasları, köprü ayakları, drenaj noktalarının piksel; trafik işaretleri, telefon kulübelere vb. yerlerin sub-piksel olarak CBS gösterildiği, bu farklılıklar sayesinde GPS'lerle toplanan verilerin ve özelliklerin bir arada gösteriminde kolaylık sağlanacağı anlatılmıştır (Filian ve Higelin 2005).

Dünya Bankasının Nisan 2004 tarihinde "Road Safety Review With PDA/GPS And Recommendation For Pilot Project in Republic of Serbia" projesiyle Sırbistan'ın yol

güvenliğinin sağlanmasında CBS'nin ve GPS'lerin kullanımı anlatılmıştır. Çalışmada yolların dijital haritalarının çıkartılmasında kullanımı anlatılmıştır. Çalışmada yolların dijital haritalarının çıkartılmasında GPS'ler ve MapInfo kullanılmıştır. Sırbistan Ulaşım Rehabilitasyon Projesinde verilerin toplanmasında, kaza kayıtlarının tutulmasında, ihtiyaca göre tablo ve haritaların oluşturulmasında CBS'nin çok fayda sağladığı görülmüştür (World Bank, 2005).

Chengri Ding, (Ph.D. Assistant Professor Department Of Urban Studies Maxine Goodman Levin College Of Urban Affairs Cleveland State University), "The GIS-Based Human Interactive TAZ Design Algorithm: Examining The Impacts Of Data Aggregation On Transportation Planning Analysis" çalışmasında Trafik Analiz Bölgelerinin (TAZ) geleneksel ulaşım planlama analizlerine kılavuzluk ettiğinden bahsetmiştir. Bu bildiri ile konumsal veri yığınının alternatif TAZ bölgelerine etkileri araştırılmıştır. CBS ile ulaşım ve kullanım alanlarını ilişkilendirirken, bir yandan da interaktif kullanıcılarla şekillenen TAZ bölgelerinin yine CBS ile mümkün olan örneklemeleriyle değerlendirilmesi yapılmıştır. Sonuçta bu bölgelerin sayısının az olması durumunda konumsal verilerin çok olmasının ulaşım planlamasını olumsuz etkilediği gözlemlenmiştir (Ding, 2005).

Bob Griffiths, Martha Kile, Charlene Howard'm Ulaşım Planlama Departmanında, 5 Kasım 2004 tarihinde "Regional Transportation Data Clearinghouse Update" konusunda yaptıkları çalışmada Nüfus yoğunluğu ve trafik hacmi verilerini ArcView 3.2' de kullanarak, planladıkları ulaşım şebekesinde çeşitli kriterlere göre yaptıkları sorgulamaları izlenmiştir (Griffiths, 2005).

Serdal Terzi (Süleyman Demirel Üni. Yapı Eğitimi Böl.) ve Mustafa Kardeşahin (Süleyman Demirel Üni İnşaat Müh. Böl.) "*Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Isparta-Antalya-Burdur Karayolunun Kara Nokta Analizi*" başlıklı çalışmalarında trafik kazaları ve bunların meydana geldiği yerler için kaza kara noktaları tespit edilmiş ve elde edilen veriler CBS ortamında sürekli güncellenerek, sürücülerin kaza kara noktalarını tanıyarak önlem alması için uyarılmıştır (Terzi, 2005).

David Blackstone (Ohio Ulaşım Departmanı, CBS Müdürü) ve Bruce Aquila (Sayısallaştırma ve CBS Çözümleri Danışmanı)'nın 2003 yılındaki "State-Wide LRS/GIS Base Map" çalışmaları gösteren sunumda, GeoMedia kullanarak eyalet çapında harita sayısallaştırılması, yolların, köprülerin, kavşak noktalarının vb. harita üzerinde gösterilerek acil durum senaryo çalışmalarında kolaylık sağlaması sağlanmıştır (Blackstone, 2005).

Kerala'daki Yol Güvenlik Programı dahilinde "Kerala State Transport Project" projesinde Kerala'da giderek artan trafik kazaları sonucu başlatılan yok güvenlik programı dahilinde Polis Merkezlerinden alınan verilerin de ışığında CBS bazlı kaza kayıt ve analiz sistemi kurulduğu görülmüştür (Kerala State Transport Project, 2005).

Gualtieri G. And Tartaglia, M. Applied Meteorology Foundation, C/O Department of Electronic Engineering, University of Firenze, Italy *"Predicting Urban Traffic Air Pollution: A Gis Frametvork"* Bu bildiride yerleşim bölgelerindeki trafik yoğunluğunun hava kirliliği üzerindeki etkileri bölgenin geometrik ve morfolojik özellikleri de göz önünde bulundurularak değerlendirilmiştir. CBS uzaysal verileri kullanarak yerleşim bölgesinin yapısını, yol şebekesinin dağılımını ve kirleticilerin atmosfere dağılımı karşılaştırarak analiz edilmesini sağlamıştır (Gualtieri ve Tartaglia, 2005).

Jianjun Zhang, John Hodgson, Erhan Erkut'un 2004 yılında (Yeryüzü ve Atmosferik Bilimler Bölümü, Alberta Üniversitesi Edmonton, Kanada), "Using GIS To Assess The Risks Of Hazardous Materials Transport in Network" adında yaptıkları çalışmada tehlikeli madde taşıyan araçların rotalarının belirlenmesinde CBS'nin herhangi bir acil durumda nüfus dağılımına göre risk analizi yapabilmede kullanmışlardır. CBS ile eklenen her koşula birlikte çok fazla sayıda analiz yapılabildiğinden risk yönetimi ve rotaların belirlenmesinde çok fayda sağlamıştır (Zhang, 2005).

G. Arampatzis vd.2002 yılındaki (Atina Ulusal Teknik Üniversitesi, Kimya Mühendisliği Bölümü) "A GIS-Based Decision Support System Eor Planning Urban Transportation Policies" çalışmalarında Coğrafi Bilgi Sistemi bazlı karar destek sistemi ile halihazırda bulunan ulaşım politikalarının analiz ve değerlendirmesine yardımcı olmuştur. Çevresel faktörler, trafik ve enerji tüketimi açısından karşılaştırılacak çeşitli politikalar CBS ile analizleri yapılmıştır. CBS ile değişken uzaysal verilerin güncellenmesi, işlenmesi ve görsel açıdan kullanıcı ve otoritelere gösterimi kolayca mümkün olmuştur (Arampatzis, 2005).

Xinhao Wang'ın 2004 yılında yaptığı (Cincinnati Üniversitesi, Planlama Bölümü) "Integrating GIS, Simulation Models, And Visualization in Tra.C Bölümü) "Integrating GIS, Simulation Models, And Visualization in Tra.C Impact Analysis" çalışmada CBS'nin, örnekleme modellerinin ve 3D (üç boyutlu) gösteriminin nadir olarak başarıldığı projelerden birisi olan trafik etkileri analiz sisteminin aşamalarından bahsedilmiştir. Trafik ve araç hızlan hacim/kapasite oranlama modellemesi ile tahmin edilmiştir. CBS'nin projeye katkısı eldeki verilerin konumsal olarak birbirleriyle ilişkilerini sorgulamak şeklinde olmuştur. ArcView kullanılarak bu

sorgulamanın kullanıcılara tablo ve metinlerden öte bir şekilde sunumunu da mümkün kılmıştır (Wang, 2005).

Gilpin R. Robinson Jr., Katherine E. Kapo,'nun 2004 yılında yaptıkları (954 National Center, US Geological Survey, Reston, USA), "A GIS Analysis Of Suitability For Construction Aggregate Recycling Sites Using Regional Transportation Network And Population Density Features" adlı çalışmada CBS teknolojisi kullanılarak yol yapımında kullanılan moloz ve mıcırın doğal ve yapay depolama sahaları, bunların taşınabileceği rotaların belirlenmesinin konumsal ilişkilerle düzenlenmesi araştırılmıştır. CBS sağladığı kolaylıkla herhangi bir yerdeki ihtiyacın karşılanması için önceden sisteme girilen kriterlere göre (fiyat, miktar vb.) en uygun saha ve rotayı belirlemek ve aynı anda da harita üzerinde de görebilmek mümkün olmuştur (Gilpin, 2005).

Jennifer M. Armstrong, vd. yaptıkları (Ottawa, Ontario, Canada) "Modelling Urban Transportation Emissions: Role Of GIS" yerleşim bölgelerindeki egzoz emisyonlarının azaltılması çalışmasında CBS'lerin güvenilir veri toplama ve analiz edebilme özellikleri kullanılmıştır. Ulaşım için düzenlenen CBS'lerin yazılım, donanım, kullanıcı, organizasyonlardan oluştuklarından veri toplama, depolama, sorgulama ve gereken koşullara göre sonuç bildirme özellikleriyle güvenilir sistemler olduğu savunulmuştur (Armstrong, 2005).

Dr. Yichun Xie tarafından 2000 yılında yönetilen (Director, Center For Environmental Information Technology Applications (CEITA) At Eastern Michigan University), "G/S and Transportation Case Study" başlıklı çalışmada ulaşım alternatiflerinin network analizi, en kısa yol analizi gibi analizler özellikle okulların yoğun olduğu bölgelerdeki sorunları gidermek amacı ile yapılmıştır (Xie, 2005).

Bili Schuman, (Iowa Ulaşım Departmanı CBS Koordinatörü)'nün "Iowa's Statewide Road Centerline Cooperative Program" projesiyle Iowa eyaletindeki yolların doğrusal verilerle sayısallaştırılmasının yapıldığı bu işlemlerin GPS'ler ve hava fotoğrafları kullanılarak yapıldığı anlatılmıştır (Schuman, 2005).

Karen Harner 2003 yılında "Analysis of Impact of Road Signs on Traffic Accidents in Fairfax County, Virginia" adlı çalışmasında Virginia'da ki yol işaretlerinin trafik kazalarına etkilerini araştırmıştır. Bu çalışmada metodolojidoğrultusunda işaretin simgesi ve işaretin mesajı göz önünde bulundurulacak şekilde iki farklı CBS çerçevesinde uygulamalar yapılmıştır. ArcMap

Programında yollar, kaza noktaları ve işaret çeşitleri katmanları eklenerek, CBS ile çok çeşitli analizler yapabilmek mümkün olmuştur (Harner, 2006).

Barry S töre y "Road Traffic Accidents Data Management and Analysis" araştırması ile trafik kazaları bilgi sistemini oluşturup analizler yapmıştır. Kazalarla ilgili veri tabanı, kazanın nedeni, kazanın yeri, araç, sürücü ve kazazede bilgilerinin toplanmasıyla Access veritabanı ve MapInfo CBS arayüzü kullanılmasıyla oluşturulmuştur. Dijital haritalar kullanılarak kazaların konum bilgileri CBS'ne girildikten sonra tek bir kazaya ya da o bölgede gerçekleşmiş kazalarının ortak nedenlerinin araştırılması kolay hale gelmiştir (Storey, 2006).

Bo Huang, Ruey Long Cheu and Wilson Liew (Singapur Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü) yaptıkları "Incorporating Security in HAZMAT Route Planning using CBS and AHP" konusundaki analizlerinde tehlikeli madde taşıyan araçlar için rota planlama ve şebeke analizi yapılmıştır. Belli bir sayıda rota ve alternatiflerin (acil durumlar, patlama riski, sosyoekonomik etkiler vb.) hayati önem taşıdığı böylesi bir durumda riski azaltmak için CBS'ne önceden planlanan senaryo durumları girilerek olası bir acil durumda takip edilmesi gereken rotalar kolayca kullanıcıya ulaşabilir duruma gelmiştir (Huang, 2006).

Kentucky Otoyol Bilgi Sistemi "Small Urban Area Transportation Study Scope Of Work" adı altında, bir yerleşim bölgesindeki ulaşım çalışmalarıdır. Teknik analizlerinin sağlam olabilmesi için toplanan verilerin de güvenilir ve veri analizlerinin çeşitli ve anlaşılır olması esas olacağından bu projede CBS yararlanılmıştır. Sosyoekonomik veriler, yolun özellikleri, trafik yoğunluğu, kazalar vb veriler kullanılarak CBS ile trafiğin modellenmesi, trafik işaretlerinin yer alacağı konumların belirlenmesi, yoğunluğa göre trafiğin analiz bölgelerine ayrılması gibi sonuçlar elde edilmiştir (Kentucky Highvay Information System, 2006).

K.S. Ang, and H.C. Ling'in "Identification Of Road Traffic Hazardous Location Using Geographical Information System" adlı çalışmalarında Malezya'da ki trafik kazalarının incelenmesinde trafik mühendislerinin kullandığı geleneksel yöntemler yerine yüksek trafik kaza riski taşıyan yerlerin CBS kullanılarak belirlenmesinin daha az zaman alan ve çok daha güvenilir olduğundan bahsedilmiştir. Kullanıcı, kaza ile ilgili teknik verileri hem de olay mahalinin ve kazazedelerin de özelliklerini CBS'ne girebileceği için aynı yerde olabilecek olası kazaların önlenilme ihtimali artmakta ve istenen kritere göre analizler yapabilmeyi mümkün kılabilir (Ang ve Ling, 2006).

Reg Souleyrette tarafından yönetilen ve Iowa ulaşım dairesi tarafından desteklenen "*GIS-Traffic Planning ToolsProject Report*" başlıklı proje raporunda trafik kazaları, ulaşım modeline yönelik bir araştırma yapılmıştır, yapılan araştırma ile amaçlanan seyahat talebini lokasyona göre tespit edebilmektir (Souleyrette, 2006).

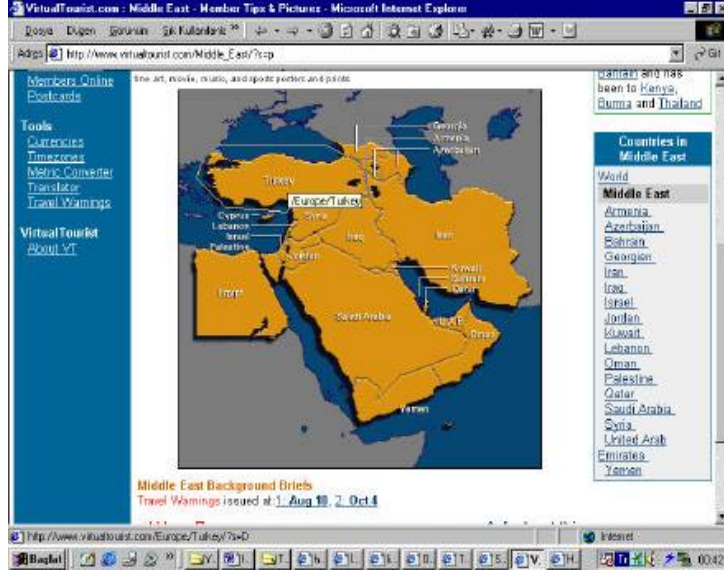
9.12 İnternet Ortamında Coğrafi Bilgi Sistemleri

Günümüzde, veriyi organize eden CBS ile veri paylaşım platformu olarak öne çıkan internet artık birlikte anılmaya başlanmıştır. Nitekim bu gün bir çok firma, bu global ağ üzerinde coğrafi bilgiyi paylaşmak için yeni sistemler üzerinde çalışmaktadır. Özellikle gelişmiş ülkelerde bölge özellikleri, kaynaklar, ulaşım, ekonomik ve kültürel dağılım, uydu bağlantılı olarak gerçek-zamanlı deprem ve hava verilerine erişim gibi bilgiler detaylı veri tabanları ile kullanıcılara açılmaktadır. Örneğin, bir kent plancısı, bir proje geliştirecekse bilgilere internet ile erişebilmekte veya yapılmış örneklerle ulaşabilmektedir.

Buradan hareketle, internet üzerindeki CBS uygulamalarını içeren ve veri paylaşımını sağlayan web sitelerini genel olarak şu şekilde gruplayabiliriz (Karaş, 2001).

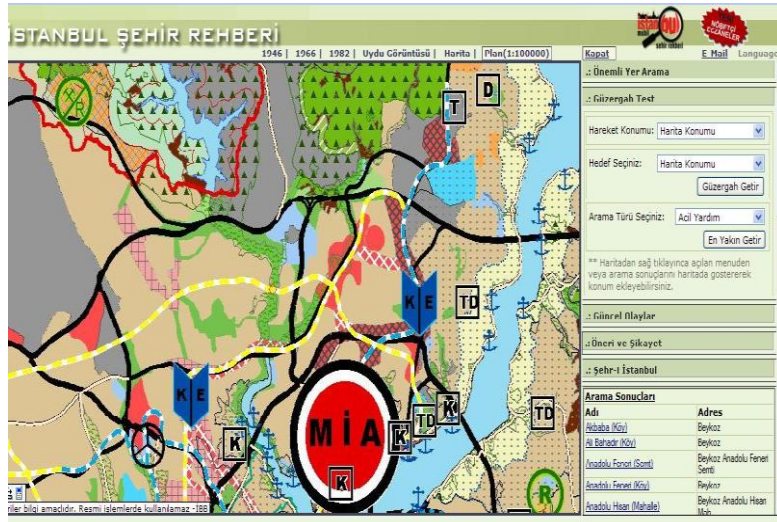
Veri Sağlayıcılar: CBS'lerin en önemli aşamalarından olan verinin elde edilmesine yönelik hizmet vermek üzere hazırlanmış sitelerdir. Bu sitelerde hazır olarak sunulan veriler kullanıcı tarafından kendi sistemine transfer edilebilir. Daha önceden sayısallaştırılmış ve kullanıma hazır hale getirilmiş verilerin paylaşımı, ihtiyaç duyanlara ulaştırılması ve böylece mükerrer veri üretiminin önüne geçilerek, tasarruf sağlanması anlayışı ile oluşturulmuşlardır. Bu servislere olan talep, coğrafi veriye ihtiyaç duyan teknik bir kullanıcı kesimi ile sınırlıdır.

Durağan Haritalar: Sadece html dili kullanılarak tasarlanan ve web deki diğer dokümanlar gibi birbirine bağlı olarak çalışan sayfalarlardır. Söz konusu sitelerdeki haritaların görüntüleme, inceleme ve sorgulama açısından çok verimli olduğu söylenemez. Resim formatında hazırlanan haritaların belirli bölgelerine tıklandığında, hyper text yolu ile, daha büyük ölçekte yada farklı özellikteki, yine resim formatındaki bir başka harita görüntülenir. Turistik amaçlı bilgilendirme için hazırlanmış olan "Virtual Tourist" sitesi bu gruba örnek olarak verilebilir (<http://www.vtourist.com>). Bir başka örnek ise <http://www.mapquest.com> sitesidir.

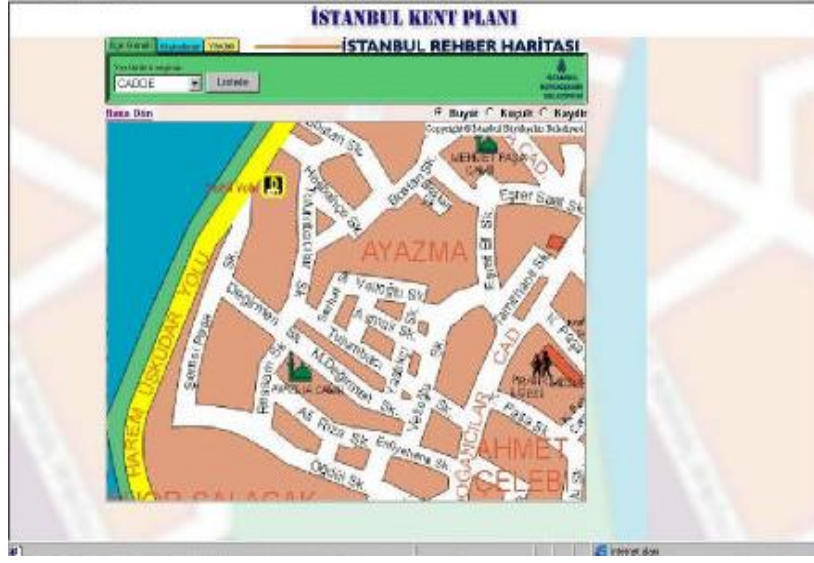


Şekil 9.5. Virtual Tourist (www.vtourist.com)

Dinamik Harita Tarayıcıları: Bu siteler etkileşimli olarak haritaları görme, büyütme/küçültme (zoom) ve kaydırma yaparak harita üzerinde gezinme (pan) imkanını sağlar. Bu tip sitelerin hazırlanmasında html dili yeterli olmaz. Söz konusu işlemleri yapabilmesi için Script, ASP gibi dillerle desteklenmelidirler. Dinamik harita tarayıcıları için ülkemizden tipik bir örnek, İstanbul Büyükşehir Belediyesi'nce sunulan Kent Planı'dır (<http://212.174.15.14>). Tüm sokakların sorgulanabildiği sitede, yukarıdaki özellikler kullanılarak haritalar incelenebilmektedir.



Şekil 9.6. İstanbul Şehir Rehberi



Şekil 9.7. İstanbul Kent Planı

İnternet Harita Sunucuları (IHS): Dinamik harita tarayıcılara benzemekle birlikte çok daha geniş, CBS sorgu ve analiz olanaklarına kıyasla da oldukça sınırlı özellikler sunarlar. Harita üzerinde dolaşmak, istenen ölçekte büyütme/küçültme yapmak ve detaylar hakkında daha ayrıntılı bilgi almak mümkündür. IHS'ler her bir elemana ait özellikleri sorgulamak, iki nokta arasındaki mesafeyi bulmak, tabaka açıp kapamak ve farklı tabakaları birlikte görmek gibi imkânlar da sunarlar. Sorgulamada en yaygın kullanılan tekniklerden biri "adres eşleştirme (address matching)", yani verilen bir adresin harita üzerinde konumlandırılmasıdır. İnternet harita sunucuları, genelde İnternet tarayıcılarına (webbrowser) destek veren ilave yazılımlarla (plug-in) birlikte kullanılmaktadır. Kullanıcı internet üzerinden etkileşimli olarak haritaları incelerken, bilgisayarında bu yazılım çalışmalıdır. Çünkü söz konusu haritalar http tarafından tanınmayan dokümanlardır. Bunlar birer resim değil, ilgili yazılımlara ait özel dosyalardır. İşte bu yüzden, büyük CBS yazılım firmaları bu amaca yönelik yazılımlar geliştirmiş, son yıllarda IHS'ler yaygınlaşmıştır.

ESRI, Arc/Info, ArcView ve MapObjects için "İnternet Map Server (ArcIMS)" yazılımını piyasaya sürmüştür. ArcIMS harita sunuculu site örneklerine, ESRI sitesinden ulaşmak mümkündür (<http://www.esri.com>). ESRI'nin ülkemizdeki temsilci firmalardan biri olan İşlem Şirketi de sitesinde (www.islem.com.tr) ArcIMS uygulamalarından örnekler sergilemektedir.

Intergraph Co. Firmasının yazılımı olan, "GeoMedia Web Map" tarafından hazırlanan etkileşimli internet haritalarını görebilmek için, "GeoMedia Viewer" yazılımının bilgisayarda

kurulu olması gerekmektedir. Söz konusu yazılım ve internet harita örnekleri www.intergraph.com/gis/gmvm/ adresinde sunulmaktadır (Karaş, 2001).

9.12.1. Projede Web Ara Yüzünün Oluşturulmasında Kullanılan Aracı Yazılımlar

Bir Coğrafi Bilgi Sisteminin kurulmasında en önemli adımlardan birisi, kullanılacak olan CBS yazılım paketinin seçimidir. CBS yazılım paketi, CBS yazılım bileşenlerinden birisi olup ticari olarak temin edilebilmektedir. Temin edilecek CBS yazılım paketinin seçiminde donanımdan bağımsızlık, güçlü eğitim desteği, güçlü bakım desteği, terfi sürekliliği, güçlü referanslar gibi genel özellikler ile veri girişi, veri işleme, veri analizi, veri sunuşu, kullanıcı arayüzü oluşturma ve uygulama geliştirme gibi temel özelliklere dikkat edilmelidir. Geniş kapsamlı projelerde, seçimi yapılan bir CBS yazılım paketinden çok sayıda almak yerine önce deneme amaçlı (ücretsiz) bir adet temin edilmeli, pilot proje sonrası çıkacak sonuçlara göre aynı yazılımdan gereken miktarda alınmalı ya da projenin başında başka bir yazılıma geçilmelidir. Ayrıca, kullanım amacına göre CBS yazılım paketinin gereksinim duyulan modülleri alınarak en fazla yarar/maliyet sağlanmalıdır (Taştan ve Bank, 1996).

Günümüzde CBS yazılımı olarak; AutoDesk Ürünleri (Auto CAD, vd.), Bentley Ürünleri (MicroStation CAD vd.), ERDAS Ürünleri (IMAGINE, vd.), ESRI ürünleri (ArcGIS, ArcInfo, ArcView, vd.), Intergraph ürünleri (MGE, Geomedia, vd.), KartoCAD, MapInfo, NetCAD, Smallworld, TNT Mips gibi yazılımlar kullanılmaktadır. Veri Tabanı Yönetim Sistemi kullanımında ise; Oracle, SQL Server, Informix ve MS Access öne çıkan isimlerdir.

Bu proje kapsamında web ara yüzünün oluşturulmasında Intergraph Co. Firmasının üretmiş olduğu Geomedia Professional ve Geomedia Web Map Professional CBS yazılımları kullanılmıştır.

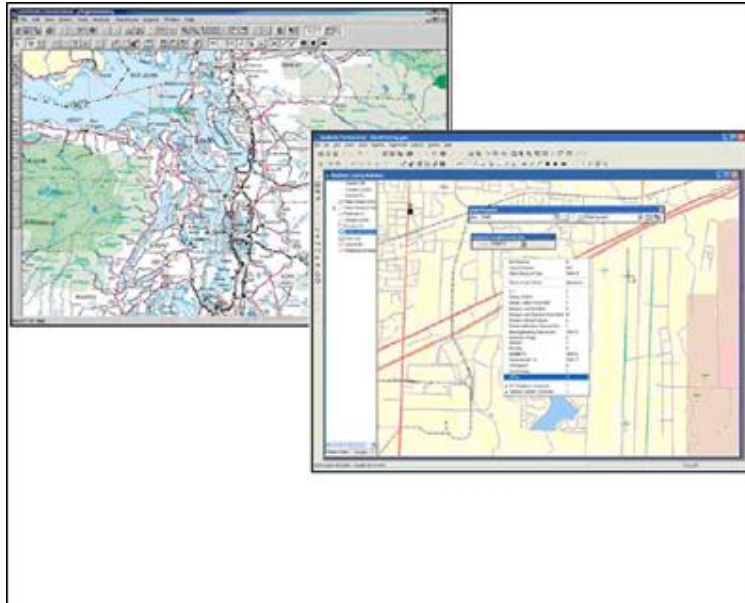
9.12.1.1. Geomedia Professional

Geomedia harita ve mekânsal veriyi görüntülemek ve analiz etmek için kullanılan masaüstü uygulamasıdır. Geomedia Professional CBS yazılımının genel yapısı, sahip olduğu özellikler ve üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir;

- Güvenilir veri entegrasyonu desteği ile Geomedia; farklı veri tabanlarındaki verileri tek bir GIS ortamında görüntüleme, analiz ve sunum için bir araya getirmektedir. Hiç bir dönüştürmeye ihtiyaç duymamaktadır.
- Geomedia veri sunucu teknolojisi açık standartları desteklemekte ve bütün başlıca GIS/CAD veri formatlarına doğrudan erişim sağlayabilmektedir. Bunların arasında:

MGE, Microstation, AutoCAD, ArcView, ArcInfo, MapInfo, Framme, Oracle10g, Microsoft SQL Server, Microsoft Access, ve IBM DB2 bulunmaktadır.

- Birçok uygulama için harita sunumu temel amaçtır. Geomedia Layout kompozisyon araçları, ihtiyaçlara göre harita oluşturabilme esnekliği sunmaktadır.
- Geomedia; öznetelik sorgusu, mekânsal sorgu, tampon bölge, mekânsal çakıştırma gibi güçlü analiz araçları içermektedir.
- Veride herhangi bir düzenleme yaptığınızda da sonuçları otomatik olarak güncellemektedir.
- Kolay kullanımlı standart araçları ile hızlı bir şekilde estetik haritalar oluşturulması mümkündür.
- Güçlü harita görüntüleme ortamı ile yüksek kalitede kartografik çıktı oluşturulmasına imkân vermektedir.
- Geomedia'nın kapsamlı nesne modeli Microsoft Visual Basic, Microsoft Visual C++, PowerBuilder ve Delphi gibi endüstri standardı programlama dilleriyle düzenleme için erişilebilir konumdadır.
- Geomedia; kullanım kolaylığı sağlamakta, Ara yüzü, standart Windows uygulaması görünümü ve hissi vermektedir. Word ve Excel gibi uygulamalara aşina olanlar çabucak programın kullanımına alışabilmektedir.
- Mekânsal veri yakalama ve bakım iş akışlarında üretkenliği artırmak için dizayn edilmiş araçlar sunmaktadır.



Şekil 9.8. Geomedia Professional CBS yazılımı Ekran Görüntüsü

- Akıllı yakalama özelliği ile sayısallaştırma işlemlerinin hız kazanmasını ve güvenilirliğini sağlamaktadır.
- Entegre raster/vektör yakalama özelliği sunmaktadır.
- Otomatik detay ilişki yönetimi ile bağlanabilirlik problemlerini azaltmaktadır.
- Otomatik ve interaktif hata doğrulama ve düzeltme özelliği ile verileri temiz tutmaktadır.
- Birçok veri tabanı ile veri yazılabilmektedir.
- Kurum kütüphanelerinin yönetici ayarları ile mekânsal verinin erişilebilirliğini artırır.
- Dönüştürme gerektirmeden direk veri tabanından verileri kullanıcıya gösterebilmektedir.
- Kompleks mekânsal soruları cevaplandırmak için bir analiz modeli içinde birçok operasyon kombine edebilmektedir.
- Analiz sonuçlarının hızlı bir biçimde görüntülenmesini sağlamaktadır.

9.12.1.2. Geomedia Web Map Professional

Geomedia WebMap, Intergraph'ın web tabanlı harita görüntüleme ve analiz ürünüdür. Web servisler, interaktif web siteleri ve mekânsal web uygulamaları gerçekleştirir. Bilgi alış-verişinde esnek bir sisteme olanak sunar. Web programlamaya gerek kalmaksızın dinamik, ölçeklenebilir açık web servisler ve web siteleri hazırlanabilir. Geomedia Web MapProfessional CBS yazılımının genel yapısı, sahip olduğu özellikler ve üstünlükleri şu şekilde sıralanabilir;

1. Kaliteli Görüntü Üretme

- Raster(resim) veya vektör formatlarında haritalar üretir.
- Haritalar SVG kullanarak web ortamında taşınır.
- Veritabanı sorgulanır ve bilgiler ayrıntılı şekilde haritada gösterilir.
- Haritanın bir alanına tıklanarak, tıklananla ilgili veriler görüntülenir.
- Basit ara yüzlerle fazla miktarda veri taşınır.
- Tematik haritalar üretilir.
- Bir diğeriyle çakışmayacak hazır etiketler üretir.
-

2. Güçlü Analiz Bileşenleri

- Web üzerinden mekânsal analiz yapma
- Mekânsal sorguları gerçekleştirir.

- Tampon bölge oluşturur.
- Veritabanı özelliklerine dayalı doğrusal ağ yapısında dinamik segmentler oluşturur.

3. Haritalar ve Mekânsal Veriye Doğrudan, Anında, Birlikte-Kullanılabilir Erişim

- Geomedia tarafından desteklenen tüm veri formatlarına ulaşabilir. Geomedia tarafından desteklenen tüm veri havuzlarına bağlanabilir.
- Birden fazla formatta veriyi tek bir veri havuzunda toplar, tek bir web browserda (Örneğin Microsoft® Internet Explorer)gösterir.

4. Ölçeklenebilir Web Mimarisi

- Bütün istemci web uygulamalarına hizmet sunacak performans sağlar.
- Kullanıcı sayısı artsa da kullanıcıların web uygulamasına erişimini garanti eder.

5. Web Uygulamaları Bileşenleri

Geomedia WebMap Professional, web uygulamalarını gerçekleştirmek ve güçlendirmek için çeşitli bileşenler sunar:

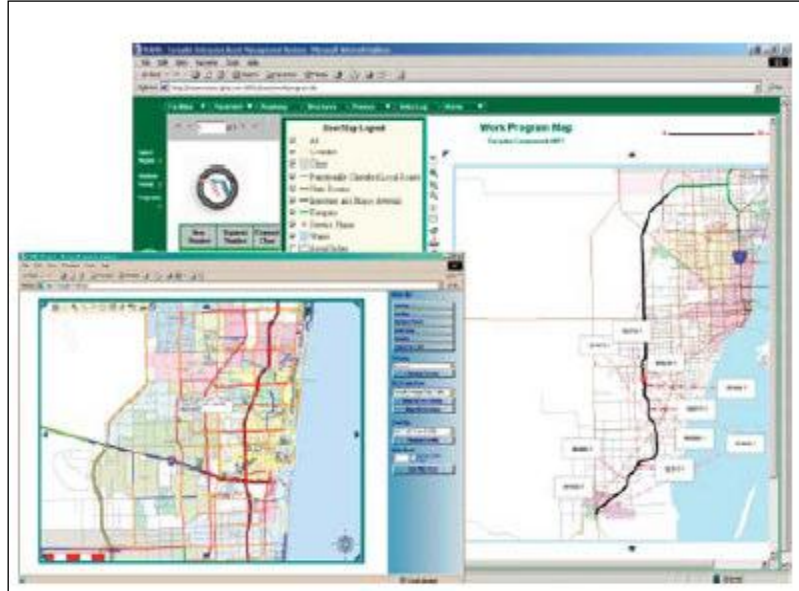
- Geomedia WebMap Administrator. Web server üzerinde, WebMap ile ilgili değişiklikleri yapmak için kullanılmaktadır.
- Geomedia harita ve mekânsal veriyi görüntülemek ve analiz etmek için kullanılan masaüstü uygulamasıdır.
- Geomedia SMMS. FGDC meta data üretme ve düzeltme işlemleri için kullanılan bileşendir.
- GeoConnect. Web üzerinden FGDC meta datayı sunmak için kullanılmaktadır.

6. Geomedia Web Map Publisher: Geomedia Web Map Publisher Harita ve mekansal web sitesi veya web servis oluşturmak için kullanılan grafik ara yüzlü bileşendir.

- Tek satır kod yazmadan harita ve mekânsal verileri sunabileceğiniz hazır web sitesi veya web servis oluşturur.
- Başlangıç olarak Web sitesini veya web servisi kullanıcı tarafından Geomedia WebMap Publisher Configuration Utility ile yapılandırılmaktadır.
- Goemedia WebMap Pusblisher Administrator ile web site ve web servislerin içeriği tanımlanmaktadır.

7. Web Servisler

- Kolayca endüstriyel standartlarda web servis üretme ve yapılandırma
- Geomedia WebMap'ın OGC ve W3C'nin standartlarında endüstriyel tanımlı web servislerini kullanma



Şekil 9.9.Geomedia Web Servis Ekran Görüntüsü

8. Sağlanan Web Servisler

- Harita üretme – Bir veya daha fazla veri kaynağından harita üretme.
- Haritanın özelliklerini değiştirme – Bir ya da daha fazla basit özellikleri alma veya değiştirme
- Katalog – Data set veya web servis için katalog arama
- Coğrafi Kodlama – Verilen adrese ait koordinatları
- Tersine Coğrafi Kodlama – Verilen koordinatlara ait adresi bulma
- Yol üretme - Verilen adresler arasında en uygun ulaşım yolunu bulma

9. Teknik Bilgiler

- Gelişmiş sembololoji biçimleri
- Harita elemanlarına interaktif bilgi ipucu sunum araçları (tool tips-hot spots)
- Tematik haritalar
- Yarı saydamlık
- Harita çıktı formatları:
- SVG (Ücretsiz Adobe SVGViewer ile web browserda gösterilir)

- ActiveGCM vektör formatı (web browserlarda ActiveX veya JavaApplet kullanarak gösterilir)
- JPEG resim formatı, PNG resim formatı
- Dinamik etiket üretme, Verinin Birlikte-Kullanılabilirliği
- Mekânsal Filtreleme
- Oracle® Spatial, Microsoft® SQL Server, Microsoft Access
- ArcView, ArcInfo, MapInfo
- Microstation, AutoCAD
- MGE, Framme, G/Technology
- Text File, ODBC source
- OGC WMS, WFS, GML
- Bitmap, JPEG, TIFF, GeoTIFF, ECW
- Çıktı olarak AutoCAD, Microstation, Arcview, Mapinfo, Microsoft SQL Server verisi üretme

10. Analiz

- Öznitelik Sorgusu
- Mekânsal Sorgu
- Tampon Bölge
- Mekânsal Farklılık
- Mekânsal Kesişim
- Analitik Birleştirme
- Birleştirme
- Fonksiyonel özellikler
- Bağlama
- Coğrafi Koordinat kodlaması
- Coğrafi Adres kodlaması
- Adres Bulma
- Uzunluk ve açı ölçme
- Dinamik segmentasyon
- Doğrusal Şebeke Yönlendirmesi

10. BULANIK MANTIK YÖNTEMİ

Her insan, günlük hayatında kesin olarak bilinmeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen, ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşabilir. Bu durumların sistematik bir şekilde önceden planlanarak sayısal öngörülerinin yapılması ancak bir takım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir (Şen, 2001).

Gerçek dünya karmaşıktır. Bu karmaşıklık genel olarak belirsizlik, kesin düşünceden yoksunluk ve karar verilemeyiştten kaynaklanır. Bilgisayarlar bu tür belirsizlikleri işleyemezler, çünkü bilgisayarların çalışması için sayısal bilgiler gereklidir. Bilgisayarlardan farklı olarak insanın yaklaşık düşünme, oldukça yetersiz, eksik ve belirsizlik içeren veri ve bilgi ile işlem yapabilme yeteneği vardır. Genel olarak, değişik biçimlerde ortaya çıkan karmaşıklık ve belirsizlik gibi tam ve kesin olmayan bilgi kaynaklarına bulanık (fuzzy) kaynaklar adı verilir. Zadeh (1968), gerçek dünya sorunları ne kadar yakından incelemeye alınırsa, çözümün daha da bulanık hale geleceğini ifade etmiştir (Şen, 2001).

1965’de L. A. Zadeh (Lütfi Askerzade), yeni bir matematiksel yöntemi açıklayan “Fuzzy Sets (Bulanık Kümeler)” adlı ünlü makalesini Information and Control isimli dergide yayınladı. Bu yöntem, “kısa adam”, “ güzel kadın” veya 1’den daha büyük gerçek sayılar” gibi belirsiz kümeleri veya şüpheli fikirleri elde etmeye ve tanımlamaya olanak sağlamıştır. O zamandan günümüze, bulanık kümeler kuramı hem Zadeh’in kendisi, hem de sayısız araştırmacı tarafından hızlı bir biçimde geliştirilmiştir. Aynı zamanda bu kuramın gerçek uygulamaları da başarılı bir biçimde gerçekleştirilmiştir. Bulanık kümeler kuramının ana fikri, tamamen sezgisel ve doğal olmasıdır (Sakawa, 1993).

Bulanık mantığın en geçerli olduğu iki durumdan ilki, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunmaması durumunda kişilerin görüş ve değer yargılarına yer vermesi, ikincisi ise insan muhakemesine, kavrayışlarına ve karar vermesine gereksinim gösteren hallerdir (Şen, 2001).

10.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri

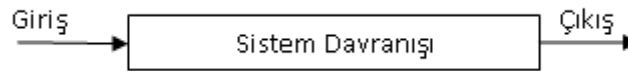
Aristo mantığına göre çalışan ve şimdiye kadar alışlagelen klasik küme kavramında, bir kümeye giren öğelerin oraya ait oluşları durumunda üyelik dereceleri 1’e, ait olmamaları durumunda ise 0’a aşıtlı var sayılmıştır. İkisi arasında hiçbir üyelik derecesi düşünülemez.

Halbuki bulanık kümeler kavramında 0 ile 1 arasında değişen, değişik üyelik derecelerinden söz etmek mümkündür. Bu şekilde tanımlanan üyelik derecelerinin her bir bulanık söz için üç temel özelliği sağlaması gerekir:

1. Bulanık küme normaldir, yani kümede bulunan elemanlardan en az bir tanesinin en büyük üyelik derecesi olan 1'e sahip bulunması gerekir.
2. Bulanık küme monotondur, yani üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeye yakın sağda ve soldaki öğelerin üyelik dereceleri de 1'e yakın olmalıdır.
3. Üyelik derecesi 1'e eşit olan öğeden sağa ve sola eşit mesafede hareket edildiği zaman bulunan öğelerin üyelik derecelerinin birbirine eşit olmasıdır ki, buna da bulanık kümenin simetrik özelliği adı verilir.

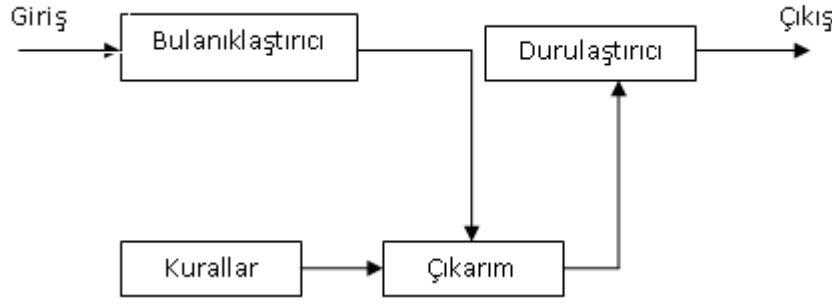
Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Yani bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlamasına gerek yoktur.

Genellikle bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 10.1'de görülen üç ayrı birimden ibarettir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa dönüştüren ve sistem davranışı olarak isimlendirilen bir kutu ve buradan çıkış kısımlarıdır. Bu birimlerin hepsinde sayısal veri çıkış veya işlemler yapılmaktadır (Şen, 2001).



Şekil 10.1. Klasik sistem

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 10.2'de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 10.2. Bulanık mantığın temel elemanları

Girdi değerleri çoğunlukla kesin değerlerdir. **Bulanıklaştırıcının** görevi, bulanık kümeler (burada girdiler bulanık üyelik fonksiyonları tarafından tanımlanan bulanık değişkenlerdir) içine kesin sayıları haritalamaktır. **Kurallar** “Eğer-İse” kurallarının oluşturduğu bulanık mantığı esas alır. Bir tipik “Eğer-İse” kuralı:

Eğer	Yolun kapasitesi	AZ
İse	Akan Taşıt Hızı	ÇOK tur.

Klasik uzman sistemlerde, kurallar insan deneyimlerinden çıkarılır. Bulanık kural-tabanlı sistemlerde, kural tabanı insan deneyimlerinin yardımıyla şekillendirilir. Bulanık kural tabanında kullanılan insan deneyimlerinden elde edilen sözel (linguistic) bilgi ve ölçümlerden elde edilen sayısal bilgi birleştirildiğinde ilginç bir durum ortaya çıkar. Bu durumda, kurallar ilk adımda sayısal verilerden çıkarılır. Sonraki adımda ise, bulanık kural tabanı insan deneyimlerinden elde edilen kurallar ile birleştirilebilir. Bulanık mantığın **Çıkarım** makinesi, bulanık kümeler içine haritalanır. **Durulaştırma** esnasında, çıktı değişkeni için bir değer seçilir. Literatürde bir çok farklı durulaştırma yöntemi mevcuttur. Seçilen sonuç değeri çoğunlukla ya en yüksek üyelik derecesine sahip değer ya da ağırlık merkezi değeridir (Teodorovic ve Vukadinovic, 1998).

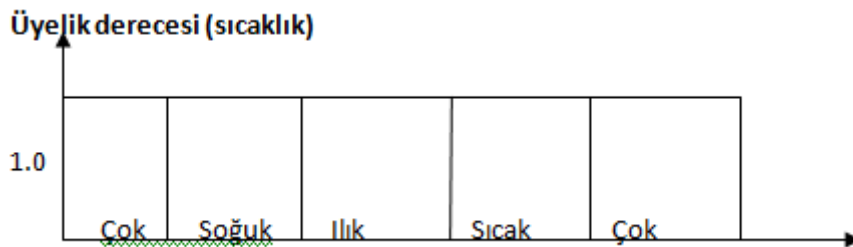
Burada bulunan birimlerin her birinin farklı, fakat birbiri ile ilişkili olabilen aşağıdaki görevleri vardır (Şen, 2001):

1. **Genel Bilgi Tabanı Birimi:** İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenleri ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya kısaca **giriş** adı da verilir. Genel veri tabanı denmesinin sebebi buradaki bilgilerin sayısal ve/veya sözel olabilmesidir.

2. **Bulanık Kural Tabanı Birimi:** Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal **EĞER-İSE** türünde yazılabilen kuralların tümünü içerir. Bu kuralların yazılmasında sadece girdi verileri ve çıktılar arasında olabilecek tüm aralık (bulanık küme) bağlantıları düşünülür. Böylece, her bir kural girdi uzayının bir parçasını, çıktı uzayına mantıksal olarak bağlar. İşte bu bağlamaların tümü kural tabanını oluşturur.
3. **Bulanık Çıkarım Motoru Birimi:** Bulanık kural tabanında giriş ve çıkış bulanık kümeleri arasında kurulmuş olan ilişkilerin hepsini bir araya toplayarak sistemin nasıl çıktı vereceğini belirleyen işlemler topluluğunu içeren bir mekanizmadır. Bu motor, her bir kuralın çıkarımlarını bir araya toplayarak tüm sistemin girdiler altında nasıl bir çıktı vereceğinin belirlenmesine yarar.
4. **Çıktı Birimi:** Bilgi ve bulanık kural tabanlarının, bulanık çıkarım motoru vasıtası ile etkileşimi sonunda elde edilen çıktı değeri topluluğunu belirtir.

10.2. Üyelik Fonksiyonları

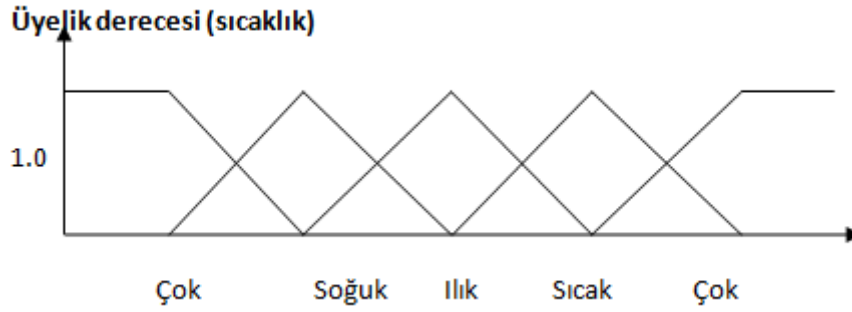
Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela, İstanbul’da sıcaklık derecesinin değişim aralığının yaklaşık olarak -5°C ’den $+35^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar olduğu söylenebilir. İşte bu aralık sıcaklık kümesinin İstanbul için öğelerinin bulunabileceği aralığı belirtir. Böylece tüm sıcaklık uzayı belirlenmiştir. Ancak günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülür. Mesela, ‘çok soğuk’, ‘soğuk’, ‘ılık’, ‘sıcak’, ‘aşırı sıcak’ gibi. Şekil 10.3’da görüldüğü gibi bu aralıklar için tahminlerde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şen, 2001).



Şekil 10.3. Bitişik dikdörtgen gösterim

Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre katı kararlar alınmalıdır. Örneğin 7.9°C 'nin soğuk, 8.1°C 'nin ise ılık olduğuna karar verilir. Bu şekilde gösterim bakımından önemli bir nokta, her alt aralığa düşen sıcaklık değerinin üyelik derecesinin, sadece o aralıkta 1'e, diğer aralıklarda ise 0'a eşit olduğudur. Bu nedenle, her sıcaklık alt kelimesinin üyelik fonksiyonu yüksekliği 1'e eşit olan bir dikdörtgen şeklindedir.

Aslında, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağını ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceği söylenirse, daha mantıklı olur. Çünkü ılık sınırının $+5$ ile $+15^{\circ}\text{C}$ 'de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağı düşünülemez. Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği Şekil 10.4'da gösterilmiştir. Bu fonksiyonların simetrik olması zorunlu değildir. Problemin özelliklerine göre simetrik olmayan üçgen, yamuk veya çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılabilir.



Şekil 10.4. Örtüşmeli üçgen gösterimi

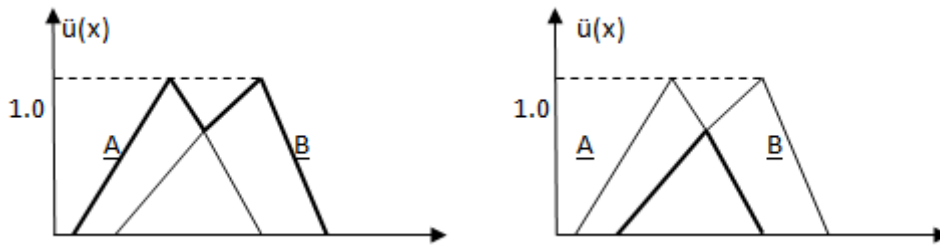
10.3. Bulanıklaştırma

Pratikte genel olarak, 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 olacak yerde, 0 ile 1 arasında değişik değerlere sahip olması düşünülür. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan yöntemlerin başlıcaları; a) sezgi, b) çıkarım, c) mertebe, d) açılı bulanık kümeler, e) yapay sinir ağları, f) genetik algoritmalar, g) çıkarımcı muhakemedir (Şen, 2001).

10.4. Durulaştırma

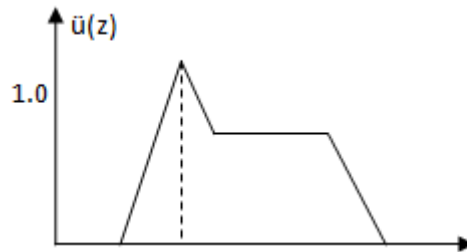
Pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gereksinim duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilmesi için bulanık bilgilerin durulaştırılması (defuzzification) gerekmektedir. Şekil 10.5’de iki farklı bulanık çıkarım görülmektedir. Gerçek bir uygulamada bunlara benzer veya daha farklı şekiller ortaya çıkabilir.

Durulaştırma işlemlerinde kullanılan yedi farklı yöntem vardır. Bunların hangisinin kullanılacağına, elindeki sorunun türüne göre araştırma ve tasarım yapanın karar vermesi gerekir. Burada z^* durulaştırılmış değeri gösterir (Şen, 2001).



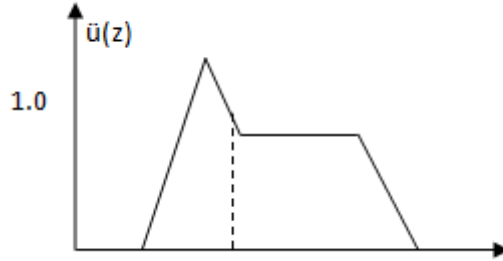
Şekil 10.5. İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi

1. En büyük üyelik ilkesi: Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 10.6, bu durulaştırma işlemini göstermektedir.



Şekil 10.6. En büyük üyelik derecesi durulaştırması

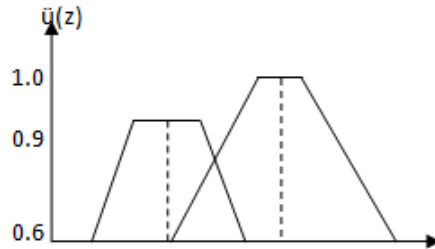
2. Sentroid yöntemi: Diğer bir adı da ağırlık merkezi yöntemidir. Durulaştırma işlemlerinde, en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Şekil 10.7, bu yöntem kullanılarak yapılan durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 10.7. Sentroid yöntemi durulaştırması

3. Ağırlıklı ortalama yöntemi: Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gerekir. Örnek olarak Şekil 10.8’te görülen bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması (durulaştırılmış değeri):

$$z^* = \frac{a(0,6) + b(0,9)}{0,6 + 0,9} \quad (10.1) \text{ şeklinde hesaplanır.}$$

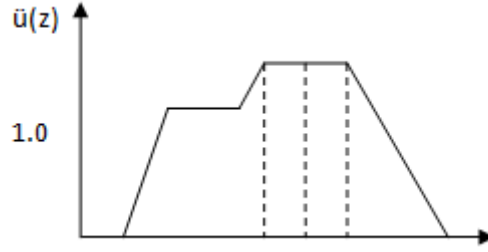


Şekil 10.8. Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması

4. Ortalama en büyük üyelik: Bu yöntem aynı zamanda en büyüklerin ortalaması yöntemi olarak da bilinir. Bu bakımdan en büyük üyelik derecesi yöntemine çok yakındır. Ancak, en büyük üyeliğin konumu tekil olmayabilir. Şekil 10.9’te gösterilen durulaştırma işlemine ait bu yöntemle göre durulaştırılmış değer:

$$z^* = \frac{a + b}{2} \quad (10.2)$$

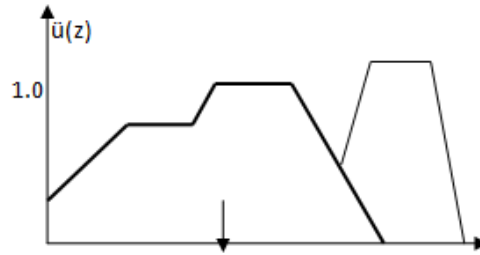
olarak bulunur. Buradaki a ve b değerleri şekilde gösterilmiştir.



Şekil 10.9. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması

5. Toplamların merkezi: Durulaştırma işlemleri arasında en hızlı olan yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamı kullanılır. Bunun bir sakıncası, örtüşen kısımların iki defa toplama girmesidir. Bir bakıma bu hesaplama tarzı ağırlıklı ortalama durulaştırmasına benzer. Ancak bu yöntemde ağırlıklar ilgili üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ağırlıklı ortalama yönteminde ise bu, üyelik derecesidir.

6. En büyük alanın merkezi: Eğer çıkış bulanık kümesi en azından iki tane dış bükey alt bulanık kümeyi içeriyorsa, bu bulanık kümelerin en büyük alanlısının ağırlık merkezi durulaştırma işleminde kullanılır. Şekil 10.10, örnek bir durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 10.10. En büyük alan merkezi ile durulaştırma

7. En büyük ilk veya son üyelik derecesi: Bu yöntem de, tüm çıktıların birleşimi olarak ortaya çıkan bulanık kümede en büyük üyelik derecesine sahip olan en küçük veya en büyük bulanık küme değerini seçmek esasına dayanır.

10.5. Bulanık Kurallar ve Sistemler

Makineler tarafından bilgi işlemlerinin algılanma yolu olan yapay zeka alanında, bilgi işlemi için değişik yollardan bir tanesi de, bilgiyi sanki insan diline benzer bir ifade ile temsil etmektir. Bu, en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yoludur. Böyle bir ifadede **EĞER-İSE** olarak kullanılan insan bilgisini işleme yoludur. Böyle bir ifadede **EĞER-İSE (IF-THEN)** kelimeleri ile ayrılmış olan iki kısım bulunur. Bunlardan **EĞER** ile **İSE** kelimeleri arasında bulunan kısma **öncül** veya **ön şartlar**, **İSE** kelimesinden sonra kısma ise **soncul** veya **çıkarım** adı verilir. Genel kural olarak,

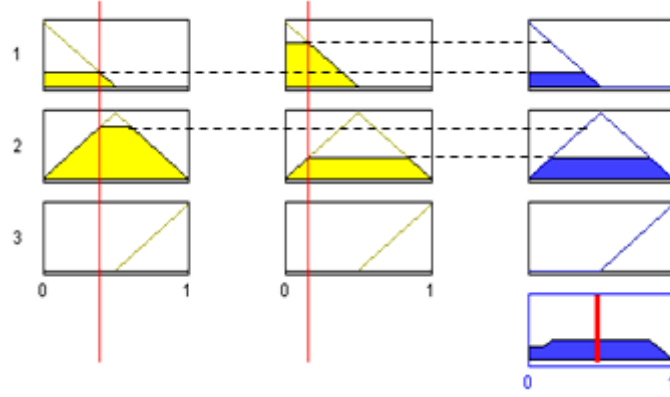
EĞER öncül **İSE** çıkarım

şeklinde yazılır. İşte, bu türlü yapısı olan ifadelere '**EĞER-İSE kural tabanlı biçim** adı verilir. Bu ifade, bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile, bunların ışığı altında, faydalı olan diğer bazı bilgilerin çıkarılması anlamına gelir. Bu tür bilgilere **sığ bilgiler** adı verilir. Çünkü bunlar insanın kendisinin kişisel deneyim ve tecrübelerinden hareketle çıkardıkları bilgilerdir ve yerine göre çok da nesnel (objektif) değildir. Halbuki **derin bilgiler** ise, daha ziyade sezgi, yapı, fonksiyon ve eşyalar arasındaki davranış biçimlerine göre elde edilir. Derin bilgilerin, sözel olarak kolayca çıkarılması mümkün değildir. Bu bilgilerin oluşmasında yılların gözlem, deney ve birikimleri vardır. Kural tabanlı olan bilgilerin uzmanlar tarafından verilen bilgilerden farklı tarafı, kural tabanlı olanların insan uzmanlardan başka kaynaklardan da yararlanarak yazılabilesidir. Kural tabanlı olan bilgilerin gerek öncül, gerekse çıkarım olan son kısımları ayrı ayrı bulanıklaştırılarak işlemler yapılır (Şen, 2001).

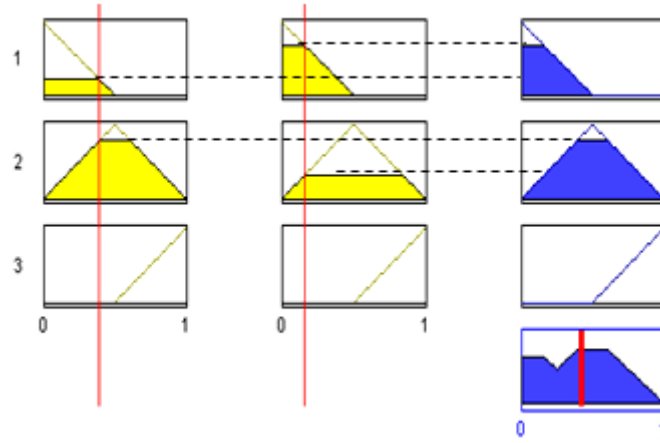
10.6. Grafik Çıkarım Teknikleri

Çıkarım yöntemlerini anlatabilmek için, iki tane öncül bir tane de çıkarımı olan EĞER-İSE kural tabanlı bir sistem düşünelim. Genel olarak bu sistemin iki tane girdisi bir tane çıktısı vardır. Şekil 11.11'de kural "VE" bağlacı ile bağlanmıştır. Bu durumda En Büyük-En Küçük (EB-EK) kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden küçük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır. Dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta da mevcut üç kuraldan sadece ikisinin çalışmasıdır. Üçüncü kuraldaki şartlar sağlanmadığı için hesaplama yapılmamıştır.

Şekil 10.12’de kural “VEYA” bağlacı ile bağlanmıştır. Bu durumda EB-EB kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden büyük olanının üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır.



Şekil 10.11. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması



Şekil 10.12. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması

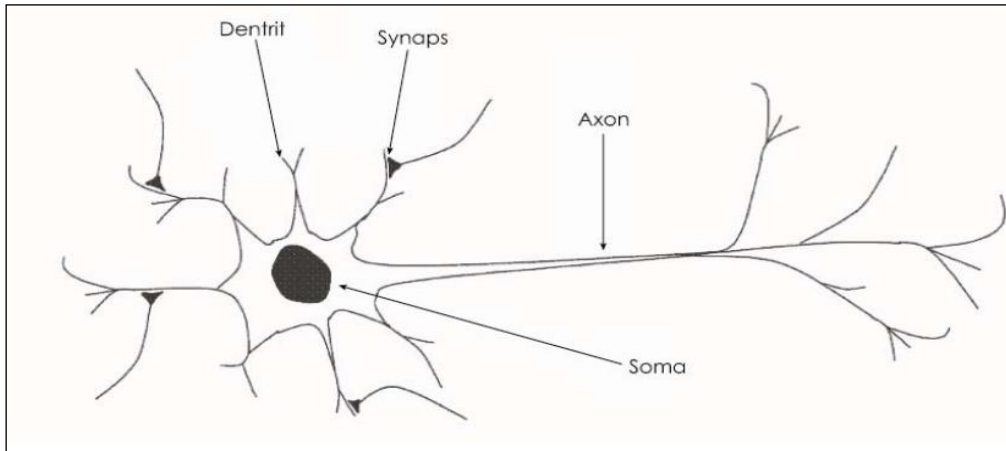
11. YAPAY SİNİR AĞLARI METODU

11.1 Biyolojik Sinir Hücresi

Biyolojik sinir ağı insan beynindeki çok sayıda sinir hücresinin bir araya gelerek oluşturduğu kompleks bir yapıdır. Bir sinir ağı milyonlarca sinir hücresinin bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Merkezi sinir sisteminin temel nöronudur (nöron=işlem elemanı sinir hücresi). İnsan beyninde yaklaşık 10 milyar sinir nöron olduğu tahmin edilmektedir.

Biyolojik sinir ağları duylardan gelen bilgiler ışığında algılama ve anlama mekanizmalarını uyararak olaylar arasındaki ilişkileri öğrenme yeteneğine sahiptir.

Yapay sinir ağlarındaki işleme elemanları biyolojik olarak insan beynindeki nöronlarla benzer yapıdadır. Bir nöron hücresi Şekil 11.1’de şematik olarak görülmektedir. Dendrit olarak adlandırılan yapı, diğer hücrelerden bilgiyi alan nöron girişleri olarak görev yapmaktadır. Diğer hücrelerde bilgiyi transfer eden eleman aksonlardır. Aksonlar nöron çıkışları olarak görev yapmaktadır. Snaps ise akson ve dendrit arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır (Öztemel 2003).



Şekil 11.1. Biyolojik sinir hücresinin yapısı (Öztemel, 2003).

Milyonlarca nöron bir araya gelerek insanın sinir sistemini oluşturmaktadır. Yapay sinir ağlarının işleyişi de biyolojik sinir ağına benzer olarak gelişmektedir.

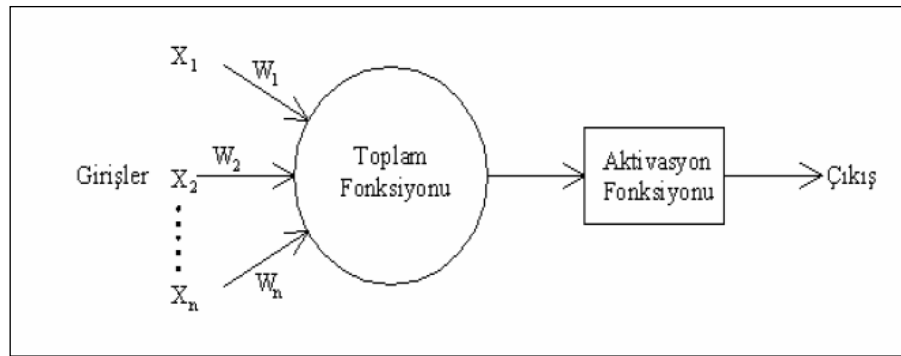
Bir insanda ortalama 10^{11} nöron bulunduğu göz önünde bulundurulursa, sonsuz sayıda sinapsın bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Nöronların iletim hızları bilgisayarlarınkinden daha yavaş olsa da sayısız sinapsın oluşturduğu bağlantılar, aynı anda birden fazla karar verilmesini ve beynin duysal verileri çok hızlı değerlendirmesini sağlamaktadır. Bu açıdan

insan beyninin karmaşık yapısı hala tam olarak çözülememiş ve birçok fonksiyon hala tam olarak açıklanamamıştır.

Biyolojik sistemlerde öğrenme, nöronlar arasındaki sinaptik bağlantıların ayarlanması ile oluşturmaktadır. İnsanlar doğumlarından itibaren yaşayarak öğrenme sürecine girmektedir. Yaşadıkça beyin sürekli gelişmekte, yeni sinapslar oluşmakta, var olan sinapsların bağlantıları ve hücrelerin eşik değerleri ayarlanmaktadır. Öğrenme bu şekilde olmaktadır (Öztemel 2003).

11.2. Yapay Sinir Hücresi

Yapay sinir hücresi, yapay sinir ağının çalışmasına esas teşkil eden en küçük bilgi işleme birimidir. Geliştirilen modellerde bazı farklılıklar olmakla birlikte genel özellikleri ile bir işlem elemanı Şekil 11.2’de görüldüğü gibi girişler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon (etkinleştirme) fonksiyonu ve çıktılar olmak üzere beş bileşenden meydana gelmektedir.



Şekil 11.2. Yapay sinir hücresi (Öztemel, 2003).

11.1.1 Yapay Sinir Ağlarını Oluşturan Temel Elemanlar

Yapay bir nöron beş temel öğeden oluşmaktadır. Bunlar girdiler, ağırlıklar, toplam fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıktılardır. Bu elemanlar kısaca aşağıda verilmiştir (Hiçyılmaz, 2006).

11.1.1.1. Girdiler

Nöron dış ortamdan bilgileri (verileri) alan elemanlardır. Veriler bu safhada bir işleme tabi tutulmadan aynen iletilmektedir (Hiçyılmaz, 2006).

11.1.1.2. Ağırlıklar

Bir nörona eş zamanlı birçok veri girişi olabilmektedir. Bu veriler nörona gelirken kendine ait olan ağırlık değeriyle çarpılmaktadır. Ağırlık değerleri pozitif, negatif ya da sıfır olabilmektedir. Ağırlık değerleri kullanılan birçok öğrenme kurallarına ve ağız mimarisine

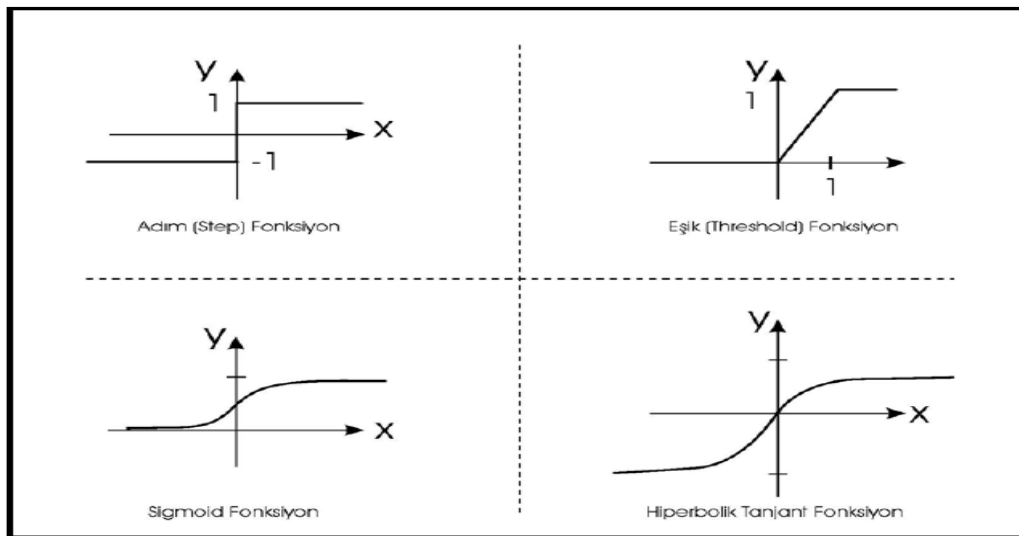
göre değişebilmektedir. Girdilerin toplam fonksiyonu üzerindeki etkileri ağırlıkları miktarınca olmaktadır (Hiçyılmaz, 2006).

11.1.1.3. Toplam Fonksiyonu

Nöronlarda girdiler ağırlıklarla çarpıldıktan sonra toplam fonksiyonuna gönderilirler. Girdiler ve ağırlıklar, aktivasyon fonksiyonuna gitmeden önce birçok şekilde bütümleştirilmektedir. Genel olarak girdiler ve ağırlıkların çarpılmasıyla bulunan değerler toplanmak suretiyle aktivasyon fonksiyonuna gönderilmektedir. Kimi zaman kullanıcının tercihiye göre bu değerlerin en büyüğü, en küçüğü ya da kümülatif toplamı vb. kullanılabilir. Hangi problemde hangi toplam fonksiyonunun kullanılacağına dair henüz bulunmuş bir formül yoktur. Her nöron aynı toplam fonksiyonunu kullanabileceği gibi ayrı fonksiyonlarda kullanabilmektedir (Hiçyılmaz, 2006).

11.1.1.4. Aktivasyon Fonksiyonu

Toplam fonksiyonunun çıktısı aktivasyon formülünde girdi olarak kullanılmaktadır. Ancak bu girdileri belirli bir seviyenin üstünde tutmak için bir esik değeri seçilmelidir. Toplam fonksiyonundan gelen değerler bu esik değerinden yukarıda ise işleme tabi olmaktadır. Aktivasyon fonksiyonu girdileri algoritma ile gerçek bir çıktıya dönüştürmektedir. Aktivasyon fonksiyonunda genel olarak türevi alınabilen fonksiyonlar kullanılmaktadır. En çok kullanılan sigmoid fonksiyonudur. Sıkça kullanılan aktivasyon fonksiyonları ve şekilleri aşağıda Şekil 11.3’de verilmiştir (Elmas, 2003).



Şekil 11.3. En çok kullanılan aktivasyon fonksiyonları (Öncül, 2003)

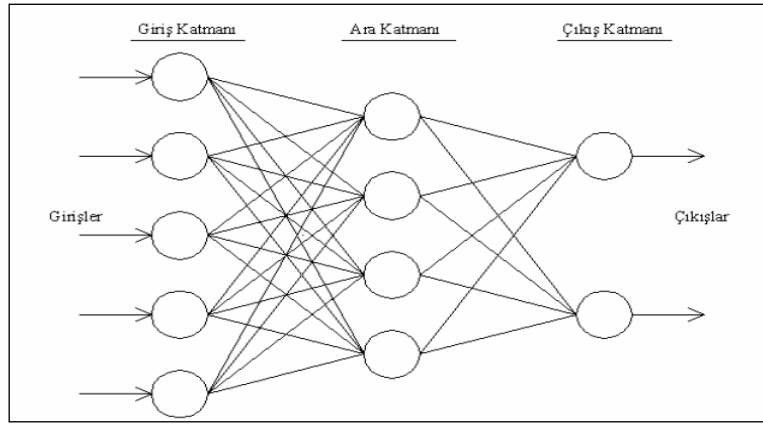
11.1.1.5. Çıktılar

Yapay nöronlarda da biyolojik nöronlara benzer şekilde birçok girdi olmasına rağmen tek bir çıktı değeri vardır. Genel anlamda çıktı, aktivasyon fonksiyonunun çıktısıdır. Bazı ağ yapılarında çıktılar komşu nöronların çıktılarıyla birleştirilerek kullanılabilir. Bazılarında ise nöronlar arası yarış vardır. Yarışmayı kazanan nöron çıktı olarak kullanılmaktadır (Hiçyılmaz, 2006).

11.1.2. Yapay Sinir Ağlarının Tanımı

Yapay sinir ağları, insan beyninin özelliklerinden olan öğrenme yolu ile yeni bilgiler türetebilme, yeni bilgiler oluşturabilme ve keşfedebilme gibi yetenekleri herhangi bir yardım almadan otomatik olarak gerçekleştirebilmek amacı ile geliştirilen bilgisayar programıdır.

Yapay sinir ağları, günümüzde pek çok meslek grubunda değişik problemlerin çözümünde kullanılmaktadır. Yapay sinir ağları yapay sinir hücrelerinden meydana gelmiştir. Nöronlar birbirine bağlandıkları gibi her bağlantının da kendine ait bir değeri mevcuttur. Şekil 11.4’de yapay sinir ağının yapısı görülmektedir (Öztemel, 2003).



Şekil 11.4. Bir yapay sinir ağı örneği (Öztemel, 2003).

Bir yapay sinir ağının başlıca görevi, kendisine tanıtılan bir girdi setine karşılık bir çıktı seti oluşturmaktır. Bunu yapabilmesi için ağ ilgili problemin değerleri ile eğitilerek öğrenme yapabilecek yeteneğe sahip hale getirilebilmektedir.

11.1.3. Yapay Sinir Ağlarının Genel Özellikleri

Yapay sinir ağlarının özellikleri, kullanılan modele göre değişiklik göstermektedir. Günümüzde birçok bilim alanında YSA aşağıdaki özellikleri nedeniyle etkin olmuş ve uygulama yeri bulmuştur (Öztemel, 2003).

11.1.3.1. Doğrusal Olmama

Yapay sinir ağlarındaki nöronlar doğrusal olmadığı için yapay sinir ağları da doğrusal değildir. Bu özellik, yapay sinir ağları ile doğrusal olmayan karmaşık problemlerin çözümüne imkan sağlamaktadır (Öztemel, 2003).

11.1.3.2. Öğrenme

Yapay sinir ağlarında istenilen, ağa gösterilen girdi setine karşılık uygun çıktı setini üretmesidir. Bunun için hücreler arasında doğru bağlantıların uygun ağırlıklara sahip olması gerekmektedir. Yapay sinir ağlarının karmaşık yapısı sebebiyle gerçek ağırlıklar önceden belirlenememektedir. Bu sebeple yapay sinir ağları kendisine tanıtılan problemin örneklerini kullanarak öğrenme işini gerçekleştirmektedir (Öztemel, 2003).

11.1.3.3. Uyarlanabilirlik

Yapay sinir ağları ilgilendiği problemdeki değişiklikleri dikkate alarak nöronlar arasındaki ağırlık değerlerini değiştirebilmektedir. Yani uygulama için oluşturulan yapay sinir ağı modeli uygulamalarda yer alan değişiklikler için tekrar eğitilebilmektedir (Öztemel, 2003).

11.1.3.4. Hata Toleransı

Yapay sinir ağları, çok fazla nöronun çeşitli şekillerde bağlantılarıyla oluşmuştur. Eğitimi tamamlanmış bir yapay sinir ağının bazı bağlantılarının ve hücrelerinin eksik olması halinde ağ çalışmaya devam etmektedir. Bu sebeple yapay sinir ağlarının hatayı tolere etme yeteneklerinin oldukça yüksek olduğu bilinmektedir (Öztemel, 2003).

11.1.4. Yapay Sinir Ağlarında Olumlu – Olumsuz Yönler

Yapay sinir ağları henüz gelişim sürecinde olan bir sistemdir. Öncelikle nöronlar arası ağırlıkların ilk değerlerinin neye göre belirleneceği bilinmemektedir. Uygun gizli katman sayısı ve gizli katmanda ya da katmanlarda kullanılacak nöron sayısını belirleyen bir kural bulunmamaktadır. Bunlar tamamen deneme-yanılma sonucu tespit edilebilmektedir.

Hangi problemde hangi ağ mimarisinin kullanılacağı da sadece tecrübeler yoluyla kestirilebilmektedir. Yani her ne kadar seçilen ağ mimarisi doğru sonuçlar verse dahi her zaman için kullanılanlardan daha doğru sonuç veren bir ağ olabilmektedir.

Ağın eğitiminin ne zaman biteceğine dair bir kural da yoktur. Yapay sinir ağlarını kesin çözüm beklenen veya çok karmaşık işlemler gerektiren problemlerde kullanmak uygun değildir. Ağa gösterilecek olan verilerin gösterim şekli kullanıcının kabiliyetine bağlıdır.

Problem doğru şekilde aktarılmazsa ağ düzgün cevaplar üretememektedir. Sadece nümerik bilgiler girdi olarak kullanılabilir.

Buna karşın yapay sinir ağları doğrusal olmayan problemlere çözüm üretebilmektedir. Tabiattaki birçok problem doğrusal olmayan yapıda olmasına rağmen bazı kabuller yapılarak doğrusal yapıya dönüştürülmektedir. Yapay sinir ağlarında böyle bir problem bulunmamaktadır.

Sinir ağları eksik bilgi ile çalışabilmektedir. Girdi setinde kullanılan verilerin bir kısmı kaybedilmiş veya sınırlı sayıda olabilmektedir. Bilinen veriler kullanılarak hatanın tolare edilebilme şansı bulunmaktadır. Kendi kendini organize etme ve öğrenebilme yetenekleri, pozitif yönleridir.

Yapay sinir ağlarında nöronların birbirinden bağımsız çalışabilme yetenekleri bulunmaktadır. Bu sebepten her bir nöron kendi başına işlem yapabilmekte ve yerel hatalar olsa dahi hata diğer nöronlar tarafından telafi edilebilmektedir. Böylelikle esnek bir yapı göstermektedir. Ağın bir bölümü zarar gördüğünde performans düşüklüğü olsa dahi ağ çalışmaya devam etmektedir. Tamamen göçme söz konusu olmayacaktır. Ayrıca örüntü tanıma, genelleme yapabilme ve adaptasyon kabiliyetleri bulunmaktadır (Tuzcuoğlu, 2003).

11.1.5. Ağ Eğitimi

Öğrenme; gözlem, eğitim ve hareketlerin doğal yapıda meydana getirdiği davranış değişikliği olarak tanımlanmaktadır (Saraç, 2004). Öğrenme tanımlarından bir diğeri Simon tarafından önerilen ve geniş kabul gören bir tanımdır. Bu tanıma göre öğrenme, “Zaman içinde yeni bilgilerin keşfedilmesi yoluyla davranışların iyileştirilmesi sürecidir.”

Makine öğrenmesi; “Bilgisayarların bir olay ile ilgili bilgileri ve tecrübeleri öğrenerek, gelecekte oluşacak benzer olaylar hakkında kararlar verebilmesi ve çözümler üretebilmesidir”.

Belirli bir uygulamaya yönelik bir ağ yapılandırıldıktan sonra ağın eğitilme işlemine başlanmaktadır. Eldeki veriler ağa sunularak ağın öğrenmesi sağlanmaktadır. Problemin türüne ve kullanılan ağın yapısına göre önceden belirlenen öğrenme kuralı kullanılarak ağın bağlantı ağırlıkları değiştirilmektedir. Amaç ağa gösterilen örnekler için doğru çıktıları üretecek ağırlık değerlerinin belirlenmesidir. Genel olarak, başlangıç ağırlıkları rastgele seçilmektedir.

Eğitim için kullanılan veri setine eğitim seti denilmektedir. Eğitim boyunca aynı eğitim seti defalarca ağa verilerek ağırlıkların en uygun seviyeye gelmesi sağlanmaktadır. İterasyon kelimesi, tüm eğitim setinin ağa gösterilmesi olarak ifade edilmektedir. Eğitim süreleri genelde iterasyon ile ölçülmektedir (Öztemel, 2003).

Ağın ağırlıklarının değiştirilmesinde iki tür strateji uygulanmaktadır.

1. Hata bilgileri toplanarak her bir iterasyon sonrasında ağırlıklar değiştirilmektedir.

2. Ağırlıklar veri setindeki her bir veriden sonra değiştirilmektedir.

Yapay sinir ağında ağırlıkların doğru değerlere ulaşması örneklerin temsil ettiği problem konusunda ağın genellemeler yapabilme yeteneğine kavuşması demektir. Genelleme, yapay sinir ağının eğitiminde kullanılmamış ancak aynı örnek uzayından gelen girdi-çıkı örneklerini doğru sınıflandırabilme yeteneğidir. Ağın bu genelleştirme özelliğine kavuşması işlemine ağın öğrenmesi denilmektedir.

Yapay sinir ağının eğitiminin tamamlanmasının ardından öğrenip öğrenmediğini ölçmek için yapılan denemelere ise ağın test edilmesi denmektedir. Bazı paket programlar ağ eğitilirken bir yandan da doğrulama seti ile ağın her iterasyonda ne kadar öğrendiğini test ederler ve öğrenim kriteri olarak doğrulama setinin hata değerlerini kullanmaktadırlar.

Eğitim setindeki verilerle istenilen başarıya ulaşılmışsa ağ, daha önce görmediği verilerle test edilmektedir. Test işleminin yapıldığı veri setine test seti denilmektedir. Test işleminde ağın ağırlık değerleri değiştirilmemektedir. Örnekler, ağa gösterilmekte ve ağ eğitim sonucunda belirlenen ağırlık değerlerini kullanarak daha önce görmediği bu örnekler için çıktılar üretmektedir. Elde edilen çıktıların doğruluk dereceleri ağın öğrenmesi hakkında bilgi vermektedir. Sonuç ne kadar iyi olursa eğitimin performansı da o kadar iyi demektir. Eğer test seti ile istenilen sonuçlara ulaşırsa ağın eğitimi bitmektedir (Öztemel, 2003).

11.1.5.1. Performans Fonksiyonu

Öğrenme fonksiyonunun gerekli ayarlamaları yapabilmesi için yanılma payının biliniyor olması gerekmektedir. Performans fonksiyonu, bu amaca yönelik olarak, o anki çıktı ile istenilen çıktı arasındaki farkı, hatayı, hesaplar ve gerekiyorsa bir dönüşüm uygulamaktadır. Bu hata, literatürde cari hata olarak adlandırılır ve bu hata veya dönüşümü sağlanmış hali (geri yayılma değeri) genellikle bir önceki katmana geri yayılmaktadır. Bu geri yayılma değeri,

eğer gerekli ise, bir sonraki öğrenme döngüsünde öğrenme fonksiyonu tarafından bağlantıları ayarlamak için kullanılmaktadır (Yurtoğlu, 2005), (Anderson ve McNeill, 1992).

11.1.5.2. Öğrenme Katsayısı

Öğrenme katsayısı veya oranı, öğrenme sürecinin hızı ve işlevi açısından önemlidir. Yapay sinir ağlarının öğrenme gücü ile hızı ters orantılıdır. Basit bir şekilde, bir adım daha fazla öğrenme, daha düşük bir hız ve dolayısıyla daha fazla zaman anlamına gelmektedir. Diğer bir ifadeyle daha fazla hız; daha az öğrenme anlamına gelmektedir. Sonuç olarak, bir ağın ne kadar eğitileceği sorusu öğrenme oranına bağlı bulunmaktadır.

Öğrenme oranının belirlenmesinde ise istenen çözüm hızı, ağın karmaşıklık düzeyi, büyüklüğü, mimarisi, kullandığı öğrenme kuralı ve istenilen doğruluk derecesi gibi bir çok faktör rol oynamaktadır. Çoğu öğrenme fonksiyonu, öğrenme katsayısı için belirli standartlara sahiptir. Öğrenme katsayısı genellikle (0,1) gibi bir aralık içinde belirlenmektedir. Ağın ağırlıkları bu katsayı kullanılarak arttırılmaktadır. Öğrenme katsayısının küçük değer alması, öğrenme sürecinin küçük adımlar halinde olmasını yani yavaş bir öğrenme sürecini getirmektedir. Diğer taraftan maksimum doğruluk derecesine yakınsamayı getirebilmektedir (Yurtoğlu, 2005), (Anderson ve McNeill, 1992).

11.1.6. Yapay Sinir Ağlarında Sınıflandırma

Günümüze kadar geliştirilen YSA'ların sayıca çok olmaları, araştırmacıları YSA'ları çeşitli şekillerde sınıflandırmaya götürmüştür. Yapılarına göre, kullanım amaçlarına göre ve öğrenme metotlarına göre sınıflandırılmıştır (Bayır, 2006).

11.1.7. Öğrenme Metotlarına Göre Sınıflandırma

Genel olarak danışmanlı, danışmansız ve takviyeli olmak üzere üç tür öğrenme metodu bulunmaktadır. Danışmanlı öğrenme, ağın istenilen çıktı değerlerine ulaşılabilmesi için dışardan müdahale veya bir iç mekanizmaya ihtiyaç duyulmaktadır. Danışmansız Öğrenme ise dış müdahale olmaksızın, girdilerin ağ tarafından analiz edilmesi ve bu analiz sonucunda bağlantıların ağırlık değerlerinin değiştirilmesidir. Takviyeli öğrenme her iki stratejiyle de benzerlikler taşır.

11.1.7.1. Danışmanlı Öğrenme

Danışmanlı öğrenmede, girdi ve çıktı değerlerinin her ikisi de ağa gösterilmektedir. Girdi değerleri ağ tarafından işlenerek istenilen çıktı değerleri ile ağın çıktı değerlerini karşılaştırmaktadır. Aradaki fark hata olarak ele alınmaktadır. Performans fonksiyonu ile

hesaplanan bu hata değerini minimize etmek için hesaplanan değer sisteme geri verilmektedir. Ağ, kendi çıktı değerini istenilen çıktı değerine yaklaştırmak için hücre bağlantılarının ağırlıklarını değiştirmektedir. Bu sayede girdilerle çıktılar arasındaki ilişkiler öğrenilmektedir. Öğrenme süreci, hata değerleri istatistiksel olarak kabul edilebilecek seviyeye ininceye kadar devam etmektedir. Çok katmanlı algılayıcı ağları bu tür öğrenme metodunu kullanan ağlara örnektir (Bayır, 2006).

11.1.7.2. Danışmansız Öğrenme

Danışmansız öğrenme metodunda, ağa sadece girdiler verilmekte, istenilen çıktı değerleri verilmemektedir. Örneklerdeki parametreler arasındaki ilişkiyi kendi kendisine öğrenmesi beklenmektedir. Ağ, girdi değerlerini gruplandırmak için yapacağı değişikliklere kendi karar vermektedir. Daha çok sınıflandırma problemlerinin çözümünde kullanılmaktadır. Öğrenme bittikten sonra çıktıların ne anlama geldiğini belirtmek için bir kullanıcıya ihtiyaç olmaktadır. Bu yöntem kendi kendine öğrenme veya adaptasyon olarak bilinmektedir (Bayır, 2006).

Günümüzde danışmansız öğrenmenin çalışma sistemi tam olarak anlaşılamamış durumdadır. Bu konudaki araştırmalar hala devam etmektedir. Bu tür öğrenmenin öncü araştırmacılarından birisi Tuevo Kohonen'dir. Kohonen, doğru cevabı bilmenin faydalarından yararlanmadan öğrenen bir ağ geliştirmiştir. Kohonen's SOM adıyla bilinen bu ağ, bir çok sayıda bağlantı ve tek katmana sahip olması nedeniyle biraz sıra dışı sayılabilmektedir. ART ağları danışmansız öğrenme kuralını kullanan en önemli ağlardan biridir (Bayır, 2006).

11.1.7.3. Takviyeli Öğrenme

Takviyeli öğrenmede, danışmanlı öğrenmede olduğu gibi bir eğitici yardımcı olur. Farklı olarak sisteme sadece girdi değerleri verilir, istenilen çıktı değerleri gösterilmemektedir. Ağın kendi çıktılarını oluşturması beklenir ve eğitici tarafından çıktı değerinin ne derece doğru olduğunu belirten bir sinyal, skor veya derece bildirmektedir. Ağ, eğiticiden aldığı sinyalle bağlantılarının ağırlık değerlerini değiştirerek öğrenme sürecini devam ettirmektedir. LVQ ağları bu tür öğrenme metodu kullanan en önemli örnektir.

Optimizasyon problemlerini çözmek için Hinton ve Sejnowski'nin geliştirdiği Boltzmann kuralı veya eğitimde genetik algoritma kullanımı takviyeli öğrenmeye örnek olarak verilebilmektedir (Bayır, 2006).

11.1.7.4. Karma Öğrenme Metotları

Hem danışmanlı öğrenme hem danışmansız öğrenmeyi birlikte kullanan yapay sinir ağları da bulunmaktadır. Bu ağlarda ağırlıkların bir kısmı danışmanlı öğrenmeyle bir kısmı da danışmansız öğrenmeyle ayarlanmaktadır. Radyal tabanlı yapay sinir ağları (RBF) ve olasılık tabanlı yapay sinir ağları (PBNN) bunlara örnek olarak verilebilmektedir (Bayır, 2006).

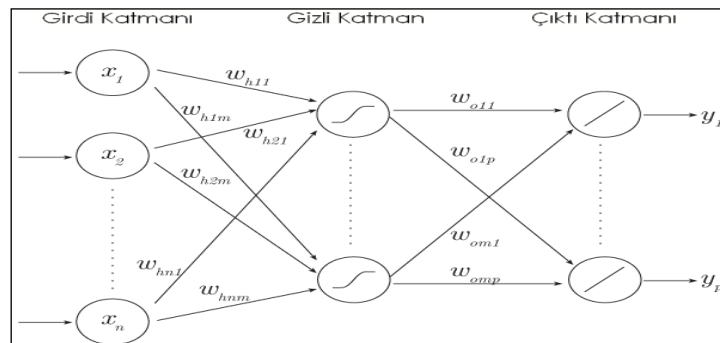
11.1.8.Yapılarına Göre Sınıflandırma

Yapay sinir ağları, yapılarına göre, ileri beslemeli ve geri beslemeli ağlar olmak üzere iki şekilde sınıflandırılmaktadır (Bayır, 2006).

11.1.8.1. İleri Beslemeli Ağlar

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında nöronlar arasındaki iletişim giriş katmanından çıktı katmanına doğru tek yönlü bağlantılarla iletilmektedir. Nöronlar bir katmandan diğer bir katmana bağlantı kurarlarken, aynı katman içerisindeki nöronlar birbiriyle bağlantılı değildir. Bu nedenle ileri beslemeli yapay sinir ağlarında, nöronlar arasındaki bağlantılar bir döngü oluşturmamakta ve bu ağlar girilen verilere hızlı bir şekilde çıktı üretebilmektedirler. İleri beslemeli ağlara örnek olarak çok katmanlı algılayıcılar (MLP) ve LVQ (Learning Vector Quantization) ağları verilebilir.

İleri beslemeli yapay sinir ağlarında bir katmandaki tüm hücrelerin çıktıları bir sonraki katmandaki tüm hücrelere giriş olarak verilmektedir. Giriş katmanı, dış ortamlardan aldığı bilgileri hiçbir değişikliğe uğratmadan gizli katmandaki hücrelere iletilmektedir. Bilgi gizli ve çıktı katmanında işlenerek ağın çıktısı belirlenmektedir. Bu yapısı ile ileri beslemeli ağlar, doğrusal olmayan statik bir işlevi gerçekleştirmektedir. İleri beslemeli üç katmanlı yapay sinir ağlarının, gizli katmanında yeterli sayıda hücre olmak kaydıyla, herhangi bir sürekli fonksiyonu istenilen doğrulukta yaklaştılabileceği gösterilmiştir (Saraç, 2004).



Şekil 11.5. İleri beslemeli üç katmanlı YSA (Bayır, 2006)

Bu tip yapay sinir ağlarının eğitiminde genellikle geri yayılım öğrenme algoritması kullanılmaktadır. Şekil tanıma, sinyal işleme ve sınıflandırma gibi problemlerde genellikle bu topoloji uygulanmaktadır. Şekil 11.5’de ileri beslemeli üç katmanlı ağlara örnek verilmiştir.

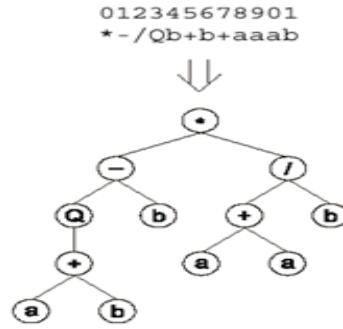
11.1.8.2. Geri Beslemeli Ağlar

Geri beslemeli veya yinelemeli yapay sinir ağları, ileri beslemeli ağların aksine dinamik bir yapıya sahiptir. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında, çıktı veya ara katmanlardaki nöronlar çıktılarını giriş veya önceki ara katmanlardaki nöronlara tekrar girdi olarak iletilmektedir. Böylece bilgi hem ileri hem de geri yönde aktarılmış olmaktadır. Geri beslemeli yapay sinir ağları dinamik hafızaya sahiptir ve bir andaki çıktı hem o andaki hem de önceki girdileri yansıtmaktadır. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında, en az bir işlemci elemanın çıktısı, kendisine ya da diğer işlemci elemanlara girdi olarak verilmekte ve genellikle geri besleme bir geciktirme elemanı üzerinden yapılmaktadır. Geri besleme, bir katmandaki işlemci elemanlar arasında olduğu gibi katmanlar arasındaki işlemci elemanlar arasında da olabilmektedir. Bu yapısı sayesinde geri beslemeli yapay sinir ağları, doğrusal olmayan dinamik bir davranış göstermektedir. Dolayısıyla, geri beslemenin yapılış şekline göre farklı yapıda ve davranışta geri beslemeli yapay sinir ağı yapıları elde edilebilmektedir (Saraç, 2004).

Geri beslemeli yapay sinir ağları karmaşık bir çalışma düzeneğine sahiptir ancak dinamik hafızaları nedeniyle önceden tahmin uygulamalarında ve sınıflandırma işlemlerinde başarılı sonuçlar vermektedirler.

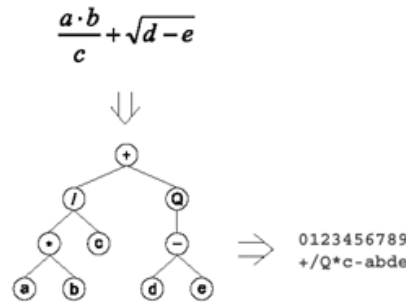
12. GEN İFADE PROGRAMLAMA (GEP)

GEP bireylerin fenotip dallanmış yapıları genetik programlama kullanılan aynı tip oluşur. Ancak, bu karmaşık taraftaki kodlanmış basit, sabit uzunlukta doğrusal yapılar - kromozom. Dolayısıyla, GEP’de kromozomlar ve dallanmış yapıları veya ifade ağaçları olmak üzere iki ana oyuncu vardır. Genetik bilgi eski kodlanmış bir ifadesi olarak örnek bir ifade ağacı Şekil 12.1’de görülmektedir.



Şekil 12.1. Örnek bir ifade ağacı

Doğada olduğu gibi, bilgi çözülmesi sürecine çeviri denir Bu çeviri açıkça kodu bir tür ve kurallar kümesi anlamına gelir. Genetik kodu çok basittir: bire bir -kromozomu ve işlevleri ya da temsil terminallerinin sembolleri arasında bir ilişki kurulur. Kurallar da çok basittir: onlar fonksiyonları ve ifade ağaçları terminalleri ve alt arasında etkileşim tipi mekansal organizasyonu-çok da ifade ağaçları sistemleri belirlemek. GEP yılında Dolayısıyla iki dil: genlerin dil ve ifade ağaçları dili vardır. Ancak, basit kurallar sayesinde bu ifade ağaçları ve etkileşimlerinin yapısını belirlemek, hemen bir genin sıra verilen fenotip kısırlık ve mümkün tersi ile mümkündür. Bu iki dilli ve koşulsuz sisteme karva dil denir. Şekil 12.2’de karva dil örnek görülmektedir(Ferreira, 2002).



Şekil 12.2. Karva dil örneği

13. ARAŞTIRMA BULGULARI

13.1. Bitümlü Sıcak Karışım Kaplamalı İl Ve Devlet Yolları İçin Bilgi Sistemi

Oluşturulması

Bu sistemin amacı Türkiye’deki Devlet ve il Bitümlü Sıcak Karışım (BSK) yollara ait bilgilerinin bir veri tabanında toplanarak bilgisayar programlama dili ile oluşturulmuş bir ara yüz ile kullanıcıya veri tabanında bulunan bilgiler ışığında hizmet vermesi, geleceğe yönelik yatırımlara ve performans tahminlerine yön vermesidir.

Veri tabanı Microsoft SQL Server programı kullanılarak KGM den gelen bilgiler ışığında tasarlanmıştır. Veri girişleri ise oluşturmuş olduğumuz bilgisayar tabanlı Microsoft Visual Studio programı kullanılarak Visual Basic Script diliyle tasarlanmış bir ara yüz programı ile veri tabanına eski ve güncel bilgiler karşılaştırılıp kaydedilmiştir. Veri tabanında bulunan veri başlıkları aşağıda belirtilmiştir.

Veri Tabanında Kullanılan Veri Başlıkları (Alan İsimleri);

- Kontrol Kesim Nosu
- Yolun Adı
- Kontrol Kesim Uzaklığı(Km)
- Dilim Sayısı
- Dilim No
- Dilim Uzunluğu(Km)
- YOGT
- YOGT Yılı
- Ağır Taşı Yüzdesi
- BSK Yol Uzunluğu
 - ✓ Bölünmemiş Yol- Km-Km²
 - ✓ Bölünmemiş Yol- Uzunluk (Km)
 - ✓ Bölünmemiş Yol- Trafik Şeridi Sayısı
 - ✓ Bölünmüş Yolun Tek Yönü BSK- Km-Km²
 - ✓ Bölünmüş Yolun Tek Yönü BSK - Uzunluk (Km)

- ✓ Bölünmüş Yolun Tek Yönü BSK - Trafik Şeridi Sayısı
- ✓ Bölünmüş Yolun İki Yönü BSK- Km-Km²
- ✓ Bölünmüş Yolun İki Yönü BSK - Uzunluk (Km)
- ✓ Bölünmüş Yolun İki Yönü BSK - Trafik Şeridi Sayısı
- Trafiğe Açılma / Yapım Tarihi
 - ✓ Takviye Gördü
 - ✓ Takviye Görmedi
- Şu Anda Trafiğe Hizmet Verdiği Hizmet Tipi
 - ✓ Yapım Yılı
 - ✓ Binder
 - ✓ Aşınma
 - ✓ TMA
 - ✓ Modifi Aşınma
 - ✓ Harç Tipi Kaplama
 - ✓ Koruyucu Yüzey Kaplama
- Açıklama Alanı

Oluşturulan bir web ara yüzü ile yetkili kişiler güncel bilgileri gerekli alanı arama yaptırarak bulabilmekte ve istenilen güncel bilgiyi gerekli alanlara giriş yaparak ortak veritabanına kaydedebilmektedir. Bu web ara yüz genel olarak şubelerin giriş yapabileceği şekilde ve anlaşılır bir düzende tasarlanmıştır. Web ara yüzü her şubenin kendi bölgesine ait veriyi görebileceği ve düzenleyebileceği şekilde tasarlanmıştır. Şubeler kendilerine verilmiş olan kullanıcı adı ve şifre ile kendi bölgelerine özel olan web ara yüzünü görüntüleyebilecektir.

KK_No : 575-01

Ara

Dilim No 1

Genel Bilgiler

Genel Bilgiler 2

(BSK Yol Uzunluğu) Bölünmemiş Yol

(BSK Yol Uzunluğu) Bölünmüş Yolun Tek Yönü BSK

(BSK Yol Uzunluğu) Bölünmüş Yolun İki Yönü BSK

Trafikte Açılma/Yapım Tarihi

Şu Anda Trafikte Hizmet verdiği Kaplama Tipi

Açıklama

KK_No 575-01

Yolun Adı (YALOVA-KOCAELİ) İL SINIRI-(YALOVA-BURSA) İL SINIR

Sonraki Adım

Şekil 13.1. BSK Yol Bilgileri Giriş ve Düzenleme Ekranı

Oluşturulan diğer bir web ara yüzü ile sadece yetkili kişiler veri tabanına kaydedilmiş verilerin tümüne görsel ve yazılı olarak erişim sağlayabilmektedirler. Bu ara yüzde sorgulamalar ve grafikler ağırlıktadır. Yetkili kişi görmek istediği bölge ya da bölgelerdeki bilgileri çeşitli alanlara göre sorgulama yaptırarak, karşılaştırma yapabilecek ve bu karşılaştırmaları isterse çeşitli grafik ve şemalarla ekranda görüntüleyebilecek, isterse yazıcı çıktısı olarak alabilecektir.

Sorgulama Yapmak İstedığınız Alanları Seçin

☒ KK_NO
☐ Yol Adı
☐ Kontrol Kesim Uzunluğu
☐ Dilim Sayısı
☐ Dilim No
☐ Dilim Uzunluğu
☐ YOGT
☒ Ağır Taşıt %
☐ BSK Yol Uzunluğu
☒ Trafikte Açılma/Yapım Tarihi
☒ Hizmet Verdiği Kaplama Tipi

KK_NO 300-31

☒ Büyüktür
☐ Eşittir
☐ Küçüktür

Ağır Taşıt Yüzdesi 35

Takviye

☐ Gördü
☒ Görmedi

Şu anda Verdiği Hizmet Tipi Binder

Sorgula

1 Adet Kayıt Bulundu

KKNo	Yolun Adı	Kontrol Kesim Uzunluğu (Km)	Dilim Sayısı	Dilim No	Dilim Uzunluğu (Km)	YOGT (2007 Yılı)	Ağır Taşıt ¹ %
300-31	(Muş-Bitlis) İl Sn - Ahlat (965-12) DYA	36	3	3	8	5280	38

* Ayrıntılı Bilgi Ve Grafik İşlemleri İçin Yolun Adı'na Tıklayın...

Şekil 13.2. BSK Kaplamalı Yolların Sorgulanması

13.2. PERFORMANS TAHMİN MODELLERİ

Çalışmada, performans göstergesi olarak seçilen IRI değerinin tahmininde Yapay Sinir Ağları, Çoklu Regresyon, Bulanık Mantık ve Gen Expression Programlama yöntemleri kullanılmıştır.

Modellerde dikkate alınana girdi verileri, üstyapının hizmet ömrünü etkileyen en önemli güvenlik parametrelerinden biri 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 düzgünlük 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 düzgünlük ölçümlerinin yapıldığı yıla getirilmiştir (Hergüner, 2009)

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 (Hergüner, 2009)

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

Özellikle iklim verileri olarak başlangıçta; yağış (kar ve yağmur), nem, sıcaklık, kaplama sıcaklıkları, don indeksi değerleri kullanılmıştır.

Kaplama sıcaklıkları olarak, kaplama yüzeyinden 20 mm 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.

$$T_{20} = 0,9545(T_{hava\ max} - 0,00618E_n^2 + 0,2289E_n + 42,2) - 17,78 \quad (13.1)$$

$$T_{yüzey} = 0,859T_{hava\ min} + 1,7 \quad (13.2)$$

Burada,

$T_{20\ mm}$: yüzeyden 20 mm derinlikteki yüksek kaplama sıcaklığı,

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

$T_{hava\ min}$: 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 13.1 ve 13.2'de belirtilen bağıntılar yardımıyla kaplama sıcaklık değerlerine dönüşümü yapılmıştır.

Regresyon analizinde iklim parametreleri olarak kullanılan YMTYTS (yıllık maksimum toplam yağış tekrar sayısı; >50 mm), YMONTS (yıllık maksimum ortalama nem tekrar sayısı; >20), YMAXMİNSFMAXSFTS (yıllık maksimum ve minimum sıcaklık farklarından maksimum olan sıcaklık farkı tekrar sayısı; >15°), 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 yığılımlı olarak düzgünsüzlük ölçümlerinin yapıldığı yıla getirilerek kullanılmıştır.

İklim parametrelerindeki sınır değerler, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden elde edilen ölçüt değerleridir (Hergüner, 2009).

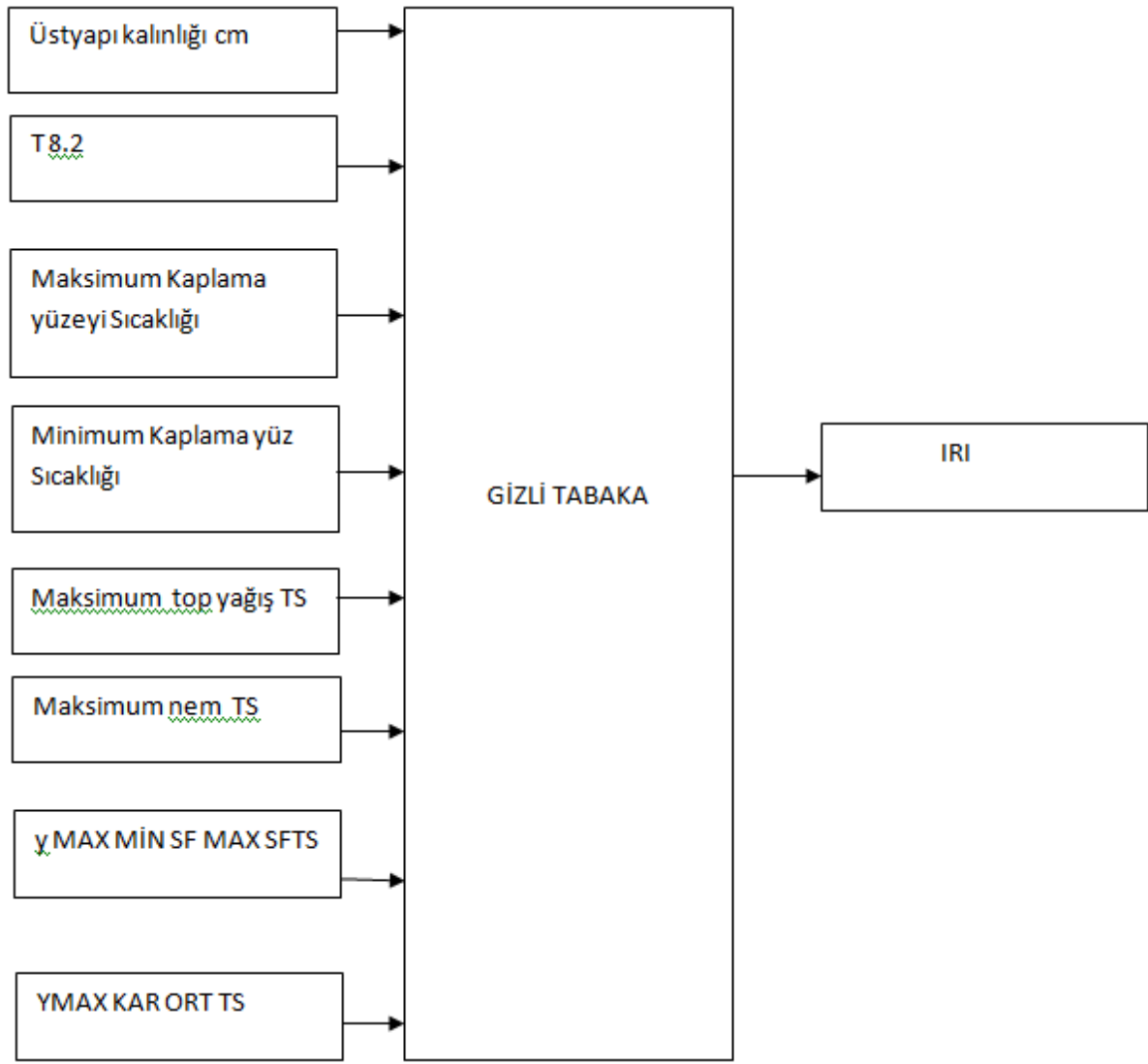
Tablo 13.1. Mevcut verileri (Hergüner, 2009)

üstyapı kalınlığı cm	T 8.2	Maksimum Kaplama yüzeyi Sıcaklığı	Minimum Kaplama yüz Sıcaklığı	max top yağış TS	max nem TS	y MAX MİN SF MAX SFTS	YMAX KAR ORT TS	IRI
54	95272825	120170,5	-3347,7	364356	1469211	53325	13440	2,64
54	29368988,66	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410	1,54
54	10946693,61	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410	1,23
54	26947890,81	13658,5	-484,7	52230	170589	5016	1410	1,33
54	23553241,37	11921,1	-805,7	70926	256212	8526	4080	1,45
54	58224485	65889,2	-1695,2	196866	772866	28617	7350	1,81
54	57887167,45	65889,3	-1695,4	196866	772866	28617	7350	1,8
54	61894235,51	72316,2	-2006,1	227907	860013	31977	8280	1,91
54	57776376,55	65889,3	-1695,4	196866	772866	28617	7350	1,71
74	52066765,2	59081,5	-1572,9	175194	685434	25545	7350	1,67
75	17825136,9	13658,6	-484,7	52230	170589	5016	1410	1,45

75	37127845,96	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320	1,53
75	19598280,71	24475,4	-906,2	72666	257142	14718	3570	1,54
75	17045171,88	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320	1,45
75	16059764,63	15909,4	-523,4	48477	171840	9609	1320	1,39
75	46629520,08	115856,7	-4185,5	346677	1302900	80766	9720	1,69
75	30103590,51	107544,6	-4185,5	346677	1302900	80766	9720	1,67
75	6260969,29	86517,62	-10301,36	174846	1102083	73662	10350	1,22
75	8220145,14	6681,87	-990,45	15771	85797	5481	900	1,17
75	2035619,22	78480,25	-9693,19	137748	1098744	50754	1620	1,12
75	1109990,73	5636,73	-1062,6	11226	83829	3396	1080	0,77
75	9105210,78	102526,24	-11762,52	176640	1160790	101922	1080	1,18
75	3006238,11	14835,7	-1584,03	28728	171240	13992	1080	1,19
75	4112291,36	23579,39	-2618,29	34509	253152	21528	1440	1,14
75	4112288,06	8072,15	-1140,79	20988	178980	936	0	0,98
75	5075123,18	13021,71	-1793,65	32343	267498	1887	900	1,18
75	18692591,28	74753,96	-5301,98	192579	1233546	8817	5370	1,54
75	44503680,53	10517,72	-579	23919	172395	1884	1680	1,59
75	80193334,05	93918,84	-2712,1	246615	1212045	9198	6960	1,96
75	81018091,07	93918,9	-2712,1	246615	1212045	9198	6960	2,13
75	84343993,33	101238,9	-2036,92	375576	1211868	17886	8640	2,41
75	27106955,36	10849,92	-568,69	26244	85575	978	1500	1,53
75	52769689	18253,56	-871,08	48045	259233	3885	3120	1,69

13.2.1. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Geliştirilen Modeller

Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılarak temelde iki farklı model geliştirilmiştir. Bunlarda ilki, mevcut tüm verileri kullanarak IRI tahmin edilmeye çalışılmıştır. Şekil 13.3’de modelin mimarisi görülmektedir.



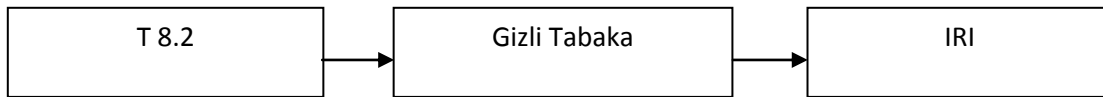
Şekil 13.3. Geliştirilen ilk YSA mimarisi

Oluşturulan modelde elde edilen sonuçlar Tablo 13.4’de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi, gizli tabakadaki neuron sayısı ve aktivasyon fonksiyonu değiştirilmiştir. İki farklı aktivasyon fonksiyonu (tanjant sigmoid ve logaritmik sigmoid) kullanılmıştır. Tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak geliştirilen modellerde neuron sayısı 1 ile 6 arasında değiştirilmiştir. Tablodan da görüldüğü gibi bazı modellerde eğitim setinin R^2 değeri maksimum değer olan 1’ ulaşmıştır. Fakat dikkat edilmesi gerek bir diğer nokta olan test setinin R^2 değeri bu mimariler için düşük kalmıştır. Bu nedenle 8.1.1 ve 8.2.1 modelleri daha yüksek test seti R^2 değeri vermesi açısından seçilebilir. Logaritmik sigmoid aktivasyon yöntemi kullanılan modellerde ise, 8.2.1. mimarisi en yüksek R^2 değeri vermiştir. Kendi aralarında karşılaştırma yapıldığında da bu model en yüksek R^2 değerini vermiştir.

Tablo 13.2. İlk YSA model sonuçları

Model	Eğitim	Test
8.1.1 tan	0,9	0,94
8.2.1 tan	0,944	0,918
8.3.1 tan	1	0,0542
8.4.1 tan	1	0,858
8.5.1 tan	1	0,889
8.6.1 tan	1	0,897
8.1.1 log	0,893	0,948
8.2.1 log	0,976	0,951
8.3.1 log	1	0,736

Genellikle, tüm dünyada kullanılan performans tahmin modellerinde yıl veya yığışımli eşdeğer standart dingil yükü (T 8.2) sayısına bağılı olarak performans eğrisi geliştirilmektedir. Bu nedenle, mümkün olan en az girdi verisi kullanarak daha ucuz ve daha hızlı sonuca gitmek amacıyla sadece T 8.2 girdi parametresi kullanılarak modelleme yapılmıştır. Model mimarisi Şekil 13.4’de görölmektedir.



Şekil 13.4. Geliştirilen ikinci YSA mimarisi

Oluşturulan modelde elde edilen sonuçlar Tablo 13.5’de görölmektedir. Tablodan da göröldüğü gibi, gizli tabakadaki neuron sayısı ve aktivasyon fonksiyonu değıştirilmiştir. İki farklı aktivasyon fonksiyonu (tanjant sigmoid ve logaritmik sigmoid) kullanılmıştır. Tanjant sigmoid aktivasyon fonksiyonu kullanılarak geliştirilen modellerde neuron sayısı 1 ile 8 arasında değıştirilmiştir. Tablodan da göröldüğü gibi 1.4.1 modelleri daha yüksek test seti R^2 değeri vermesi açısından seçilebilir. Logaritmik sigmoid aktivasyon yöntemi kullanılan modellerde ise, 1.2.1. mimarisi en yüksek R^2 değeri vermiştir. Kendi aralarında karşılaştırma yapıldığında da tanjant sigmoid 1.4.1 modeli en yüksek R^2 değerini vermiştir.

Tablo 13.3. İkinci YSA model sonuçları

Model	Eğitim	Test
1.1.1 tan	0,866	0,963
1.2.1 tan	0,954	0,905
1.3.1 tan	0,967	0,883
1.4.1 tan	0,962	0,955
1.5.1 tan	0,967	0,883
1.6.1 tan	0,984	0,918
1.7.1 tan	0,99	0,912
1.8.1 tan	0,99	0,861
1.1.1 log	0,857	0,967
1.2.1 log	0,945	0,938
1.3.1 log	0,966	0,877
1.4.1 log	0,966	0,877
1.5.1 log	0,966	0,92
1.6.1 log	0,985	0,877
1.7.1 log	0,989	0,913
1.8.1 log	0,99	0,912

13.2.2. Çoklu Regresyon Yöntemi ile Geliştirilen Modeller

Yapay zekâ gibi karmaşık modelleme teknikleri kullanılmadan önce daha basit modelleme yöntemlerinden biri olan çoklu regresyon yöntemi ile de model geliştirilmiştir. Yine sekiz girdi kullanılarak modelleme yapılmıştır. Model sonuçları Tablo 13.6’de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi R^2 değeri 0.918 olarak elde edilmiştir. Tablo 13.5’de ise, bu modele ait katsayılar görülmektedir.

Tablo 13.4. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları

Model	R	R ²	Ayarlanmış R ²	Std. Tahminlerin hatası
1	0,958(a)	0,918	0,891	0,12970

Tablo 13.5. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları

Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standardize Katsayılar	t	Sig.
	B	Std. Hata	Beta		
Sabit	0,959	0,215		4,465	0,000
Üstyapı kalınlığı cm	1,339E-03	0,003	0,032	0,474	0,640
T 8.2	1,251E-08	0,000	0,871	5,392	0,000
Maksimum Kaplama yüzeyi Sıcaklığı	-1,003E-05	0,000	-1,005	-1,187	0,247
Minimum Kaplama yüzey Sıcaklığı	-2,708E-05	0,000	-0,199	-0,775	0,446
Maksimum top yağış TS	2,795E-06	0,000	0,813	1,878	0,073
Maksimum nem TS	1,557E-07	0,000	0,191	0,286	0,777
y MAX MİN SF MAX SFTS	1,588E-07	0,000	0,011	0,047	0,963
YMAX KAR ORT TS	2,674E-06	0,000	0,025	0,168	0,868

Çoklu regresyon yöntemi ile de tek girdili (T 8.2) model geliştirilmiştir. Model sonuçları Tablo 13.6’de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi R² değeri 0.89 olarak elde edilmiştir. Tablo 13.7’de ise, bu modele ait katsayılar görülmektedir. Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılarak elde edilen veriler göre çoklu resgresyon yönteminde elde edilen sonuçlar daha düşük olmuştur.

Tablo 13.6. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları

Model	R	R ²	Ayarlanmış R ²	Std. Tahminlerin hatası
1	0,943(a)	0,890	0,886	0,13235

Tablo 13.7. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları

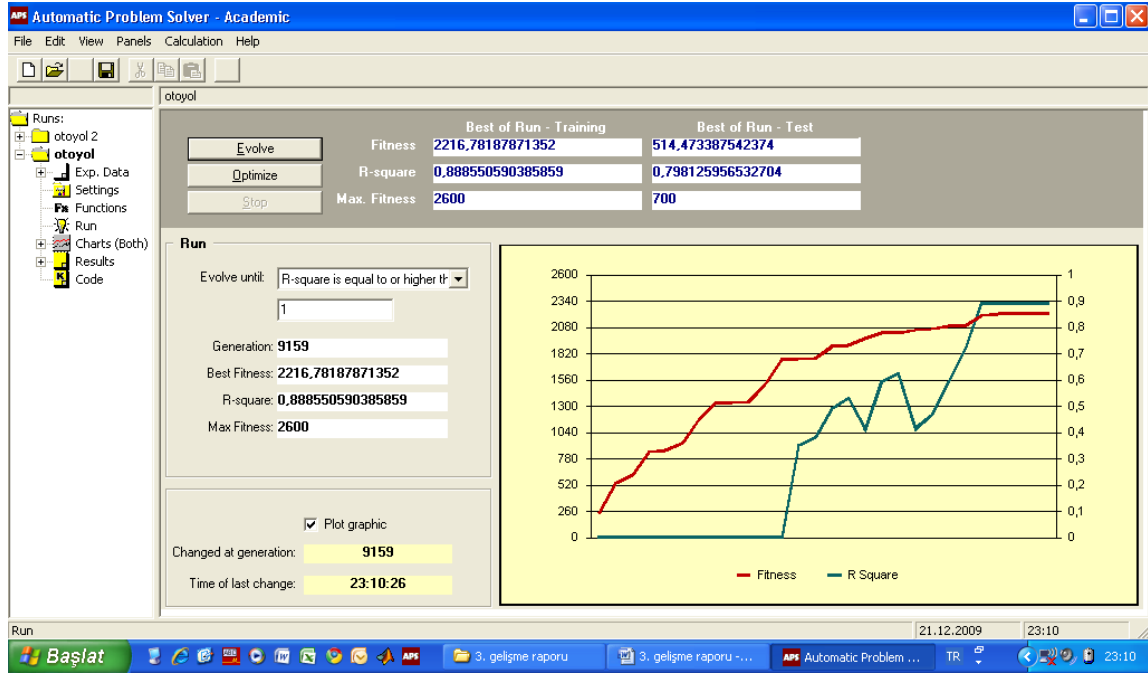
Model		Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standardize Katsayılar	t	Sig.
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	1,086	0,036		29,772	0,000
	T 8.2	1,355E-08	0,000	0,943	15,823	0,000

13.2.3. Gen İfade Programlama Yöntemi ile Geliştirilen Modeller

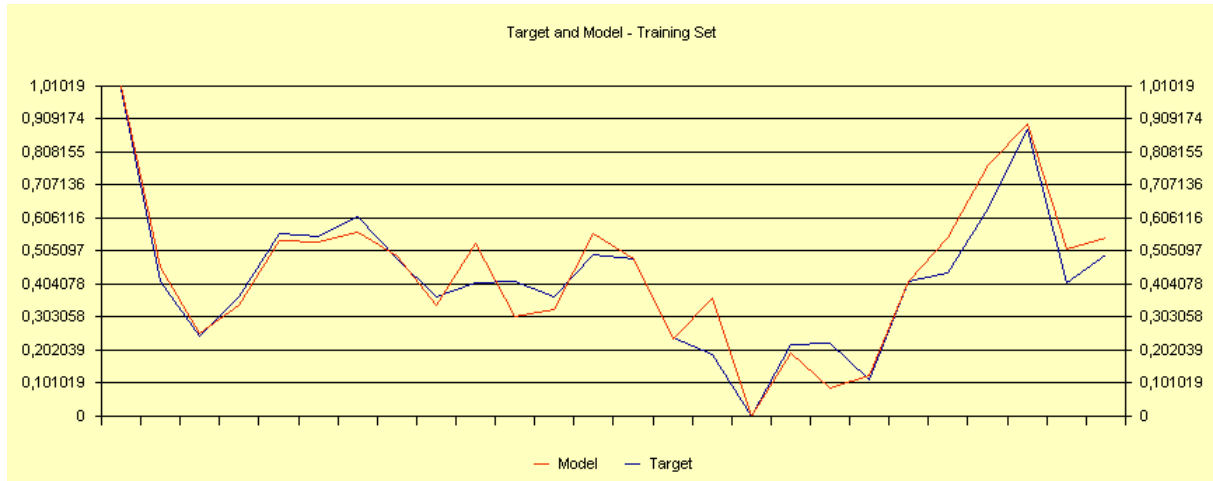
Tablo 13.8. Geliştirilen modelin yapısı

Özellik	Sayı
Kromozom Sayısı	50
Gen Sayısı	8
Mutasyon oranı	0.044
Tek noktalı yeniden kombinasyon oranı	0.3
İki noktalı yeniden kombinasyon oranı	0.3
Gen yeniden kombinasyon oranı	0.1
Gen geçiş oranı	0.1

Sekiz girdi kullanılarak geliştirilen modele ait sonuçlar Şekil 13.5’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi eğitim setine ait R² değeri 0.89 iken test setine ait R² değeri 0.80 civarında olmuştur.



Şekil 13.5. Sekiz girdili modele ait sonuçlar

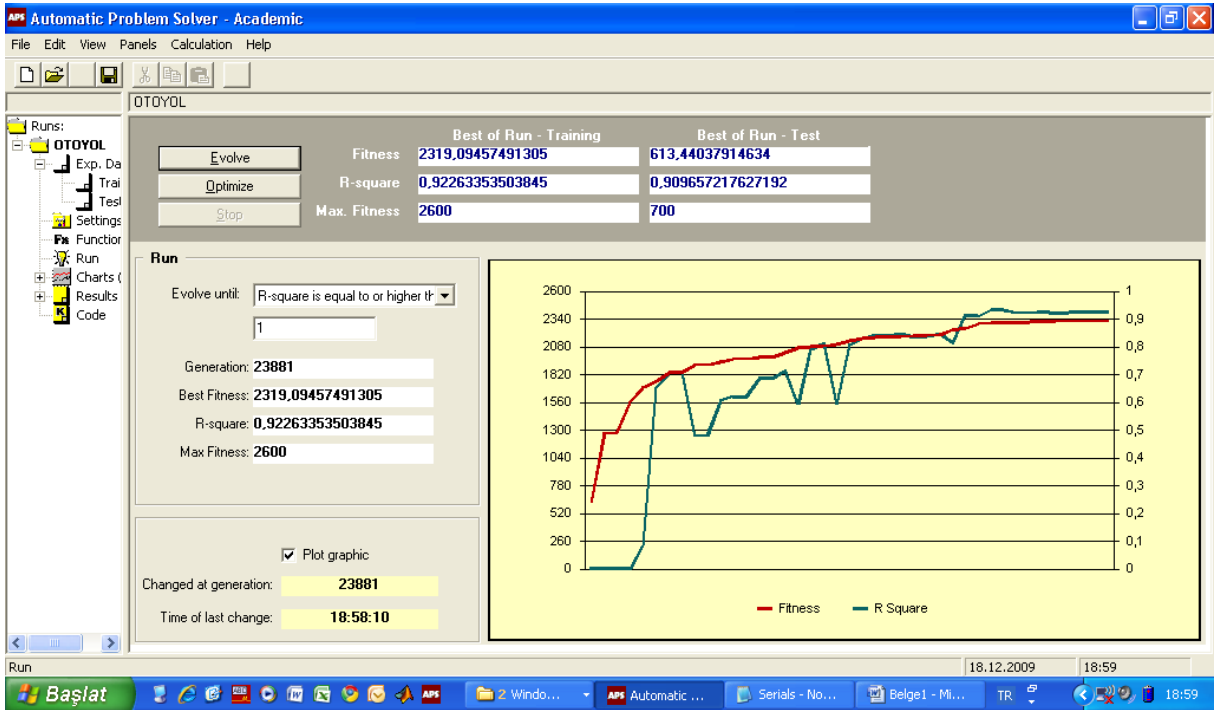


Şekil 13.6. Sekiz girdili modele ait eğitim seti grafiği

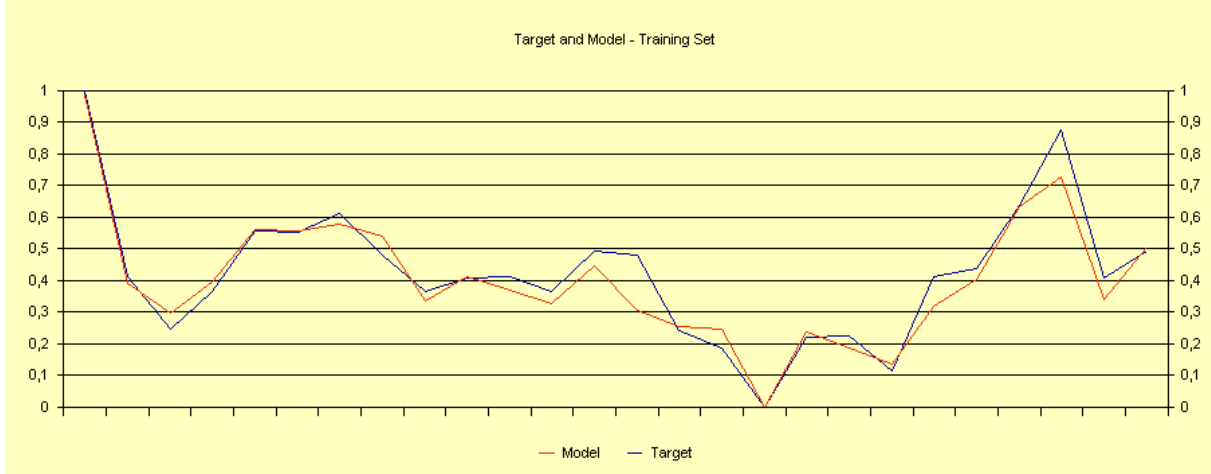


Şekil 13.7. Sekiz girdili modele ait test seti grafiği

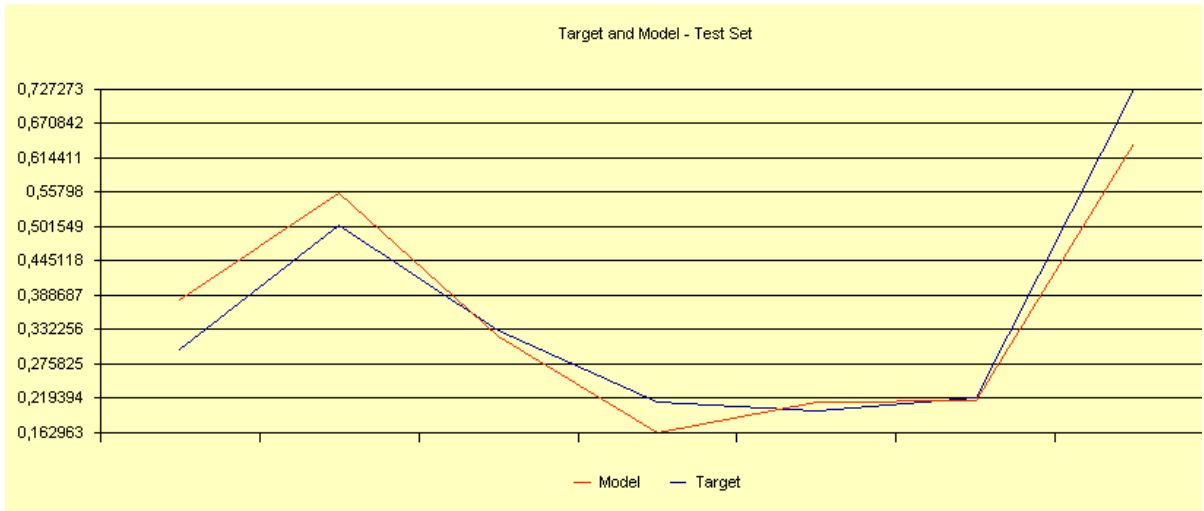
Yine daha önce olduğu gibi, sadece T 8.2 değeri girdi olarak kullanılarak alternatif model geliştirilmiştir. Bu modelden elde edilen sonuçlara göre eğitim seti R^2 değeri 0.92 test seti R^2 değeri 0.91 olmuştur (Şekil 13.8).



Şekil 13.8. Tek girdili modele ait sonuçlar



Şekil 13.9. Tek girdili modele ait eğitim seti grafiği

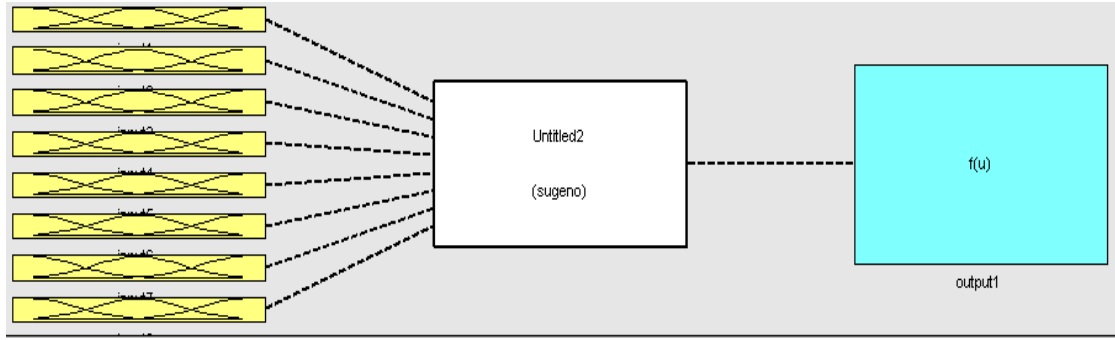


Şekil 13.10. Tek girdili modele ait test seti grafiği

13.2.4. Bulanık Mantık Yöntemi ile Geliştirilen Modeller

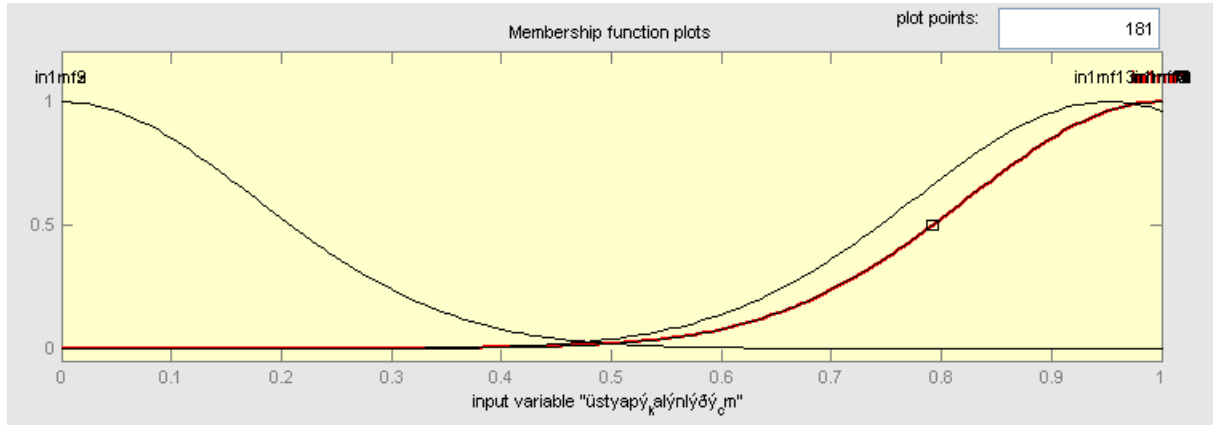
Performans tahmini amacıyla hibrit yöntemlerden biri olan ve bulanık mantık yöntemi ile yapay sinir ağları yöntemlerinin birlikte çalıştığı Adaptif Sinir Ağına Dayalı Bulanık Çıkarım Sistemi (Anfis) kullanılmıştır. ANFIS, Sugeno tipindeki bir modele dayalı olarak işlem yapan adaptif ağ yapılı bir bulanık sonuç çıkarım yöntemidir. Yöntemin esası, belirli bir giriş-çıkış veri kümesinden yararlanılarak uygun bulanık kural kümesinin ortaya konulması ve adaptif özellikli bir ağ yapısı vasıtasıyla sistem parametrelerinin sistematik olarak ayarlanmasına dayanır.

Öncelikle, yine sekiz parametre kullanılarak IRI değeri tahmin edilmeye çalışılmıştır. Geliştirilen modelin mimarisi Şekil 13.11’de görülmektedir.

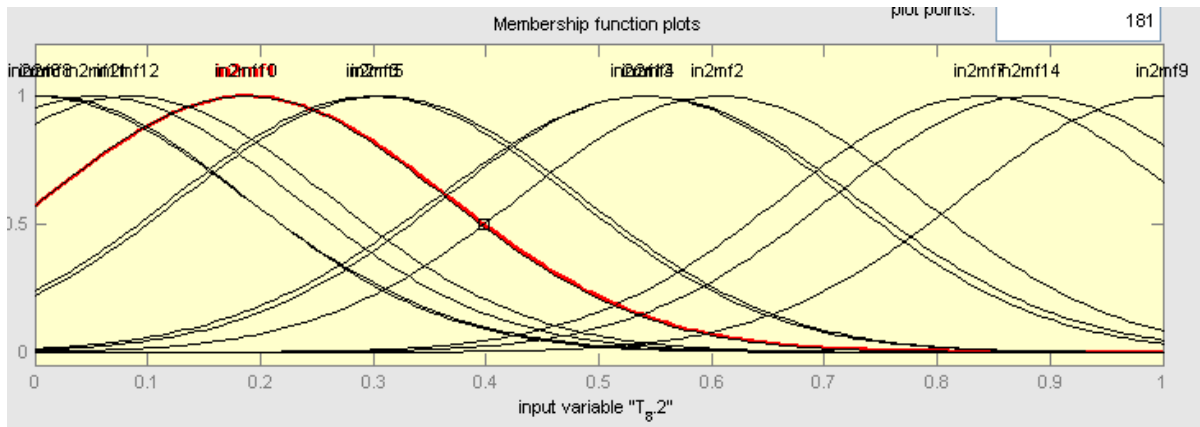


Şekil 13.11. Geliştirilen modelin mimarisi

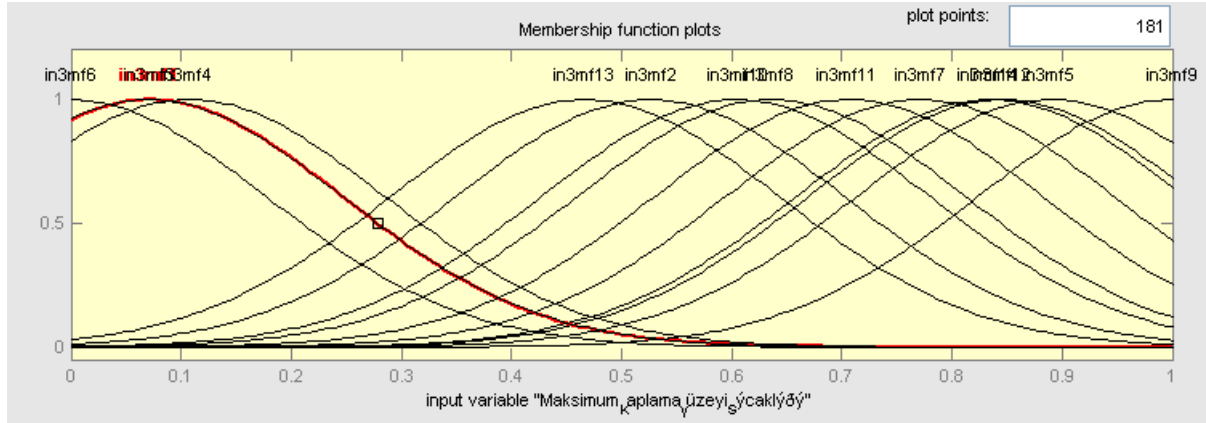
Bulanık mantık yöntemi ile yapılan modellemede elde edilen üyelik fonksiyonları Şekil 13.12, 13.13, 13.14, 13.15, 13.16, 13.17, 13.18, 13.19, ve 13.20’de görülmektedir.



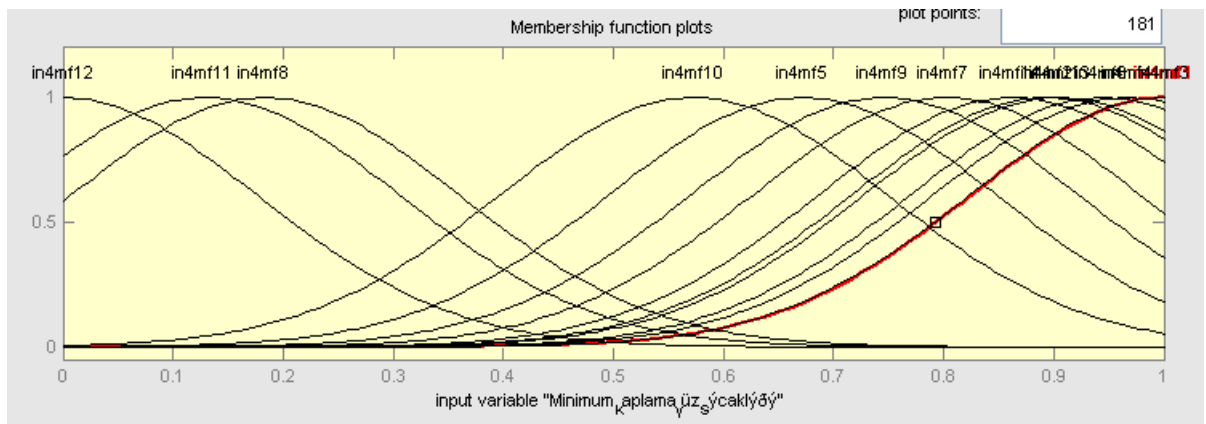
Şekil 13.12. Üstyapı kalınlığı girdisine ait üyelik fonksiyonu



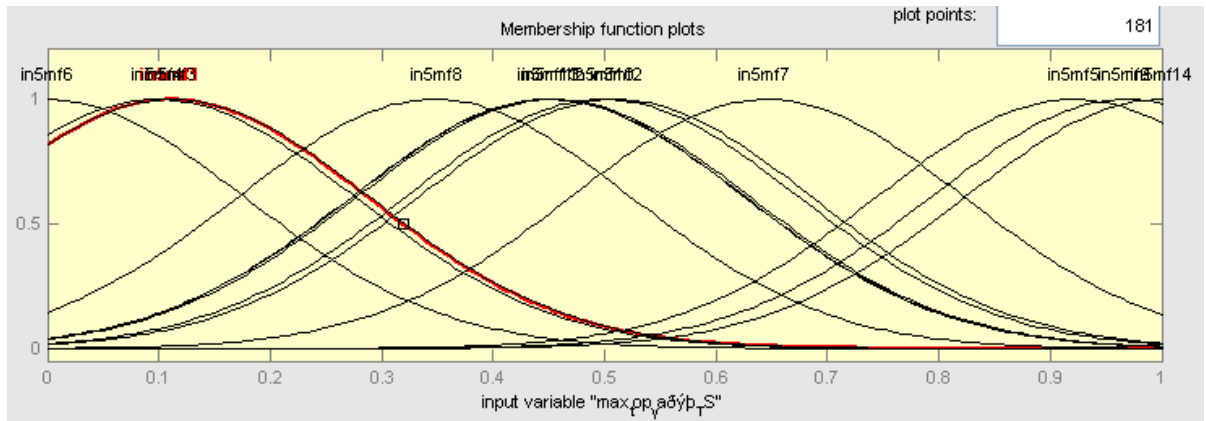
Şekil 13.13. T 8.2 girdisine ait üyelik fonksiyonu



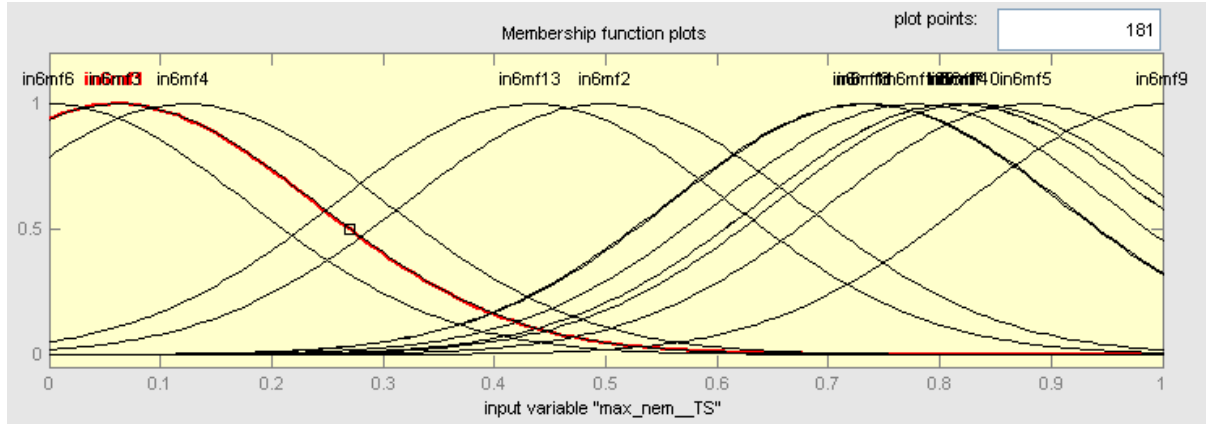
Şekil 13.14. Maksimum kaplama yüzeyi sıcaklığı girdisine ait üyelik fonksiyonu



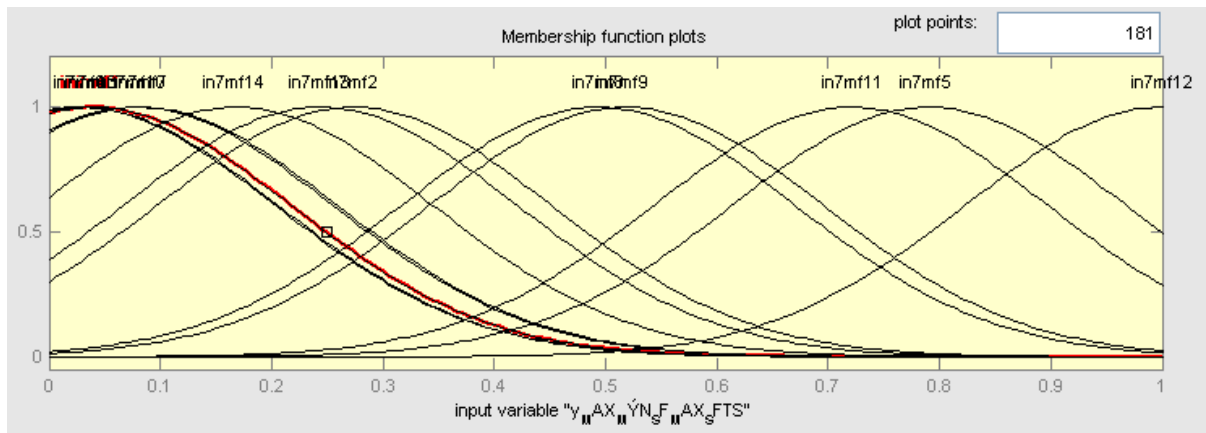
Şekil 13.15. Minimum kaplama yüzeyi sıcaklığı girdisine ait üyelik fonksiyonu



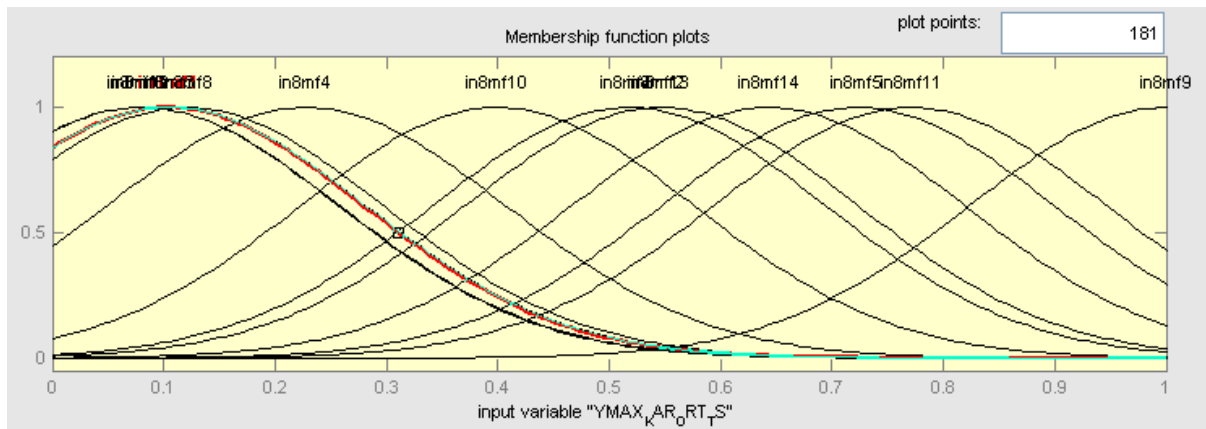
Şekil 13.16. Maksimum toplam sıcaklık girdisine ait üyelik fonksiyonu



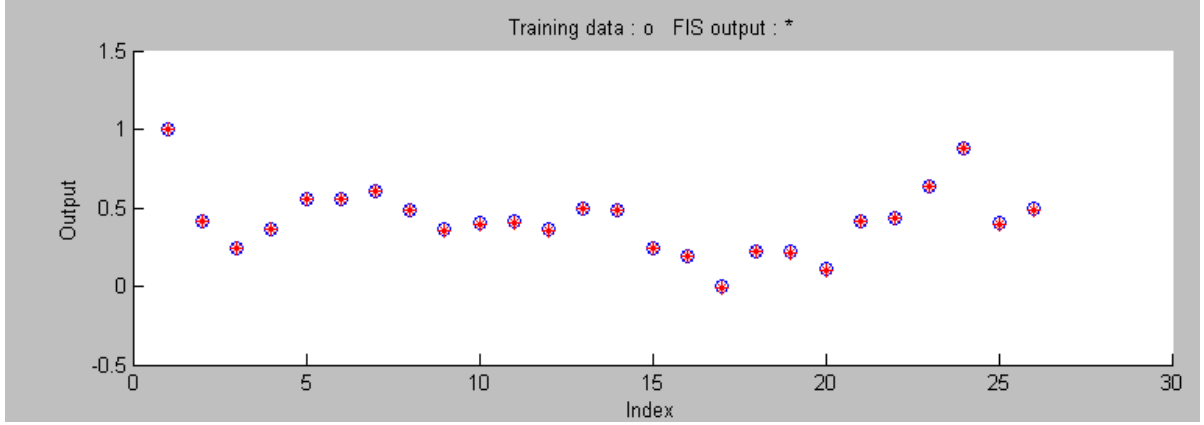
Şekil 13.17. Maksimum nem TS girdisine ait üyelik fonksiyonu



Şekil 13.18. YMAX MİN SF MAX SFTS girdisine ait üyelik fonksiyonu

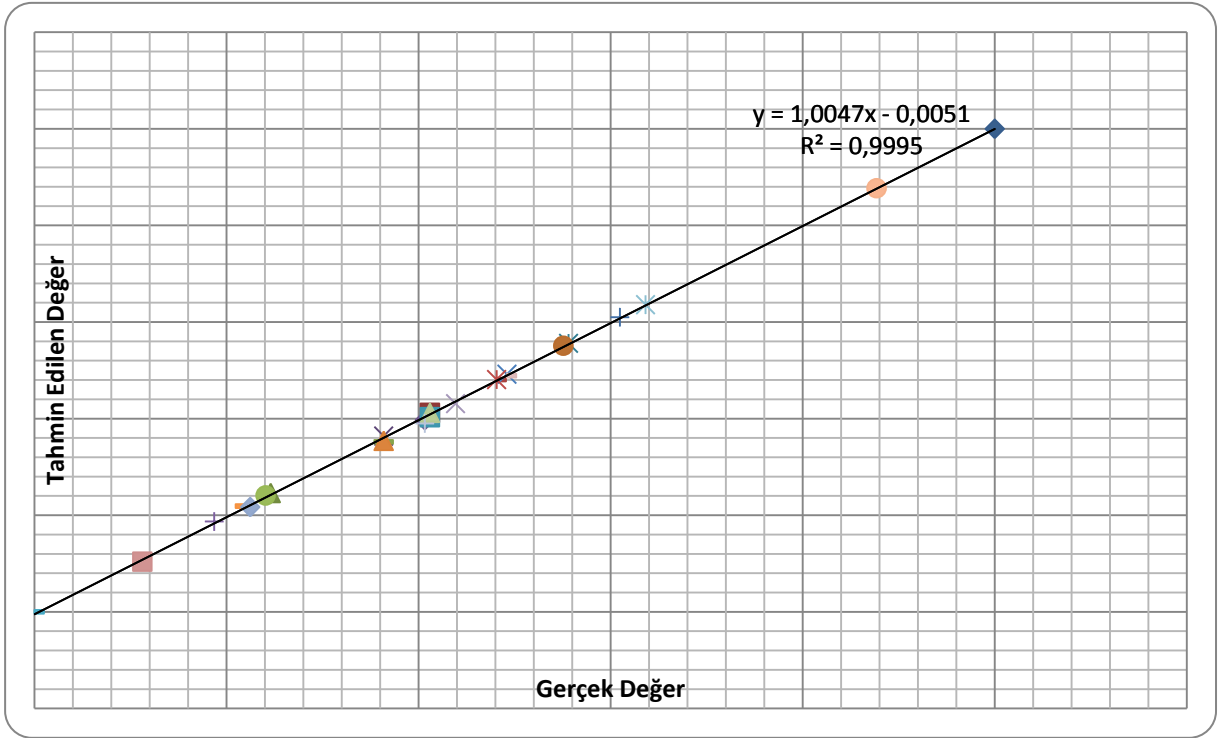


Şekil 13.19 YMAX KAR ORT TS girdisine ait üyelik fonksiyonu

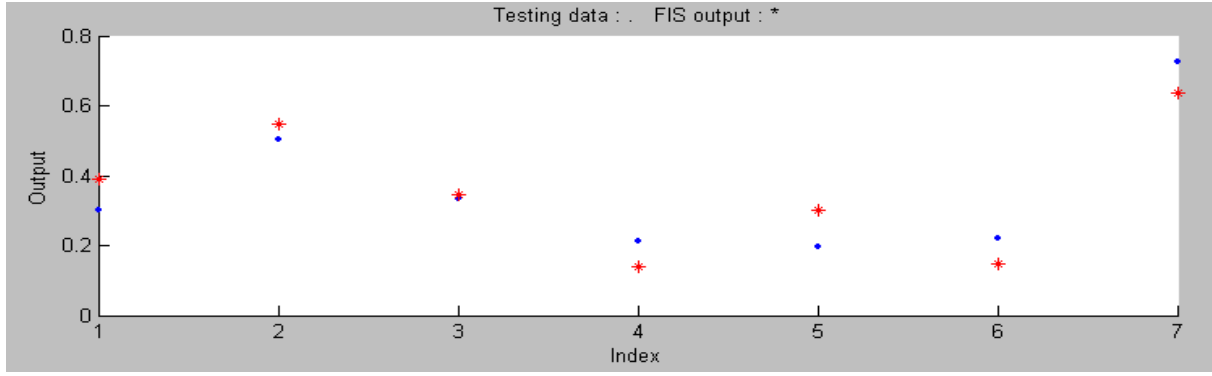


Şekil 13.22. Eğitim seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı

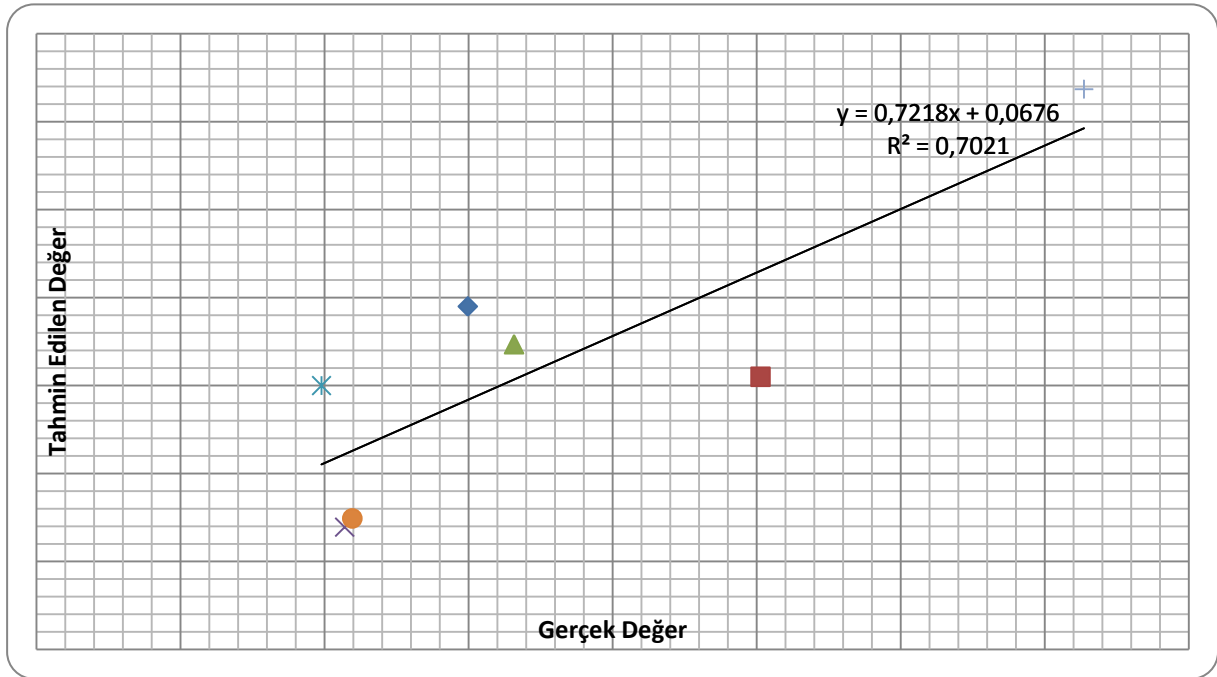
Şekil 13.25’de ise amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki görülmektedir.



Şekil 13.23. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki

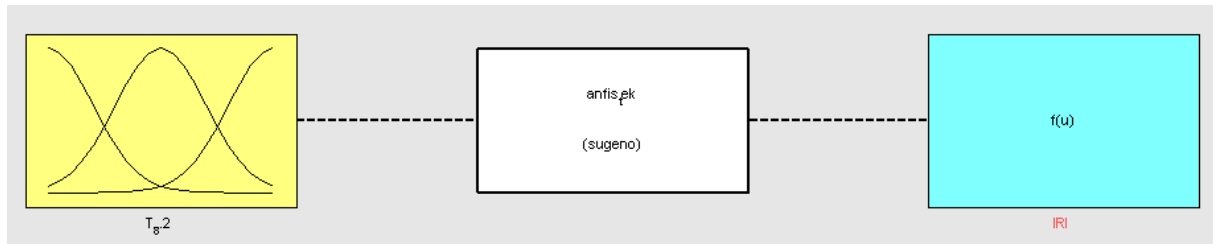


Şekil 13.24. Test seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı

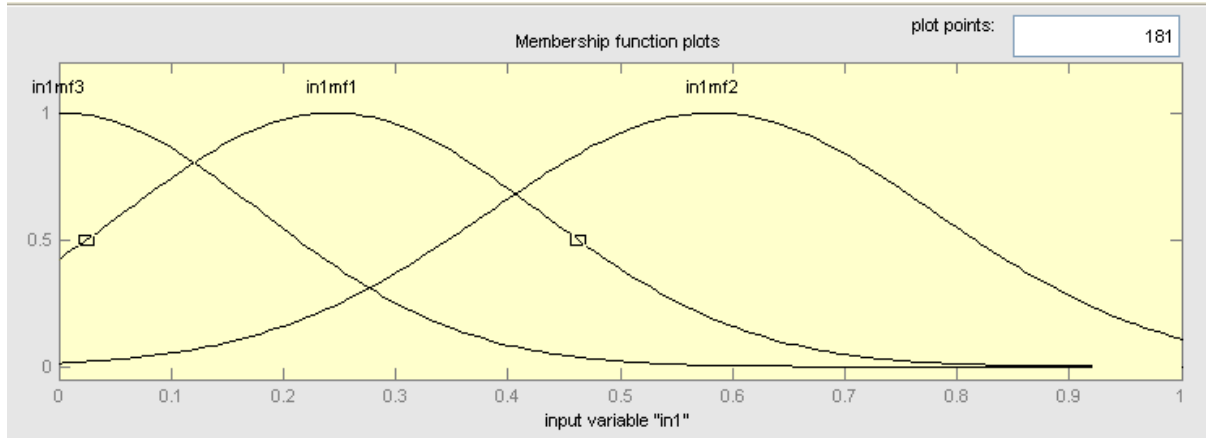


Şekil 13.25. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki

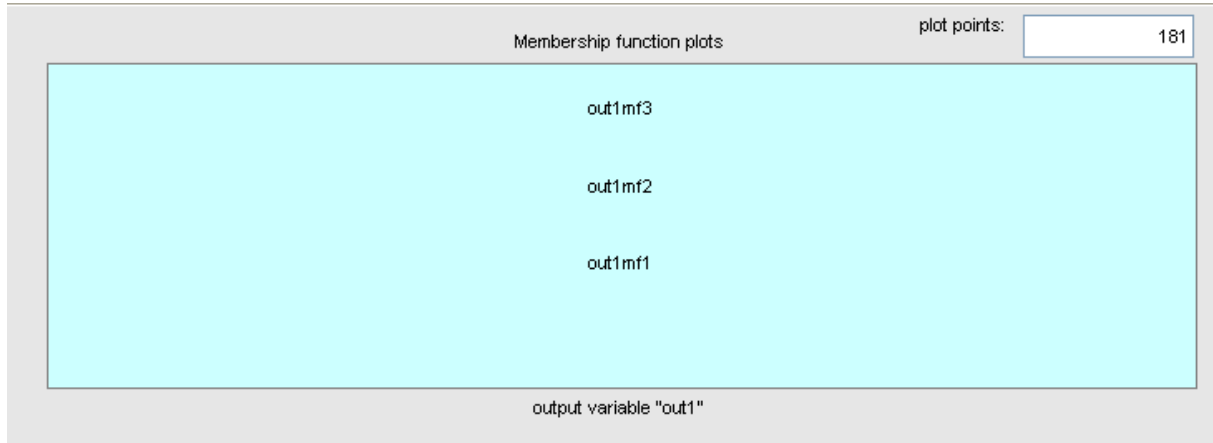
Daha önce olduğu gibi, sadece yığılımlı eşdeğer standart dingil yükü sayısı (T 8.2) kullanılarak da ANFIS modeli geliştirilmiştir. Modelin yapısı Şekil 13.26’da görülmektedir. Ayrıca Şekil 13.27’de T 8.2’ye ait üyelik fonksiyonu, 15.28’da ise IRI’ya ait üyelik fonksiyonu görülmektedir.



Şekil 13.26. Modelin yapısı

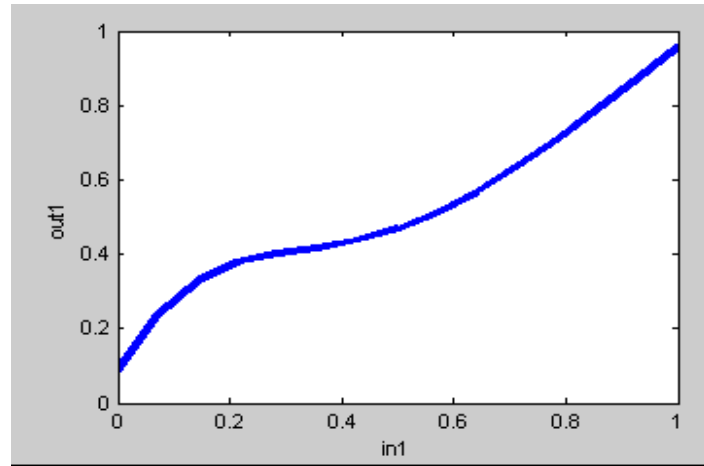


Şekil 13.27. T 8.2 girdisine ait üyelik fonksiyonu

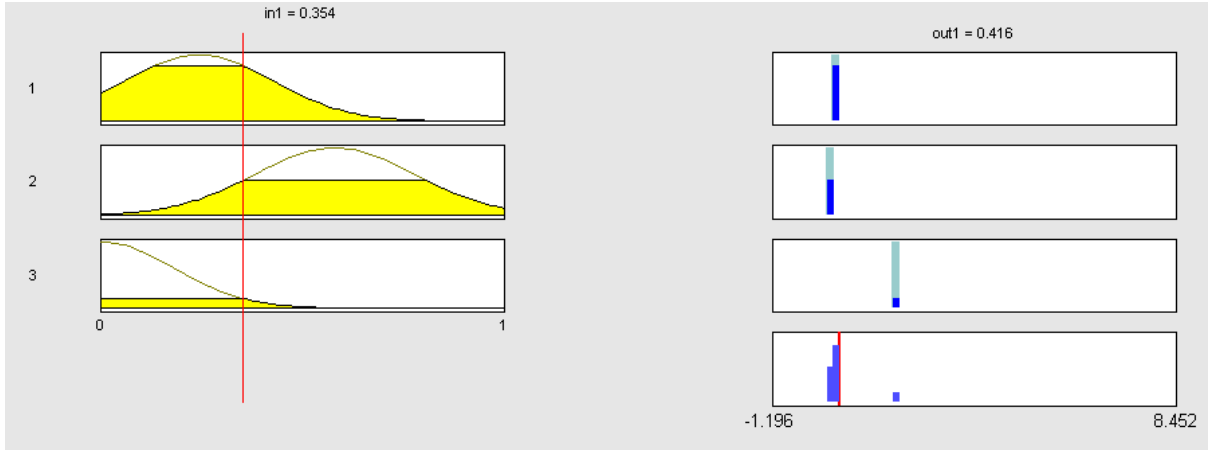


Şekil 13.28. IRI çıktısına ait üyelik fonksiyonu

Şekil 13.29'de geliştirilen modele ait T 8.2 ile IRI değeri arasındaki ilişki görülmektedir. Şekil 13.30'de ise örnek bir çözüm ekranı verilmiştir.

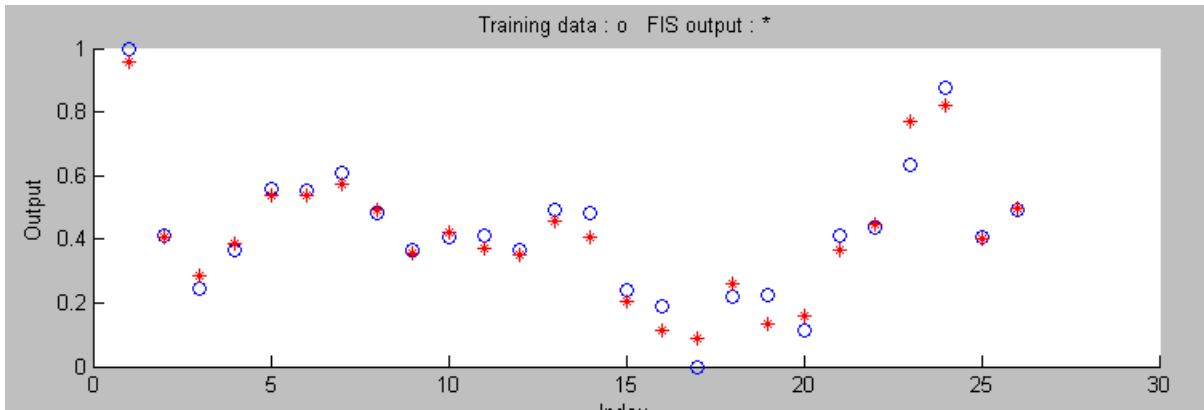


Şekil 13.29. T 8.2 ile IRI değeri arasındaki ilişki



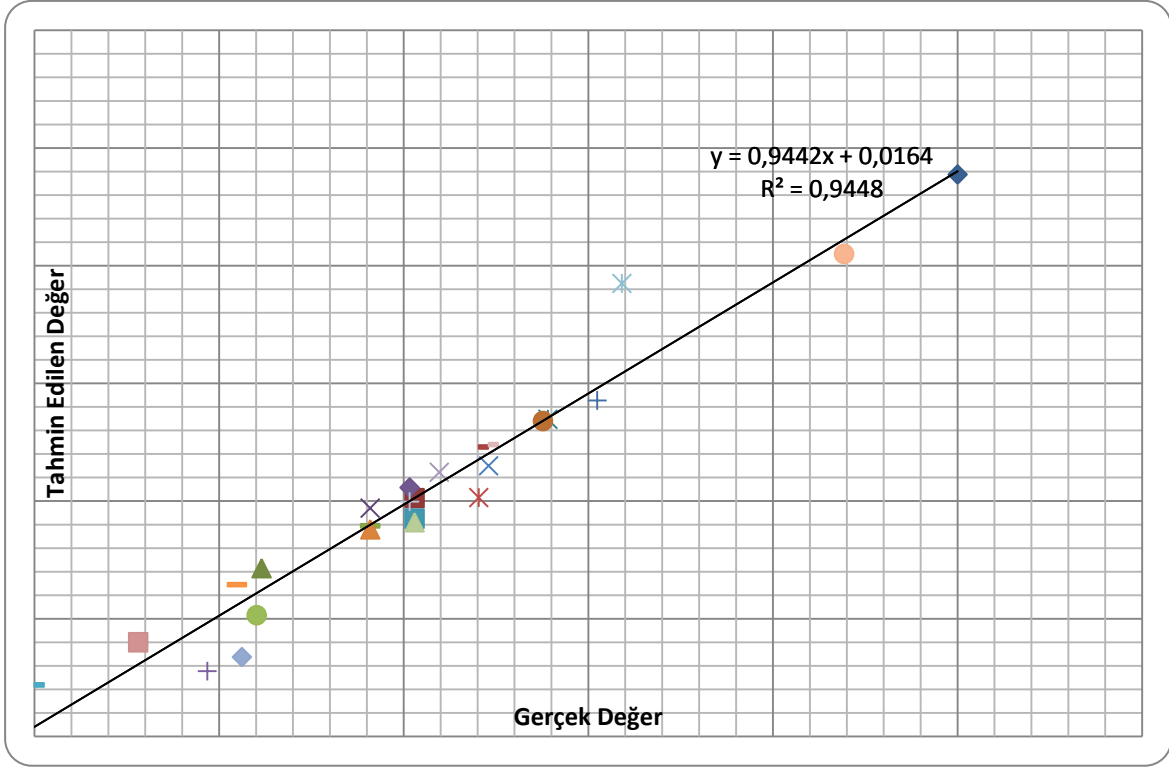
Şekil 13.30. Örnek bir çözüm ekranı

Şekil 13.31’da gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin eğitim setindeki dağılımı görülmektedir. Şekilde mavi daireler gerçek değerleri, kırmızı yıldızlar ise tahmin edilen değerleri göstermektedir.



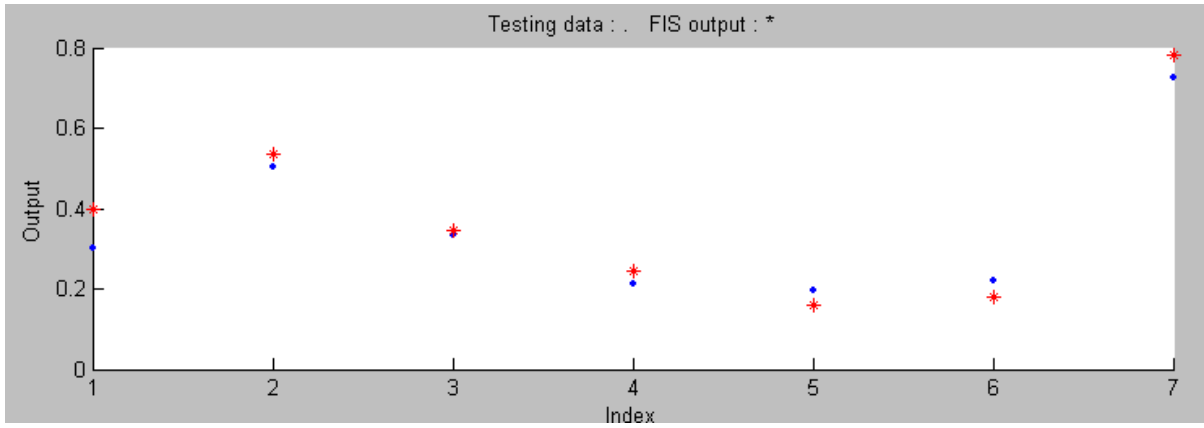
Şekil 13.31. Eğitim seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı

Gerçek ve tahmin edilen değerler kullanılarak oluşturulan grafik Şekil 13.32’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 0.94 R^2 değeri elde edilmiştir.



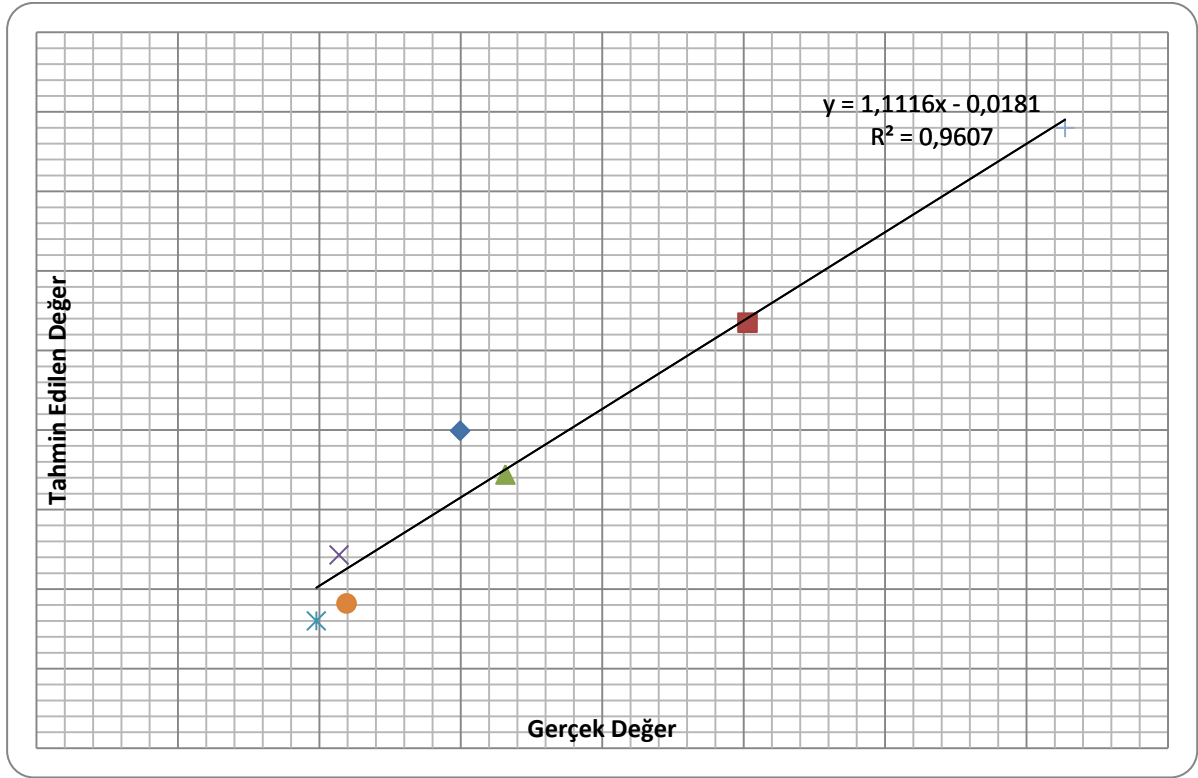
Şekil 13.32. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki

Şekil 13.33’de gerçek değerler ile tahmin edilen değerlerin test setindeki saçılımı görülmektedir. Şekilde mavi daireler gerçek değerleri, kırmızı yıldızlar ise tahmin edilen değerleri göstermektedir.



Şekil 13.33. Test seti amaçlanan ve bulunan değerlerin dağılımı

Gerçek ve tahmin edilen değerler kullanılarak oluşturulan grafik Şekil 13.34’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi 0.96 R^2 değeri elde edilmiştir.



Şekil 13.34. Amaçlanan değerler ile tahmin edilen değerler arasındaki ilişki

13.2.5. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Geliştirilen Performans Tahmin Modeli

Karayolları Genel Müdürlüğü 2010 yılında, “Haymana (260 - 04) Dya (Polatlı) - Ankara Çevre Otoyolu Ayrımı 200 - 12 / 0 - 52 Kesimi (Polatlı - Ankara Arası) Yol Üstyapı Performans Raporu” isimli bir çalışma yaptırmıştır. Çalışmada analiz edilen kesimlere ait veriler Tablo 1’de görülmektedir. Tablo 13.9’ da ise, aynı kesimlere ait YOGT değerleri verilmiştir.

Tablo 13.9. Ankara – Polatlı Devlet Yolu dilim sayısı ve uzunlukları (Komsa, 2010)

İstikamet Adı	Dilim No: 1 Uzunluk (Km)	Dilim No: 2 Uzunluk (Km)	Toplam Uzunluk (Km)
Polatlı – Ankara Yönü (Gidiş)	24, 68	29,68	54,36
Ankara – Polatlı Yönü (Dönüş)	24,74	29,66	54,40

Tablo 13.9. Ankara – Polatlı yolu YOGT ve YOGATT sayım bilgileri (tş/gün) (Komsa, 2010)

Yıl	Otomobil	Orta Yük. Tic. Taşıt	Otobüs	Kamyon	Treyler	TOPLAM		Ağır Taşıt Yüzdesi
						YOGT	YOGATT	
1999	8495	-	860	3823	504	13682	5187	38
2000	8216	-	809	3642	468	13135	4919	37
2001	8129	-	812	3645	471	13057	4928	38
2002	8081	-	819	3692	476	13068	4987	38
2003	7876	-	774	3491	451	12592	4716	37
2004	8791	820	1128	3323	1187	15249	5638	37
2005	9672	902	1241	3656	1306	16777	6203	37
2006	10879	945	978	3145	1035	16982	5158	30
2007	11368	993	1029	3281	1064	17735	5374	30
2008	14107	980	920	2605	1247	19859	4772	24
2009	11368	844	886	2247	1241	16586	4374	26

Komsa (2010) tarafından yapılan çalışmada birçok veri araziden toplanmış ve değerlendirilmiştir. FWD Değerleri ile yapılan hesaba ilişkin izlenen yöntem aşağıda belirtilmiştir;

a) FWD Ham verilerinden d_0 esas alınarak, 100 - 85 arasında seçilen sınır değeri kriteriyle, taban zemini esneklik modülü (MR değeri) ‘Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi’de (KEÜPR) belirtilen modelle hesaplanmıştır.

b) Üstyapının sıcaklığına göre yine KEÜPR’de belirtildiği üzere d_0 noktasında defleksiyon düzeltilmesi yapılmıştır.

c) Mevcut proje üstyapı kalınlıkları ve üstyapı sıcaklığı düzeltilmesi yardımıyla, Üstyapı Efektif Modülü (Ep) ‘Non-Destructive Estimation of Pavement Thickness, Structural Number and Subgrade Resilience along INDOT Highways’de önerilen modelle hesaplanmıştır.

d) Bulunan Efektif Modül (EP) yardımıyla, Mevcut Üstyapı Sayısı (SNM) KEÜPR’de belirtilen şekilde bulunmuştur.

e) Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi madde 11.2’de belirtilen yöntemle, Gerekli Üstyapı Sayısı (SNG) hesaplanmıştır.

f) Gerekli SN ve mevcut SN arasındaki farktan ilgili kesim için gerekli takviye kalınlıkları

Yüzey Bozulma Ölçüm Analizleri sırasında her 20 m.'de bir miktarları ve yoğunlukları Karayolları Genel Müdürlüğü kriterleri esas alınarak belirlenmiş olan yüzey bozulma analiz sonuçları kullanılarak, yine idarece benimsenmiş olan Üstyapı Puanı (ÜP) hesaplanma yöntemiyle, 1 km'lik aralıklarda Üstyapı Puanı hesapları yapılmıştır.

Ayrıca, üstyapılarda rastlanan ve yapısal olarak kabul edilen bozulmaların yoğunlukları vasıtasıyla bulunan Üstyapı Yapısal Puanı (ÜYP) değeri mevcut üstyapının yapısal kaybını gösteren bir katsayı olarak kabul edilmiştir. Elde edilen bu katsayı ile proje SN kalınlığı (SN0) çarpılarak mevcut SN (SNM) kalınlığı bulunmuştur. Daha sonra, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi madde 11.2'de belirtilen yöntemle, Gerekli Üstyapı Sayısı (SNG) hesaplanmıştır. Gerekli SN ve mevcut SN arasındaki farktan ilgili kesim için gerekli takviye kalınlıkları bulunmuş ve tüm yöntemlerde değerlendirme kriteri olarak, söz konusu kesimde, yalnızca AC aşınma takviyesi yapılma durumunda gerekli teorik kalınlığı temsil eden "Eşdeğer Aşınma Kalınlığı" değeri bulunmuştur.

Kalan Ömür Metodu ile yapılan hesaba ilişkin izlenen yöntem aşağıda belirtilmiştir;

- a)** Mevcut proje üstyapı kalınlıkları yardımıyla, Proje SN değeri bulunmuştur.
- b)** $P_t = 2.5$ oluncaya kadar geçecek toplam trafik sayısı hesaplanmıştır.
- c)** Takviye tabakası yapılma tarihine kadar geçen trafik sayısı hesaplanmıştır.
- d)** 'Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi'nde belirtilen hesap yöntemi kullanılarak Kalan Ömür (%) değerleri hesaplanmış ve ilgili grafikten Durum Faktörü değeri okunmuştur.
- e)** Proje SN değerinin Durum Faktörü çarpımı sonucunda Mevcut Üstyapı Sayısı (SNM) bulunmuştur.
- f)** Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi madde 11.2'de belirtilen yöntemle, Gerekli Üstyapı Sayısı (SNG) hesaplanmıştır.
- f)** Gerekli SN ve mevcut SN arasındaki farktan ilgili kesim için gerekli takviye kalınlıkları bulunmuş ve tüm yöntemlerde değerlendirme kriteri olarak söz konusu kesimde, yalnızca AC Aşınma takviyesi yapılma durumunda gerekli teorik kalınlığı temsil eden "Eşdeğer Aşınma Kalınlığı" değeri bulunmuştur.

Komsa (2010) raporunda bahsedilen verilerden bazıları kullanılarak bir model geliştirilmesi amaçlanmıştır. Bahsedilen modelde kullanılan veriler Tablo 13.10'da verilmiştir.

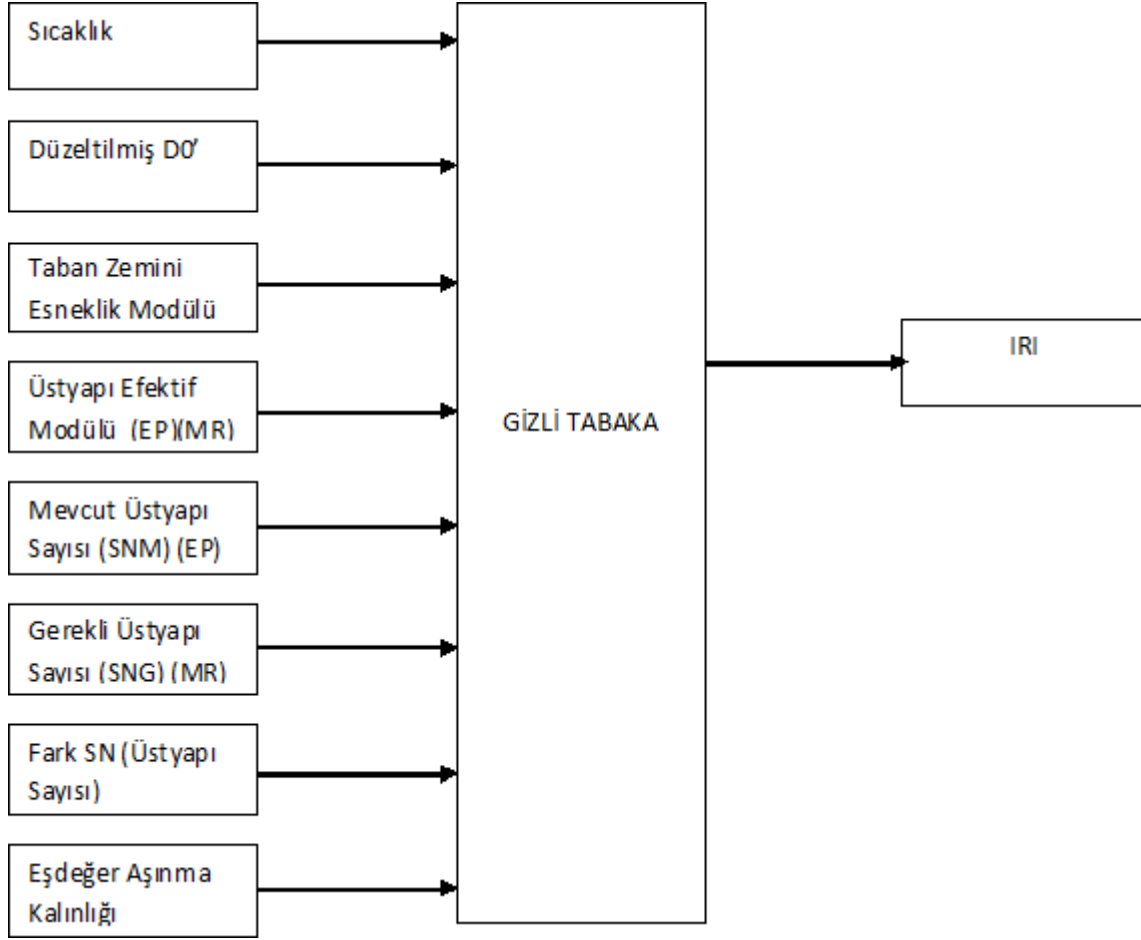
Tablo 13.10. Model verileri

Sıcaklık	Düzeltilmiş D0'	Taban Zemini Esneklik Modülü (MR)	Üstyapı Efektif Modülü (EP)	Mevcut Üstyapı Sayısı (SNM)	Gerekli Üstyapı Sayısı (SNG)	Fark SN (Üstyapı Sayısı)	Eşdeğer Aşınma Kalınlığı	IRI
°C	3m	psi	psi	cm	cm	cm	cm	m/km
9	183,9	8702,26	176374,5	16,4	15,27	-1,13	0	1,79
10	317,6	6718,2	94603,25	13,33	16,52	3,19	7,6	2,09
9	324,5	8902,31	85229,64	12,87	15,17	2,29	5,5	2,19
9	408,7	8165,09	65471,03	11,79	15,57	3,78	9	1,9
9	244	10210,65	115779,2	14,26	14,53	0,28	0,7	2,49
9	323,3	8296,78	86600,59	12,94	15,5	2,56	6,1	2,02
10	347,2	9953,57	75401,28	12,36	14,65	2,29	5,5	2,11
10	389,9	7916,64	68407,76	11,96	15,72	3,76	8,9	2,26
10	447,9	7824,6	58435,69	11,35	15,78	4,42	10,5	2,75
10	336,5	7992,18	82572,84	12,74	15,67	2,94	7	1,74
10	180,1	12640,68	163903,1	16,01	13,58	-2,42	0	1,46
10	571,2	10288,01	43425,42	10,28	14,5	4,22	10	1,83
10	136,3	11917,83	241725,5	18,22	13,84	-4,38	0	1,22
10	161,2	11646,97	192445,7	16,89	13,94	-2,94	0	1,55
10	216,9	9168,45	140433,8	15,2	15,03	-0,18	0	1,15
9	335,4	8296,78	82792,62	12,75	15,5	2,75	6,5	1,65
10	133,9	13164,96	238022,1	18,13	13,41	-4,72	0	1,79
10	290,3	9892,32	94962,87	13,34	14,68	1,33	3,2	1,65
10	421,9	8702,26	62254	11,59	15,27	3,68	8,8	1,66
10	176,6	10817,4	177690,1	16,44	14,27	-2,17	0	1,68
10	129,2	12811,66	252867,6	18,5	13,52	-4,97	0	1,18
10	157,6	10438,77	207213,3	17,31	14,43	-2,87	0	1,12
10	142,2	11345,17	231089,1	17,95	14,06	-3,89	0	1,3
10	129,2	12030,26	264140,3	18,77	13,8	-4,97	0	1,33
9	259,6	9264,83	109559,2	14	14,98	0,98	2,3	1,94
9	413,5	13140,17	60207,39	11,46	13,41	1,95	4,6	1,38
9	170,7	10365,36	188941,3	16,78	14,47	-2,32	0	1,27
8	147,5	12569,93	212908,7	17,47	13,61	-3,86	0	2,05
9	337,8	7136,13	83563,98	12,79	16,22	3,43	8,2	2,14
9	209,1	9633,37	147519	15,46	14,8	-0,66	0	1,67
9	209,1	12980,87	135057,7	15,01	13,47	-1,54	0	1,44
8	152,4	14503,77	197399,4	17,03	12,99	-4,04	0	1,34
8	236,5	9092,42	127041,6	14,7	15,07	0,36	0,9	1,92
8	554,6	10780,11	44794,37	10,39	14,29	3,9	9,3	1,67
8	503,4	9352,73	50467,56	10,81	14,94	4,13	9,8	1,94
8	447,4	9405,48	58005,14	11,32	14,91	3,59	8,5	2,12
8	171,9	8990,64	183489	16,62	15,12	-1,5	0	1,57

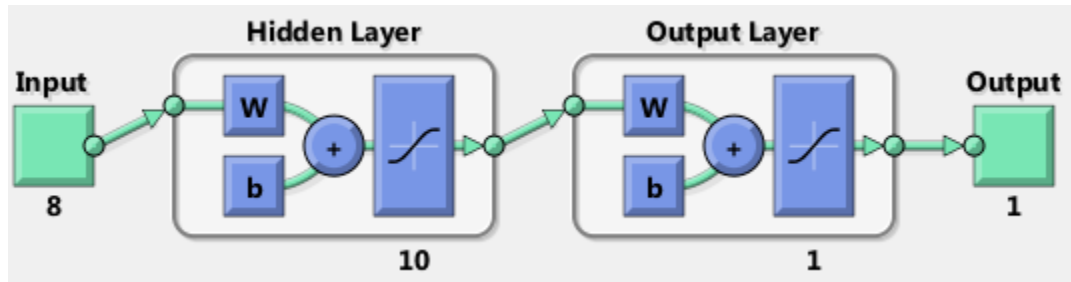
7	124,8	10903,54	289672,4	19,35	14,24	-5,12	0	1,44
7	139,7	13358,74	241013,5	18,2	13,34	-4,86	0	1,5
7	116,2	13460,52	287839	19,31	13,31	-6	0	1,32
7	169,3	10716,67	186529,7	16,71	14,32	-2,4	0	1,68
6	185,4	11805,39	156793,1	15,77	13,88	-1,89	0	1,75
6	116,5	13824,31	282971	19,2	13,2	-6,01	0	1,39
7	113,7	14154,61	288492,4	19,33	13,09	-6,23	0	1,13
8	320,6	10800,68	81631,88	12,69	14,28	1,59	3,8	1,77
8	178	9007,6	186730,1	16,72	15,11	-1,61	0	1,65
8	214,5	7884,1	150771,3	15,57	15,74	0,17	0,4	1,48
9	199,5	9306,59	159754	15,87	14,96	-0,91	0	1,81
8	102,4	12763,32	359988,8	20,81	13,54	-7,27	0	1,92
8	158,5	13140,17	188724,7	16,78	13,41	-3,36	0	2,12
8	117	10862,4	320773,7	20,02	14,25	-5,77	0	1,73
8	115,8	13090,58	292453,1	19,42	13,43	-5,98	0	1,54
9	241,6	10930,38	113094,6	14,15	14,23	0,08	0,2	1,53
9	153,9	10094,62	213821,2	17,49	14,59	-2,9	0	1,4
18	132,2	11182,62	262631,7	18,73	14,12	-4,61	0	1,24
18	141,6	12017,41	222924,4	17,74	13,81	-3,93	0	1,55
18	165,7	9298,53	232134,7	17,98	14,96	-3,01	0	1,4
17	150,3	11723,88	242010,2	18,23	13,91	-4,31	0	1,27
18	173,1	11760,88	204333,1	17,23	13,9	-3,33	0	1,4
17	174,8	9783,9	219274,2	17,64	14,73	-2,91	0	1,3
17	108,7	19062,1	398111,6	21,52	11,85	-9,66	0	1,37
17	136,4	12219,84	397497	21,51	13,73	-7,77	0	1,04
17	157,8	11181,94	318500,8	19,98	14,12	-5,85	0	0,93
16	189,5	6584,25	359859,3	20,81	16,62	-4,19	0	1,03
16	215,5	8974,63	193989,5	16,93	15,13	-1,8	0	1,25
16	242,6	7630,24	205091	17,25	15,9	-1,35	0	1,49
15	161,7	9949,45	325829,5	20,13	14,65	-5,48	0	0,96
15	162,8	12281,56	291115,1	19,39	13,71	-5,68	0	0,87
14	154,1	11634,72	335230,6	20,32	13,95	-6,37	0	1,32
14	208,9	9072,91	160874,3	15,91	15,08	-0,83	0	1,27
14	164,2	8866,15	218774,9	17,62	15,18	-2,44	0	1,19
13	209,8	12155,54	133868,9	14,96	13,75	-1,21	0	1,41
13	243,8	9490,12	118786,9	14,38	14,87	0,49	1,2	1,38
13	152	11690,92	209641,2	17,38	13,93	-3,45	0	1,33
13	184,8	12030,26	160457,8	15,89	13,8	-2,09	0	1,48
13	195	8496,2	170104,7	16,21	15,38	-0,82	0	1,4
12	187,6	10818,54	187404,3	16,74	14,27	-2,47	0	1,55
13	173,5	9193,92	208430,7	17,34	15,02	-2,33	0	1,33
13	152	13638,63	200096,5	17,11	13,25	-3,85	0	1,41
13	162,2	12316,69	189408,1	16,8	13,7	-3,1	0	1,27
12	165,7	10294,83	201317,6	17,14	14,5	-2,65	0	1,28

12	271,6	9496,52	108505,9	13,95	14,87	0,91	2,2	1,16
13	166,7	11756,84	185493,3	16,68	13,9	-2,78	0	1,15
11	141,3	13222,6	229651,7	17,91	13,39	-4,52	0	1,43
11	217,2	10134,04	140304,7	15,2	14,57	-0,63	0	1,43
11	148,3	12523,89	217635,8	17,59	13,62	-3,97	0	1,32
11	162,4	11329,76	197072,8	17,02	14,07	-2,96	0	1,57
11	140,2	9513,78	278520,8	19,1	14,86	-4,24	0	2,01
9	198,3	11224,66	149130,9	15,51	14,11	-1,4	0	1,97
10	525	11259,22	46445,39	10,51	14,09	3,58	8,5	2,41
10	188,4	10993,44	156227,6	15,75	14,2	-1,55	0	1,35
9	221,2	8852,3	138443,1	15,13	15,19	0,06	0,1	1,88
10	130,4	12787,49	249080,3	18,4	13,53	-4,87	0	1,64
9	153,9	11182,62	209835,6	17,38	14,12	-3,26	0	1,56
9	152,7	12593,52	203459,9	17,2	13,6	-3,6	0	1,96
8	129,2	17436,76	246903,9	18,35	12,22	-6,13	0	1,44
8	531,5	10399,3	46466,45	10,52	14,45	3,94	9,4	1,62
7	171,8	10756,96	183492,5	16,62	14,3	-2,32	0	1,35
6	127,8	15499,99	237373,2	18,11	12,71	-5,4	0	1,18
9	139,4	11280,71	236511,3	18,09	14,09	-4	0	2,36
9	144,2	12109,5	218865,2	17,63	13,77	-3,86	0	1,8
17	181,2	8908,33	198871	17,07	15,16	-1,91	0	1,62
18	151,1	10652,21	308819,5	19,77	14,34	-5,43	0	1,06
16	147,3	12483,6	336927,5	20,35	13,64	-6,72	0	1,29
15	141,9	12956,7	360794,2	20,82	13,48	-7,35	0	1,46
14	216,7	9335,15	139701,7	15,18	14,95	-0,23	0	1,62
12	224,4	9851,62	133992,6	14,97	14,7	-0,27	0	1,25
12	178,4	10481,39	179568,1	16,5	14,42	-2,09	0	1,27
12	202,6	11392,82	147260,4	15,45	14,04	-1,4	0	1,62
11	140,2	9513,78	278520,8	19,1	14,86	-4,24	0	1,75

Tablo 3’de görülen veriler kullanılarak oluşturulan Yapay Sinir Ağları modelinin yapısı Şekil 1 ve 2’de görülmektedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi girdi verileri Sıcaklık, Düzeltilmiş D0’, Taban Zemini Esneklik Modülü (MR), Üstyapı, Efektif Modülü (EP), Mevcut Üstyapı Sayısı (SNM), Gerekli Üstyapı Sayısı (SNG), Fark SN (Üstyapı Sayısı), ve Eşdeğer Aşınma Kalınlığı seçilmiştir. Çıktı olarak ise, IRI tahmin edilecektir. Gizli tabakada 8 sinir hücresi kullanılmış, aktivasyon fonksiyonu olarak logaritmik sigmoid kullanılmıştır. İterasyon sayısı olarak 10000 seçilmiştir.

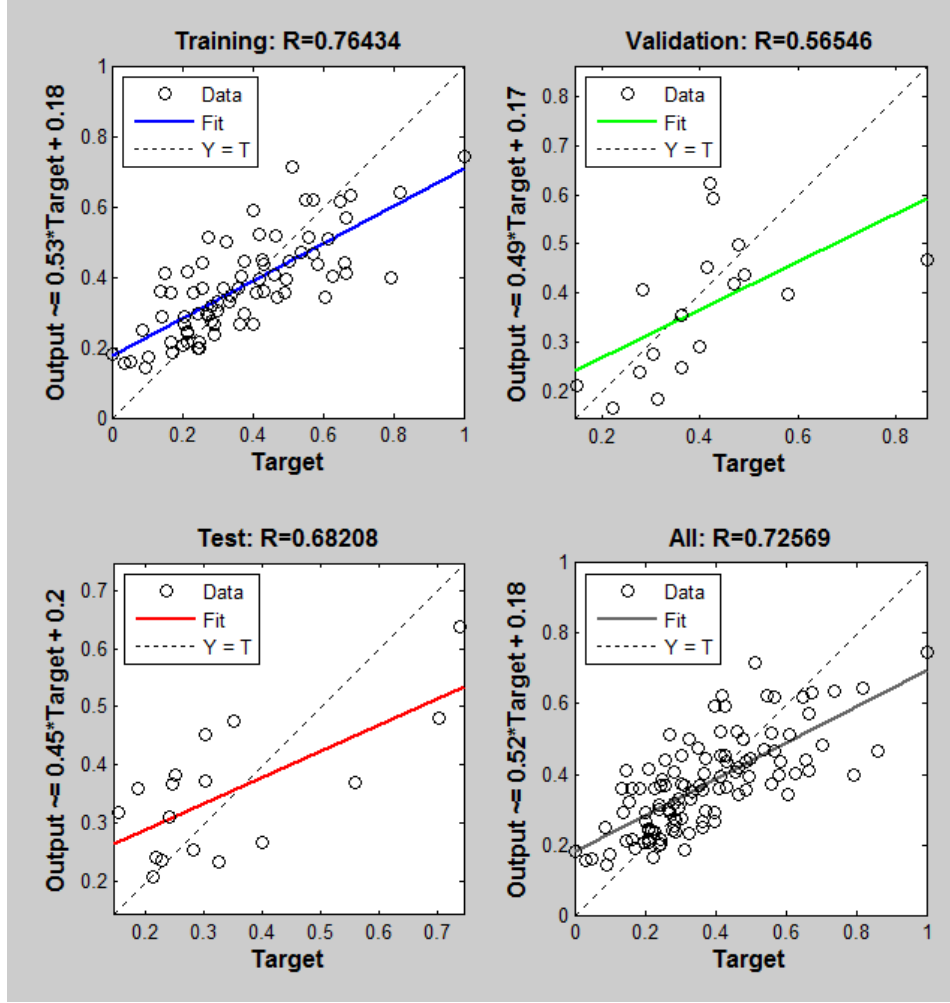


Şekil 13.35. Yapay Sinir Ağları modelinin yapısı



Şekil 13.36. Yapay Sinir Ağları modeli

Yapılan model eğitimi sonrasında, elde edilen sonuçlara ait grafik Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi eğitim setinin regresyon değeri 0.76, doğrulama setinin regresyon değeri 0.57 ve test setinin regresyon değeri ise 0.68 olarak elde edilmiştir. Genel regresyon değeri ise 0.72 olarak elde edilmiştir.



Şekil 13.37. Model sonuçları

13.2.5.1. Sonuçlar

KGM tarafından Komsa Yapı firmasına yaptırılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yapılan modelleme çalışması sonucunda üstyapı performans göstergelerinden IRI tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Sıcaklık, Düzeltilmiş D_0 , Taban Zemini Esneklik Modülü (MR), Üstyapı, Efektif Modülü (EP), Mevcut Üstyapı Sayısı (SNM), Gerekli Üstyapı Sayısı (SNG), Fark SN (Üstyapı Sayısı), ve Eşdeğer Aşınma Kalınlığı girdi olarak seçilmiştir.

Geliştirilen YSA modeli sonucunda, eğitim setinin regresyon değeri 0.76, doğrulama setinin regresyon değeri 0.57 ve test setinin regresyon değeri ise 0.68 olarak elde edilmiştir. Genel regresyon değeri ise 0.72 olarak elde edilmiştir.

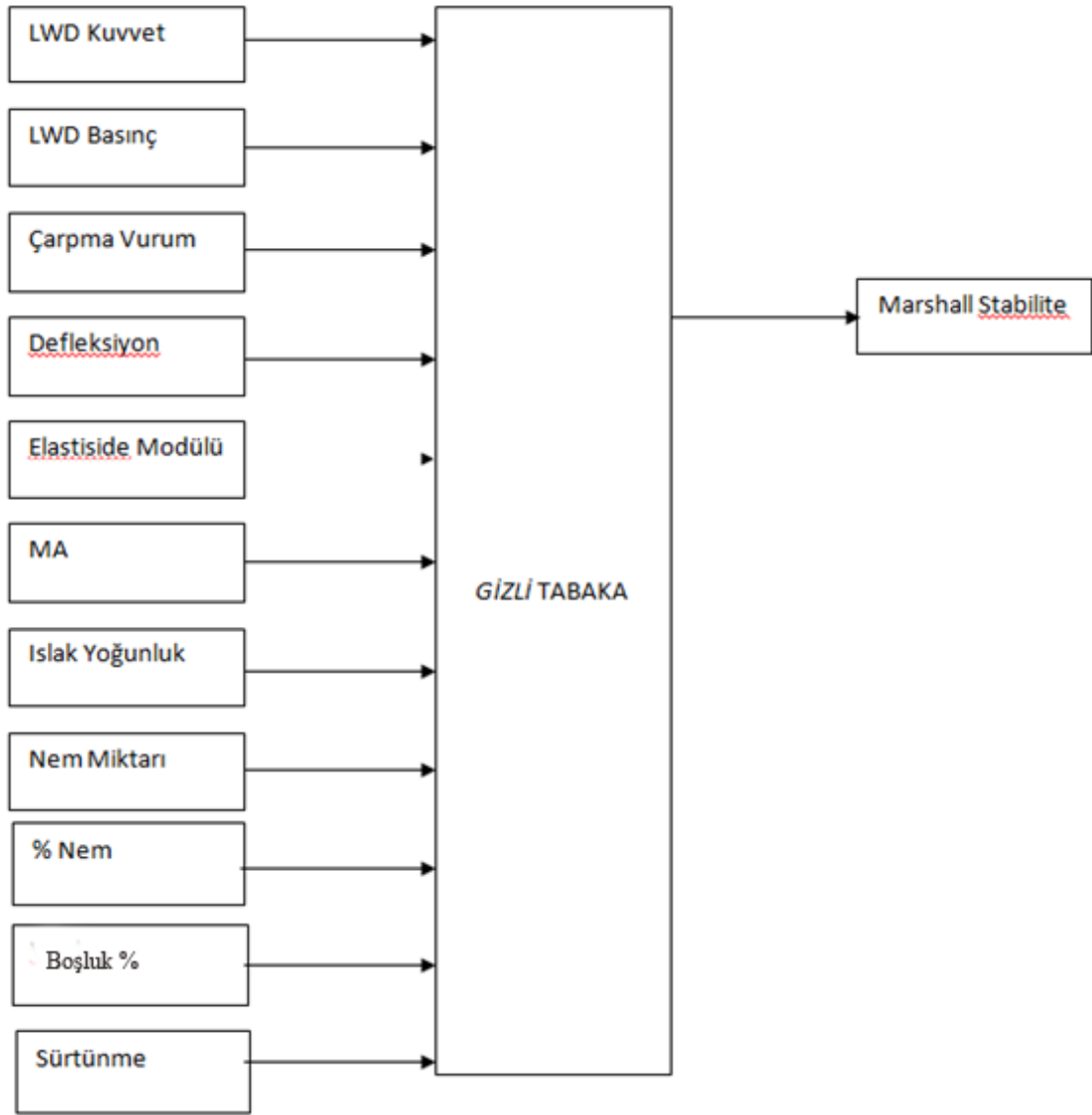
Elde edilen bu değerler, benzer modelleme çalışmaları ile karşılaştırıldığında çok yüksek değildir. Bunun nedeni, mevcut verilerin elde edildiği karayoluna ait trafik değerlerinin

neredeyse aynı olması nedeniyle trafik veya eşdeğer standart dingil yükü sayısı (ESDYS), buna bağlı olarak yığılımlı ESDYS verilerinin girdi olarak kullanılamamasıdır. Bunun yanında tüm kesimlerin inşaat yılının da aynı olması sebebiyle yaş da bir değişken olarak dikkate alınamamıştır. Bu nedenle, geliştirilen model, trafik ve yaş dışı faktörleri dikkate alması nedeniyle elde edilen başarı oldukça yüksek olarak değerlendirilmelidir.

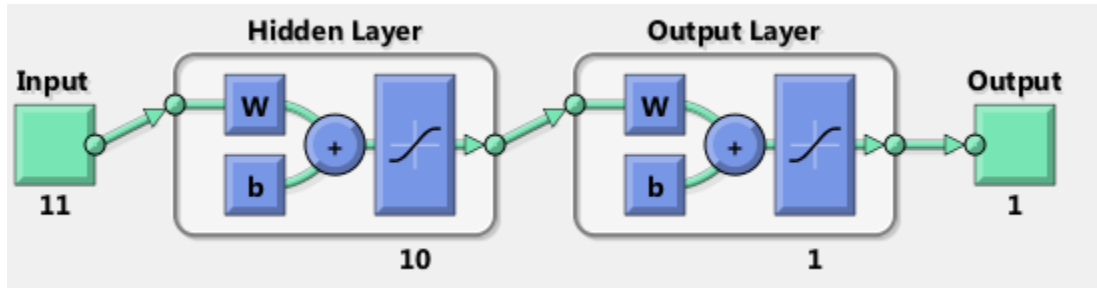
Ülkemiz karayolları için geliştirilecek bir performans tahmin modeli çalışmasında, farklı trafik değerlerine sahip, farklı yıllarda inşa edilmiş, farklı kalınlıklara sahip, farklı iklim koşullarına maruz kalan, farklı bitüm penetrasyonunda, farklı agrega malzemesi ile inşa edilmiş, farklı gradasyonların kullanıldığı karayolu kesimlerinde düzenli ölçümler yapılmalı ve bu veriler kullanılarak performans tahmin modelleri geliştirilmelidir.

13.2.6. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Geliştirilen Stabilitate Tahmin Modeli

Bu çalışmanın amacı tahribatsız test yöntemleri kullanılarak asfalt karışımları dayanımlarını tahmin etmeye çalışmaktır. Bu amaçla proje kapsamında satın alınmış olan nükleer yoğunluk ölçer, LWD ve mevcut cihazlarımızla kayma direnci(skidresidence) kullanılarak bitümlü sıcak karışım kaplamalar üzerinde 80 tane ölçüm alınmıştır. Aynı noktalarda karot makinasıyla karot alınmış, alınan bu karot numuneleri üzerinde birim hacim ağırlık, ve Marshall stabilitate deneyleri yapılmıştır; ve veriler Tablo 8.1, 9.2 ve 9.3’de tablolarda görülmektedir. Bu veriler kullanılarak oluşturulan Yapay Sinir Ağları modelinin yapısı Şekil 1 ve 2’de görülmektedir. Şekil 1’de görüldüğü gibi girdi verileri LWD Kuvvet, LWD Basınç, LWD Çarpma, Defleksiyon, Elastisite Modülü, MA, Islak Yoğunluk, Nem Miktarı, Nem Yüzdesi, Boşluk Yüzdesi seçilmiştir. Çıktı olarak ise, Marshall Stabilitate tahmin edilmiştir. Gizli tabakada 10 sinir hücresi kullanılmış, aktivasyon fonksiyonu olarak logaritmik sigmoid kullanılmıştır. İterasyon sayısı olarak 10000 seçilmiştir.

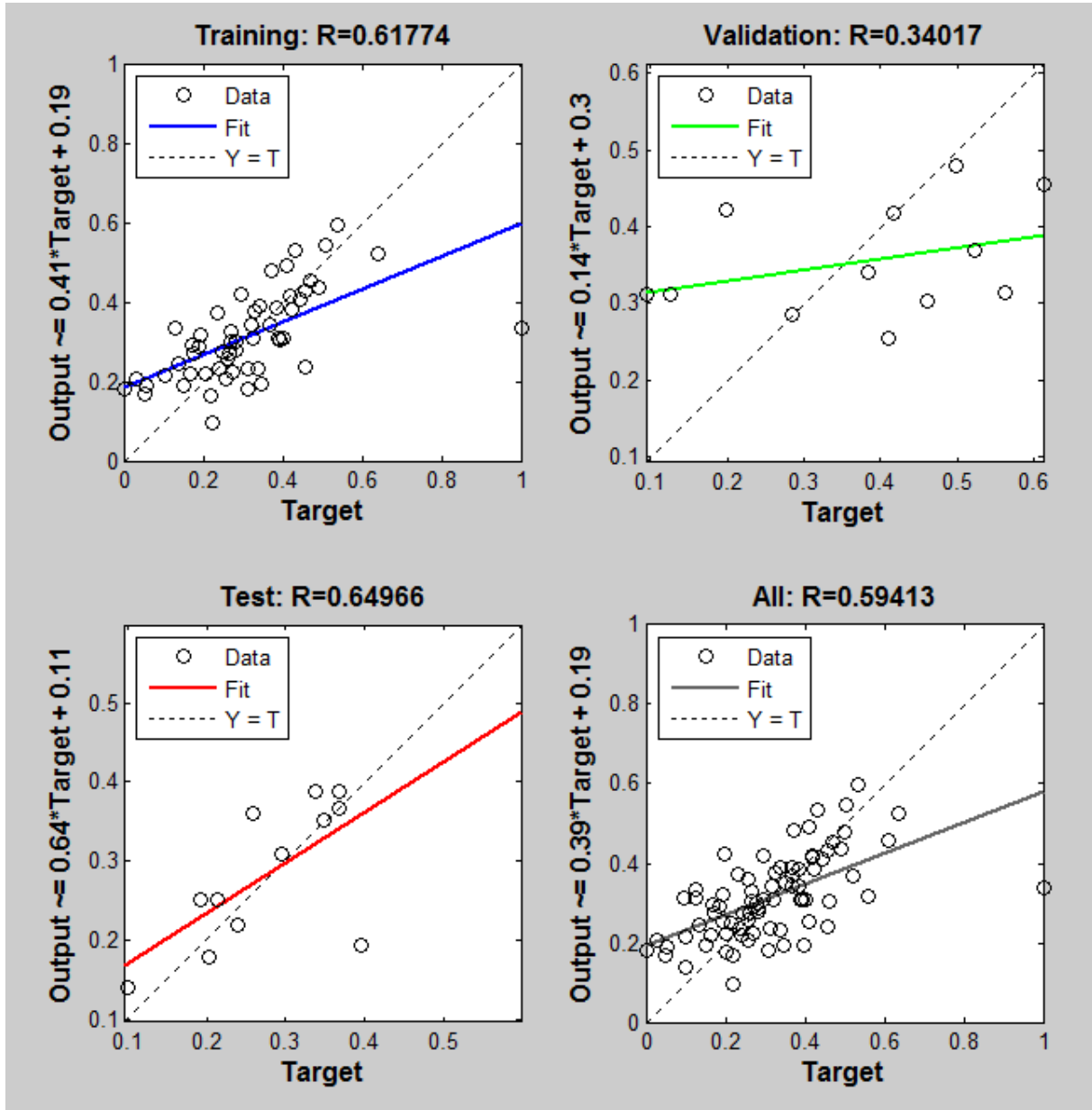


Şekil 13.38. Yapay Sinir Ağları modelinin yapısı



Şekil 13.39. Yapay Sinir Ağları Modeli

Yapılan model eğitimi sonrasında, elde edilen sonuçlara ait grafik Şekil 3'te verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi eğitim setinin regresyon değeri 0.61, doğrulama setinin regresyon değeri 0.34 ve test setinin regresyon değeri ise 0.64 olarak elde edilmiştir. Genel regresyon değeri ise 0.60 olarak elde edilmiştir



Şekil 13.40. Model Sonuçları.

13.2.6.1. Sonuçlar

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen veriler kullanılarak yapılan modelleme çalışması sonucunda Stabilité değeri(Marshall) tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, LWD Kuvvet, LWD Basınç, LWD Çarpma, Defleksiyon, Elastisite Modülü, MA, Islak Yoğunluk, Nem Miktarı, Nem Yüzdesi, Boşluk Yüzdesi girdi olarak seçilmiştir.

Geliştirilen YSA modeli sonucunda, eğitim setinin regresyon değeri 0.61, doğrulama setinin regresyon değeri 0.34 ve test setinin regresyon değeri ise 0.64 olarak elde edilmiştir. Genel regresyon değeri ise 0.60 olarak elde edilmiştir.

Elde edilen bu değerler, benzer modelleme çalışmaları ile karşılaştırıldığında çok yüksek değildir. Bunun nedeni bitümdeki yaşlanma, ölçüm yapılan alanlarda trafik sayılarının farklı olması, karot alınan yerlerin bankete yakın olması olabilir.

Daha kapsamlı ve farklı bölgelerde daha fazla numune alınarak daha iyi modeller geliştirilebileceği düşünülmektedir.

13.3. OPTİMİZASYON ÇALIŞMASI

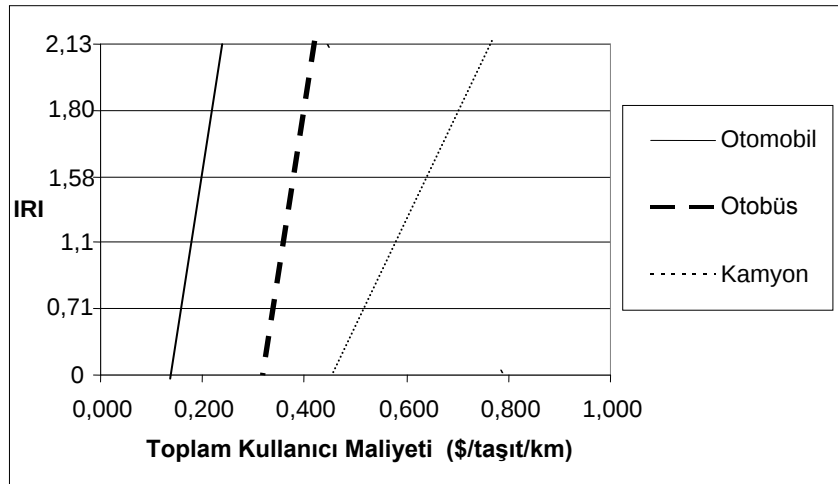
13.3.1. Optimizasyon Çalışması ile Önceliklerin Belirlenmesi

Optimizasyon çalışması, eşdeğer yıllık maliyet (ya da bugünkü değeri) ile eşdeğer yıllık fayda (ya da bugünkü değeri) dikkate alınarak amaç fonksiyonuna göre karşılaştırmasıdır. Bu çalışmanın başlıca amacı, proje bakım ve onarım çalışmalarından en yüksek faydayı elde etmektir.

13.3.1.1. Faydaların Belirlenmesi

Kullanıcı faydaları; üstyapıdaki bozulmalar nedeniyle oluşan ilave taşıt işletme maliyeti, kaza maliyeti ve kullanıcıların saatlik gecikme maliyetinin toplamıdır.

Taşıt işletme maliyeti, üstyapıdaki bozulmalar nedeniyle oluşan ekstra yakıt tüketimi, lastik aşınması, taşıt bakımı maliyetlerini içerir. Çalışmada, Berger vd. (1989)' da verilen değerler kullanılmıştır. Şekil 13.35 'de, kaza maliyeti dışındaki kullanıcı faydalarını göstermektedir.



Şekil 13.41. Hizmet yeteneği değerine göre taşıt işletme maliyetleri

Kaza maliyetleri ise, Tramer. (2010)'den alınmıştır. Tablo 13.1, çalışmada dikkate alınan kaza maliyetlerini göstermektedir. Bu değerlerin doğrudan kullanılması mümkün değildir. Çünkü karayollarında meydana gelen kazaların tamamı üstyapıdaki bozulmalardan kaynaklanmaz. Her ne kadar, ülkemizde trafik kazalarında üstyapıların etkisinin az olduğu iddia edilse de gerçek değerlerin daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Buna karşın çalışmada KGM (2002)'de belirtilen şehirlerarası yollar için üstyapıdan kaynaklanan kusur oranı olan % 0,69 kullanılmıştır.

Tablo 13.11. Kaza maliyetleri (Tramer, 2010)

Kaza Tipi	Kaza başına maliyet (TL)	Kaza başına maliyet (\$)
Ölümlü kazalar	7,305,000	4,754,311
Yaralanmalı kazalar	9,031,000	5,877,643
Maddi hasarlı kazalar	152,000,000	98,926,130
TCMB Döviz Kurları ---Dolar(\$) Döviz Alış 1.5291 Döviz Satış 1.5365 (19.05.2010)		

Bir diğer kullanıcı faydası ise, seçilen B ve R uygulamasının üstyapı ömrüne eklediği ilave ömür değeridir. B ve R uygulamasının ömrünü tanımlamak çok zordur. Fakat, bazı üstyapı uygulayıcıları bu konuda araştırmalar yapmaktadır. Little vd. (1997), bu konuda bazı B ve R yöntemleri için ilave ömür değerleri tanımlamışlardır. Tablo 13.2, çalışmada dikkate alınan B

ve R yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilecek ilave ömür değerlerini göstermektedir.

Tablo 13.12. Dikkate alınan B ve R yöntemleri ve ilave ömür değerleri

B ve R Uygulaması		İlave Ömür (Yıl)
Kod	Tanım	
1	Uygulama yok	0
2	Çatlak doldurma	2,5
3	Derz doldurma	2,5
4	Yüzeysel yama	2,5
5	Parçalı yama	3,0
6	Tam derinlikte yama	4,0
7	Çukur doldurma	3,5
8	Asfalt püskürtme uygulaması	3,5
9	Sathi kaplama	5,0
10	Asfalt betonu takviye (5 cm)	7,0
11	İki kat asfalt betonu takviye (5+5 cm)	11,0
12	İki kat asfalt betonu takviye (5+8 cm)	15,0
13	Yeniden inşaat	20,0

13.3.1.2. Maliyetlerin Belirlenmesi

Optimizasyon araştırmasında, 15 farklı bakım ve rehabilitasyon yöntemi dikkate alınmıştır. Bu yöntemler ve birim maliyetleri, Tablo 13.3’de verilmiştir. Bu yöntemlere ait maliyetler de kaynaklardan alınmıştır.

Tablo 13.13. Bakım ve rehabilitasyon maliyetleri

B ve R Yöntemi		Maliyet (\$)	Birim
Kod	Tanım		
1	Uygulama yok	0	
2	Çatlak doldurma	1,2	m
3	Derz doldurma	1,2	m
4	Yüzeysel yama	2,1	m ²
5	Parçalı yama	3,7	m ²
6	Tam derinlikte yama	6,5	m ²
7	Çukur doldurma	2,8	m ²
8	Asfalt püskürtme uygulaması	0,9	m ²
9	Sathi kaplama	2,8	m ²
10	Asfalt betonu takviye (5 cm)	7,1	m ²
11	İki kat asfalt betonu takviye (5+5 cm)	12,0	m ²
12	İki kat asfalt betonu takviye (5+8 cm)	15,2	m ²
13	Yeniden inşaat	20,0	m ²

13.3.1.3. Amaç Fonksiyonu

Modelin amaç fonksiyonu, tüm yol ağındaki uygulanabilecek en düşük maliyetli bakım ve onarım maliyetini belirlemeyi sağlar. Amaç fonksiyonu, toplam maliyetleri minimize edebileceği gibi, faydaları maksimize etmeyi de amaçlayabilir. Çalışmamızda ise, faydaların maksimize edilmesi amaçlanmıştır. Bunun nedeni, özellikle düşük maliyetli (çok az onarım yapılması durumunda), kesim eğer uzun olursa fayda/maliyet oranının aşırı derecede yüksek çıkarak sonucu olumsuz etkilemesidir. Optimizasyon çalışmasında kullanılan amaç fonksiyonu aşağıdaki gibidir:

$$Max \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{(1+d)^t} \right) * (UC_{ist} * AL_r) \quad (15.1)$$

Burada, R bakım ve onarım seçeneklerinin sayısını, S ağıdaki kesim sayısını, T planlama periyodunun yıl sayısını, d indirim oranı, UC ise t yılındaki s kesiminin r yönteminin

uygulanmasıyla oluşacak kullanıcı faydalarıdır. AL ise, r yönteminin uygulanmasıyla elde edilecek ilave ömür değerini göstermektedir.

13.3.1.4. Kısıtlar

Optimizasyon planlamasında, gereksinim duyulan bakım ve rehabilitasyon uygulamalarının tümünün aynı yıl veya planlama periyodunda uygulanması mümkün değildir. Bunun en önemli nedeni, bakım ve onarım işlerine ayrılan bütçe miktarıdır. Planlamada dikkate alınan bütçe kısıtına ait fonksiyon Eşitlik 13.2’de görülmektedir.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T AC_{rst} \leq B_t \quad (13.2)$$

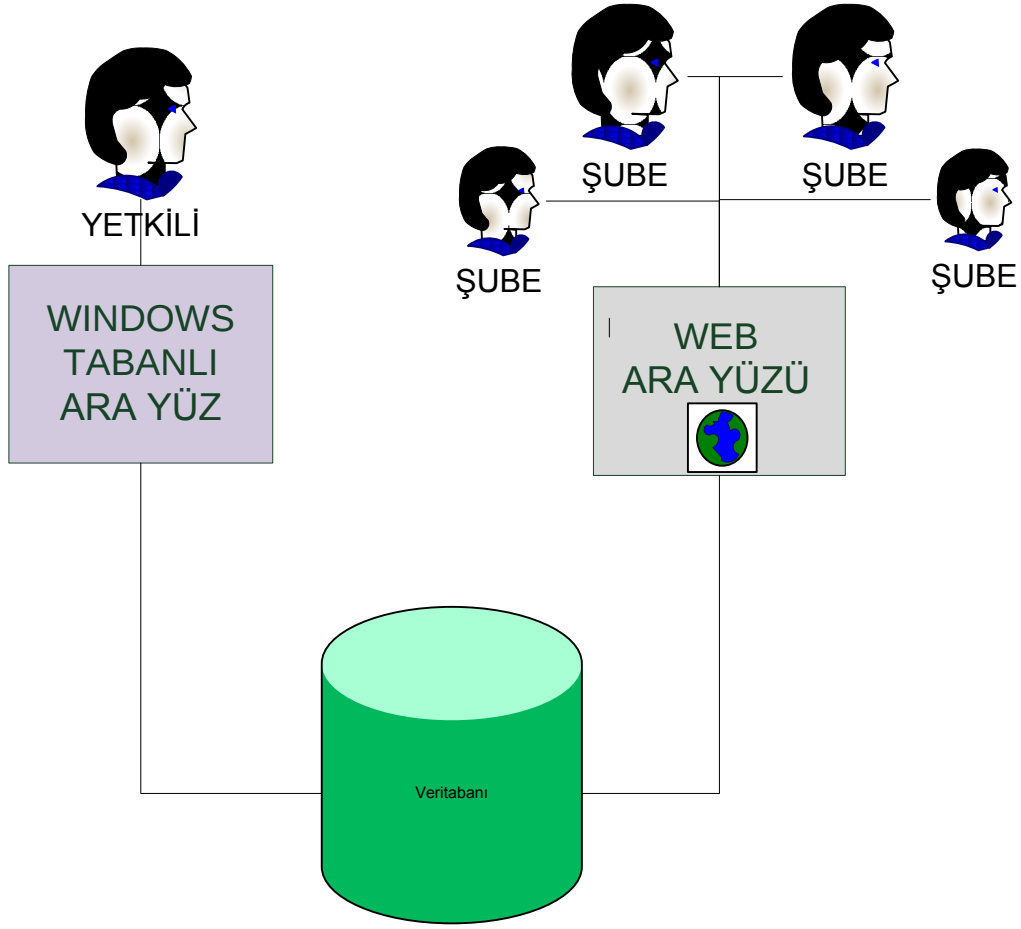
Burada B_t yılında bakım ve onarım işlerine ayrılan yıllık toplam bütçeyi, AC ise t yılındaki s kesiminin r yönteminin uygulanmasıyla oluşacak yapımcı kuruluş maliyetleridir.

Bütçe dışındaki bir diğer kısıt ise, üstyapı hizmet yeteneği değerine göre uygulanacak yöntemin seçilmesidir. Şekil 13.34, IRI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımlarını göstermektedir.

Düzgünsüklük Değeri (IRI-m/km)	Düzgünsüzlük Sınıflaması	Bakım-Onarım Öncelik Sıralaması	Kaplamanın IRI Değerlerine Göre Yapılması Gerekenler
0 - 0,71	Çok İyi	6	Yeni veya yeni sayılabilen kaplama; bir süre için iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
0,72 - 1,11	İyi	5	İyi durumdaki kaplama; yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
1,12 - 1,58	Orta-İyi	4	Trafiğe bağlı olarak yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duyacaktır.
1,59 - 1,80	Orta	3	Mevcut kullanılabilirliğini sürdürebilmek için yakında onarım gerektirir.
1,81 - 2,13	Kötü	2	Eski hizmet kabiliyetini geri kazanabilmesi için hemen iyileştirme gerekir.
> 2,13	Çok Kötü	1	-

Şekil 13.42. IRI Değerleri ve Bakım-Onarımda Öncelik Sıralaması (KGM, 2010).

14. CBS İLE TASARLANMIŞ ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİ PLATFORMU

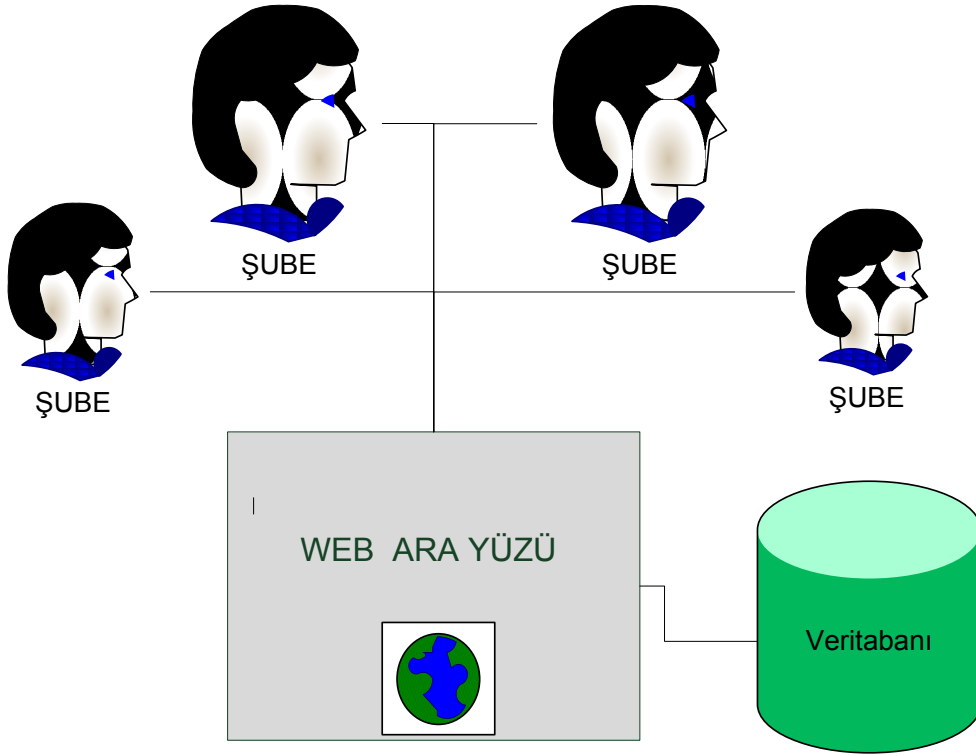


Şekil 14.1. Coğrafi Bilgi Sistemi İş Akış Adımları

Geliştirilen yazılım temel olarak üç parçadan meydana gelmektedir. Windows tabanlı ara yüz, Web tabanlı ara yüz ve Ortak veritabanı bu sistemi oluşturan parçalardır. Sistemin bütünlüğünü sağlayan en önemli parça veritabanıdır. Veritabanı ortak olup, herhangi bir konumdan veri değişikliği ya da eklemesi gerçekleştiğinde gerçek zamanlı olarak başka bir konumdan görüntülenebilmektedir ve işlenebilmektedir. Bu bize zamandan tasarruf sağlayarak amaçladığımız işlemleri kısa sürede gerçekleştirmemizi sağlamaktadır. Bu sistemin parçalarını oluşturan kullanıcıların bu konuda eğitilmiş olmaları esastır; çünkü yapılacak yanlış bir değişiklik ya da ekleme diğer tarafta yanlış bir sonuç alınmasına sebep olur. Bu bize zaman kaybettirir, eğer zamanında düzeltilmezse büyük zararlara sebep olur.

14.1. Web Tabanlı Ara Yüz İle Veri Girişi

Hazırlanan bu Web Ara Yüzü kullanılarak, kullanıcılar (şubeler) yapılan değişiklikleri ya da eklemeleri sayısallaştırarak veri girişini internet üzerinden gerçekleştirirler. Yapılan değişiklikler doğrudan veritabanına kaydedilir.



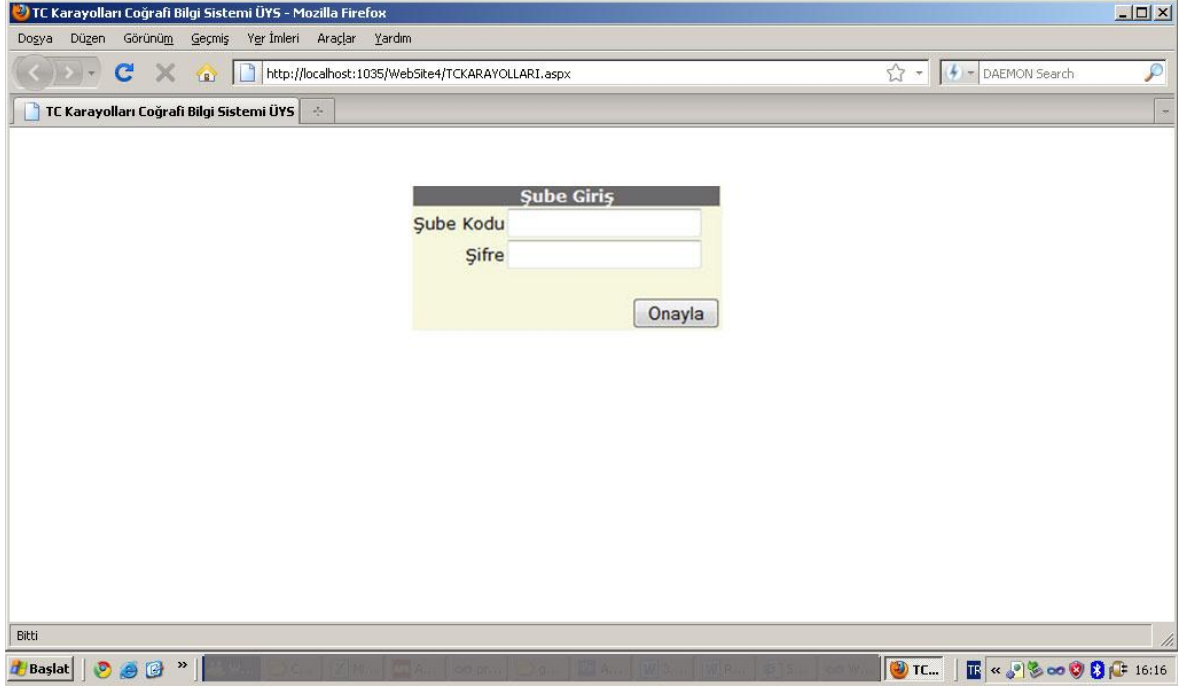
Şekil 14.2. CBS, Web Ara Yüzü İş Akış Adımları

Şekil 14.2. de görüldüğü gibi şubeler tarafından bilgiler web ara yüzü kullanılarak veritabanına gönderilmektedir. Bu akış adımlarında internet ağının büyük önemi vardır; çünkü Türkiye'nin farklı bölgelerindeki şubelerde yapılan değişiklikleri girebilmek için internet ağını kullanarak merkez sunucumuzda bulunan uygulamamıza ulaşmaları gerekmektedir. Uygulamamıza ulaşmak için bir web tarayıcısı kullanacak ve sunucumuzun ip numarasına bağlı bir domain ismi ile bağlanacaktır. Güvenlik açısından şube kendi kullanıcı kodu ve şifresi ile sunucumuza bağlanacaktır ve gerçekleştirmek istediği işlemleri sadece o şubeye özel giriş yapabileceği bölümlerde uygulayacaktır.



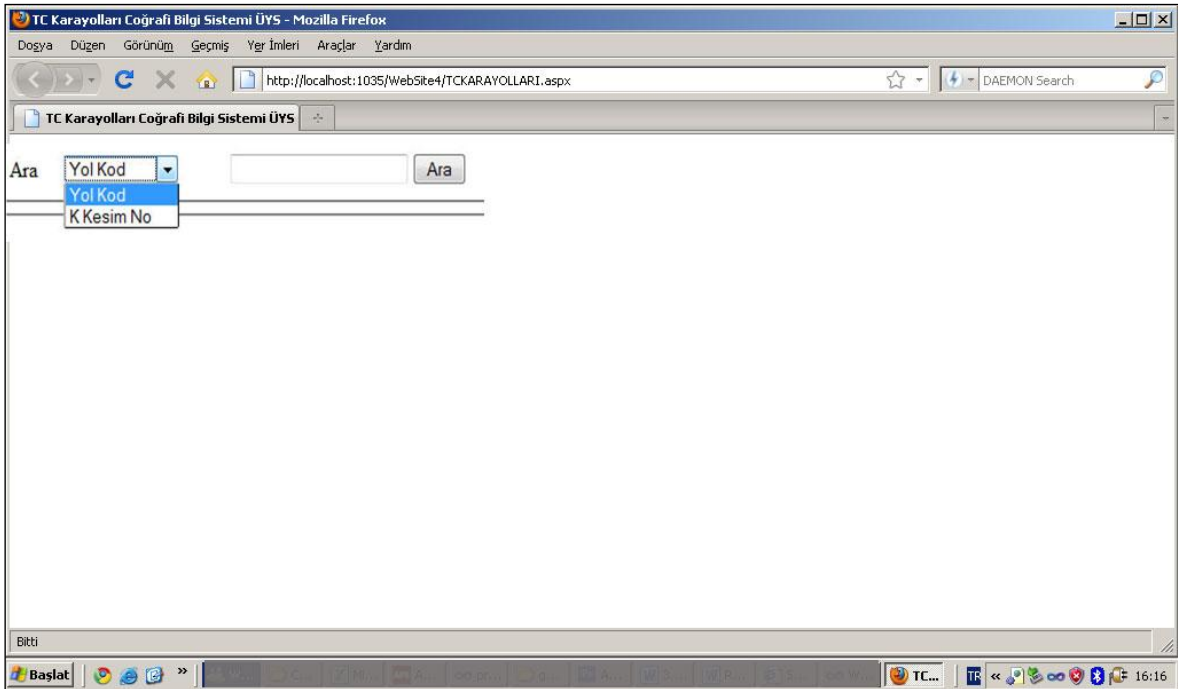
Şekil 14.3. Web Uygulaması Akış Şeması

Kullanıcı sunucusuna bağlanabilmek için web tarayıcısını kullanarak tanımlı olan web adresini yazarak sayfaya bağlanacaktır. Giriş sayfası olarak karşısına sisteme giriş sayfası gelecektir. Bu giriş sayfasında şube kodunu ve şifresini girebileceği bir ekranla karşılaşılacaktır. Şubedeki kullanıcı kendisine verilmiş ve daha önceden sunucuda tanımlanmış olan kullanıcı kodunu ve şifresini girerek veri giriş sayfasına yönlendirilecektir. Burada şube kodunun kullanılma sebebi; kullanıcının sadece kendi bölgesine ait verileri görebilmesi ve sadece bu bölgedeki verileri değiştirebilmesini sağlamaktır. Böylece kullanıcıdan doğacak hatalar kısıtlanmış olmaktadır.



Şekil 14.4. Şube yönetici giriş ekranı.

Şubedeki kullanıcı şube kodunu ve şifresini girdikten sonra verileri görebileceği ve değişiklikler yapabileceği sayfaya yönlendirilecektir.



Şekil 14.5. Arama Kriterini Belirleme.

Kullanıcı yönlendirildiği sayfada ilk olarak Şekil 14.5. deki ekranla karşılaşacaktır. Bu ekranda arama yapmak istediği kriteri belirleyecektir. Arama kriterleri istek durumuna göre genişletilebilir. Kullanıcı arama kriterini belirledikten sonra kutucuğa arama yapmak istediği kelimeyi girecektir ve ara butonunu tıklayarak arama işlemini başlatacaktır. Arama işlemi ortak veritabanında yapılarak sonuçlar arama ekranının hemen altında hem toplu olarak hem de tek tek görülebilecek şekilde listelenmektedir. Kullanıcı üstteki listede kayıtları yatay sıralanmış liste şeklinde tümünü görebilmektedir. Bu listenin bir altında ise kayıtlar tek tek sıralanmaktadır. Yani aynı anda sadece bir kayıt görüntülenebilmektedir. Eğer aramada birden çok satır var ise bu listenin hemen üst sağ kısmında bulunan rakamları tıklayarak istediği kayda gidebilir (Şekil 14.6.)

The screenshot shows a web browser window titled 'TC Karayolları Coğrafi Bilgi Sistemi ÜYS - Mozilla Firefox'. The address bar shows 'http://localhost:1035/WebSite4/TCKARAYOLLARI.aspx'. The search bar contains 'D140' and the 'Ara' button is clicked. Below the search bar, there are two tables. The first table is a summary table with columns: YOLKODI, BM-3, IRI3, IRI, OYUK, KAYMA, SB, TR. The second table is a detailed view of the selected record, showing fields like YOLKOD1, BM-3, IRI3, IRI, OYUK, KAYMA, SB, TREYLER, KAMYON, and BM-4.

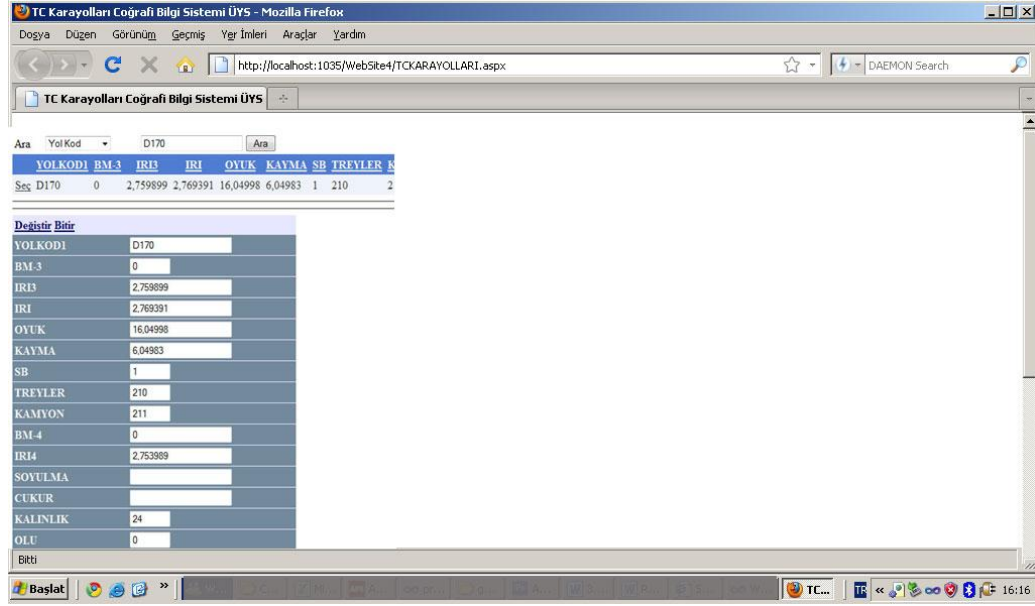
YOLKODI	BM-3	IRI3	IRI	OYUK	KAYMA	SB	TR
Sec D140	5920	3,362721	3,384519	11,64271	5,838046	1	210
Sec D140	0	3,290766	3,323298	0	0	1	16

YOLKOD1	D140
BM-3	5920
IRI3	3,362721
IRI	3,384519
OYUK	11,64271
KAYMA	5,838046
SB	1
TREYLER	210
KAMYON	211
BM-4	0

Şekil 14.6. Web Ara Yüzünde Kayıtların Listelenmesi

Şekil 14.6. da görmüş olduğumuz gibi kullanıcı arama kriteri olarak yol kodunu seçmiş ve arama metnini yazdıktan sonra ara butonunu tıklayarak aşağısında bulunan verilerin ekrana gelmesini sağlamıştır. Görüldüğü gibi arama sonrasında 2 kayıt bulunmuştur. 1. listede kayıtlar alt alta sıralanmıştır. 2. listede ise sadece tek bir kayıt görülmektedir ve istenildiğinde Şekil 14.6. da görüldüğü gibi sağ üst köşedeki 1 – 2 rakamlarını tıklayarak kayıtlar arasında gezinilebilir. Bir kaydın tümünü görmek için ise web tarayıcısının kaydırma çubuğu kullanılmalıdır. Bunların dışında alt listenin sol üst kısmında ‘Düzeltilen Yeni Kayıt’

seçeneklerini görüyoruz. Bu seçenekler adlarından da anlaşılabileceği gibi aktif olan kaydın düzenlenmesi veya yeni bir kayıt eklenmesi için gerekli olan linklerdir.



şekil 14.7. Web Ara Yüzünde Listelenen Kayıtın Düzenlenmesi

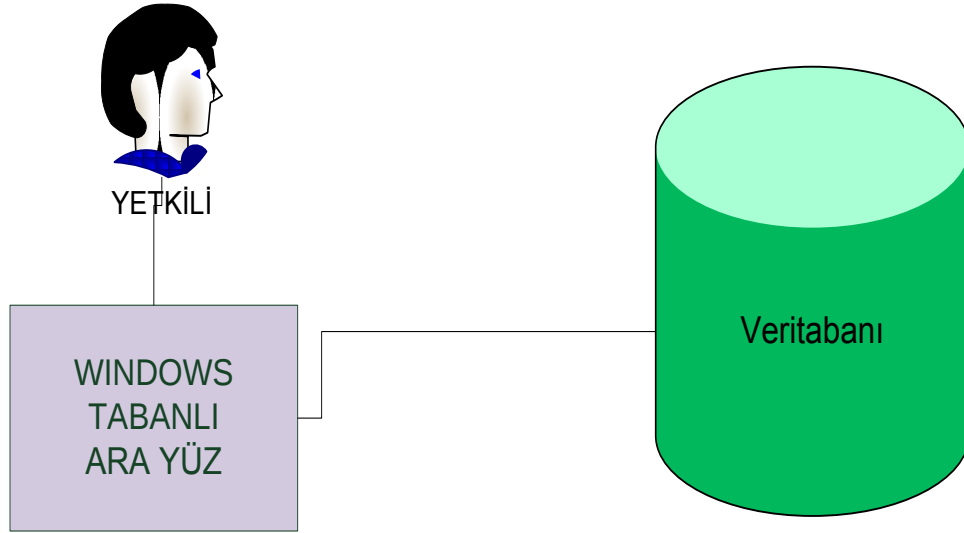
Değiştirmek istediğimiz kayıt aktif grntdeyken değiştir linkine basıldığında başlıkların karşılarındaki metinler düzenlenebilir kutucuklar haline dönüşüyorlar. Değişiklik yapılmak istenen kaydın karşısındaki değerler değiştirildikten sonra, yine alttaki listenin sol st köşesinde yer alan ‘Değiştir’ linkine tıklayarak; değişikliklerin ortak veritabanına kaydedilmesini sağlamış oluruz.

Yukarıda bahsedilen web ara yüzünün tasarımı ve yazılımı için bir bilgisayar programı kullanılmıştır. Bilgisayar programı için kullanılan programlama dili Visual Basic’ tir ve tasarımı Microsoft Visual Studio’da yapılmıştır. Bilgisayar programına ait algoritma şekil 14.8.’de verilmiştir.

şekil 14.4. 14.5. 14.6 14.7’de, bu bilgisayar programının örnek bir czmne ait kullanıcı ara yzleri gösterilmektedir.

14.2. Windows Tabanlı Ara Yüz İle Verilerin Görüntülenip İşlenmesi

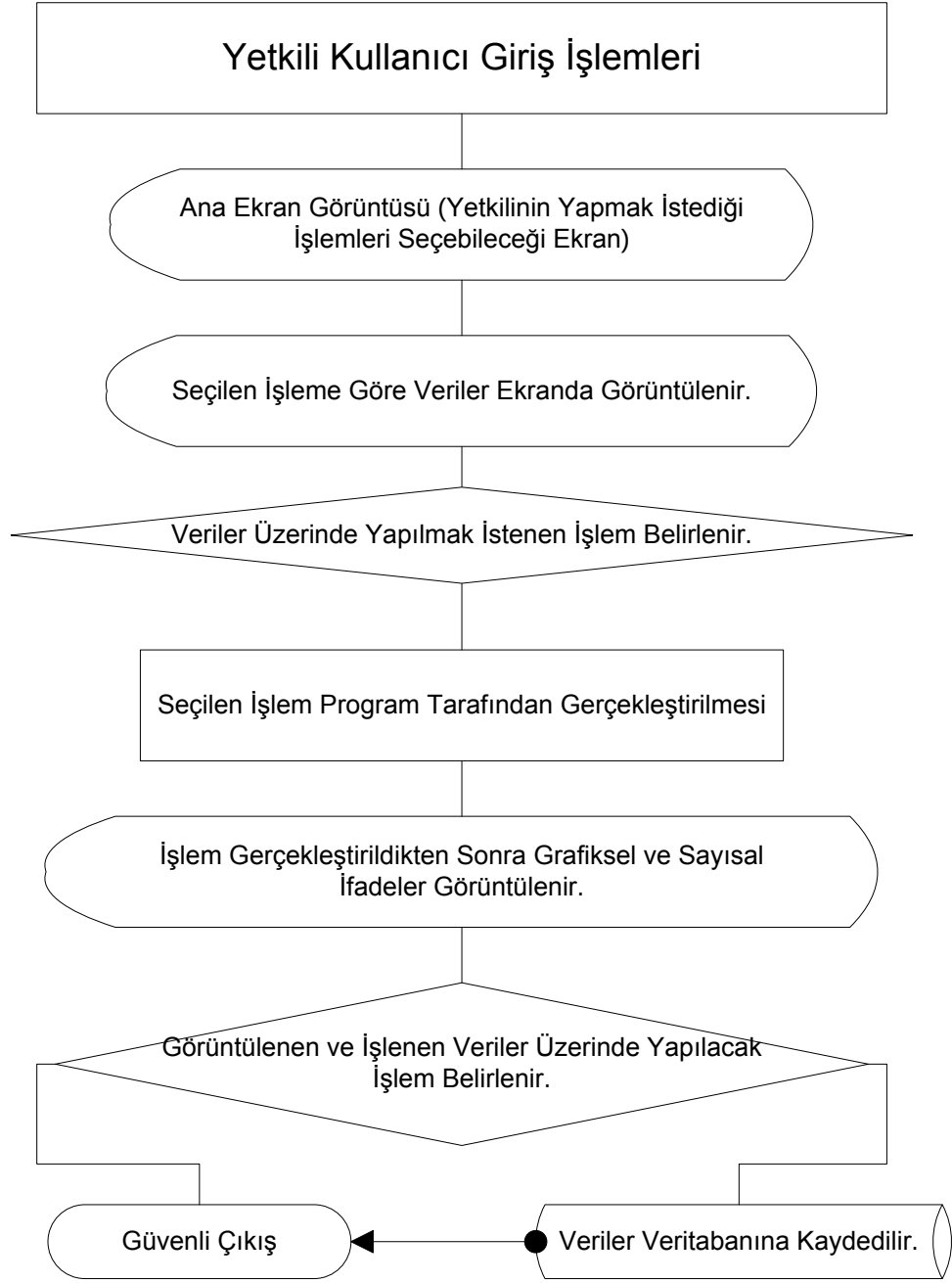
Geliştirilen bu ara yüzde yetkili kullanıcılar programa giriş yapıp veri tabanındaki bütün bilgilere ulaşabilmekte ve veritabanında bulunan verilerle analizleri yapıp gerekirse tekrar veritabanına kayıt yapabilmektedir. Bu programla veriler ortak veritabanından alınmaktadır.



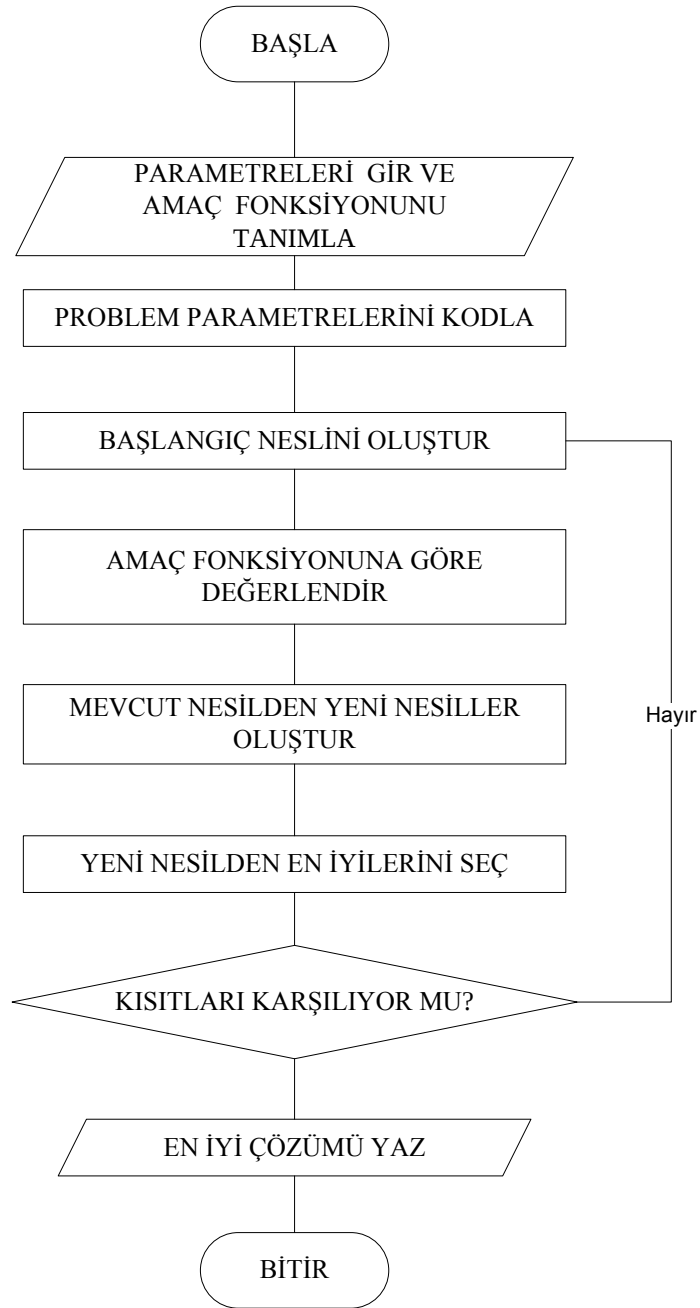
Şekil 14.9. CBS, Web Ara Yüzü İş Akış Adımları

Yukarıda bahsedilen veri analizlerinin ve veri analizlerinin modellerinin çözümü için bu Windows tabanlı bilgisayar programı yazılmıştır. Bilgisayar programı için kullanılan programlama dili Visual Basic'tir ve tasarımı Microsoft Visual Studio'da yapılmıştır. Yazılan bu bilgisayar programında hesaplamalarda genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Bilgisayar programına ait ara yüz ve yazılım algoritmaları Şekil 14.10. ve Şekil 14.11.'de verilmiştir.

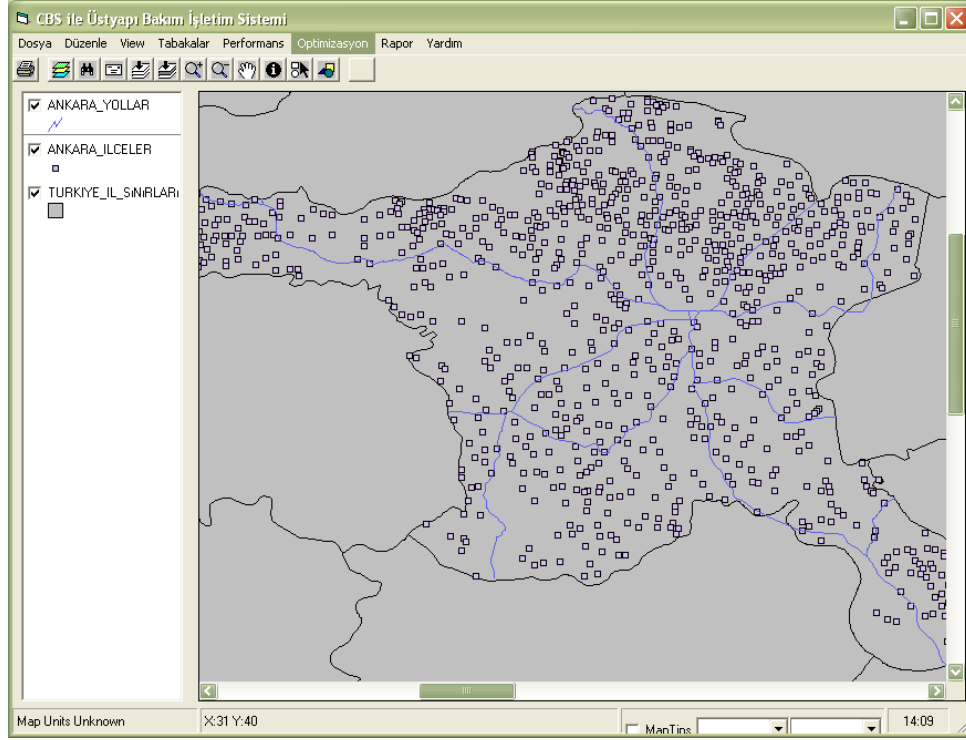
Şekil 14.12. ve 14.13. , bu bilgisayar programının örnek bir çözümüne ait kullanıcı arabirimini göstermektedir. Ayrıca kullanıcı, isterse kaza maliyetlerini ve B ve R yöntemi maliyet ve ilave ömür değerlerini değiştirebilmektedir. Şekil 14.14. , B ve R maliyet ve ilave ömür değerlerine, Şekil 14.15. ise kaza maliyetlerine ait kullanıcı arabirimlerini göstermektedir.



Şekil 14.10. Geliştirilen Windows ara yüzü yazılımının akış diyagramı



Şekil 14.11. Geliştirilen yazılımın akış diyagramı



Şekil 14.12 Geliştirilen Windows Ara Yüz yazılımının Ana Ekranı

Fayda Maliyet Oranına Göre Optimizasyon

Dosyadan Veri Al

Kesim Uzunluğu	Otomobil	Otobüs	Kamyon	Treyler	Maddi	Yaralanmalı	Ölümlü	IRI
4	1766	1921	211	210	2	2	1	2,11
4	212	188	14	16	4	3	3	1,53
4	979	382	100	8	4	0	4	1,28
6	1766	1921	211	210	0	3	0	2,48
30	3105	3802	253	205	3	1	4	1,48
2	212	188	14	16	0	2	5	1,43
5	2375	1652	459	145	3	0	3	2,33
35	3105	3802	253	205	3	4	0	1,6
35	3105	3802	253	205	2	2	0	2,31

Kısıtlar

Bütçe Kısıtı: 5000000 Nesi Sayısı: 500 Mutasyon: 50 Çaprazlama: 50

Sonuçlar

	Bakım Yöntemi	Fayda	Maliyet	Fayda / Maliyet	Bakım Maliyetleri
Toplam Maliyet	2,199253E+07				
Toplam Fayda	5,408522E+09				
Toplam Fayda/Maliyet	52815,54				

Bakım Yöntemi	Fayda	Maliyet	Fayda / Maliyet	Bakım Maliyetleri
3	5355228	960,000	5578,362	
12	5431895	99400	54,64683	
14	2,11401+	212800	99,34274	
14	4,252161	319200	133,2132	
11	1,37137+	294000	466,4539	
12	7330405	49700	147,4931	
13	3,552821	210000	169,1822	
1	0	0	0	

Nesil Çaprazlama Mutasyon

Yıl: 2010

Tabaka Adı: ankara_yollar

Tabaka Ekle Göster

Optimizasyon Veri Tabanına Yaz

Sonuçları Göster Çıkış

Şekil 14.13. Geliştirilen Windows Ara Yüz yazılımının kullanıcı arabirimi

B & R Maliyetleri ve İlave Ömür				
Kod	B&R Yöntemi	Maliyet (\$)	İlave Ömür (Yıl)	
1	Uygulama Yok	0	0	
2	Çatlak Doldurma	1.2	2.5	
3	Derz Doldurma	1.2	2.5	
4	Yüzeyse Yama	2.1	2.5	
5	Parçalı Yama	3.7	3.0	
6	Tam Derinlikte Yama	6.5	4.0	
7	Çukur Doldurma	2.8	3.5	
8	Asfalt Püskürtme Uygulaması	0.9	3.5	
9	Sathi Kaplama	2.8	5.0	
10	Takviye Tabakası (5 cm)	7.1	7.0	
11	İki kat takviye tabakası (5+5 cm)	12.0	11.0	
12	İki kat takviye tabakası (5+8 cm)	15.2	15.0	
13	Yeniden inşaat	20.0	20.0	

Şekil 14.14. Bakım ve onarım yöntemlerinin maliyet ve ilave ömürlerine ait kullanıcı arabirimi

Kaza Türü		Kaza Başına Maliyet(\$)
Ölümlü Kazalar		4754311
Yaralanmalı Kazalar		5877643
Maddi hasarlı Kazalar		98926130
Yoldan Kaynaklanan Kaza Oranı		0.0698
Veri Tabanına Yaz		Çıkış

Şekil 14.15. Kaza maliyetlerine ait kullanıcı arabirimi

14.3. Sonuçlar

Herhangi bir ülkenin karayolu ağının etkin bir şekilde bakımı ve onarımı, ekonomik büyümesi için zorunludur. Karayolunun bir bölümünün bakımı için kaynaklara ve gereksinimlere göre formüle edilen bir Üstyapı Yönetim Sistemi kullanılarak, minimum bakım maliyetlerine sahip tatmin edici bir üstyapı performansı sağlanması mümkündür.

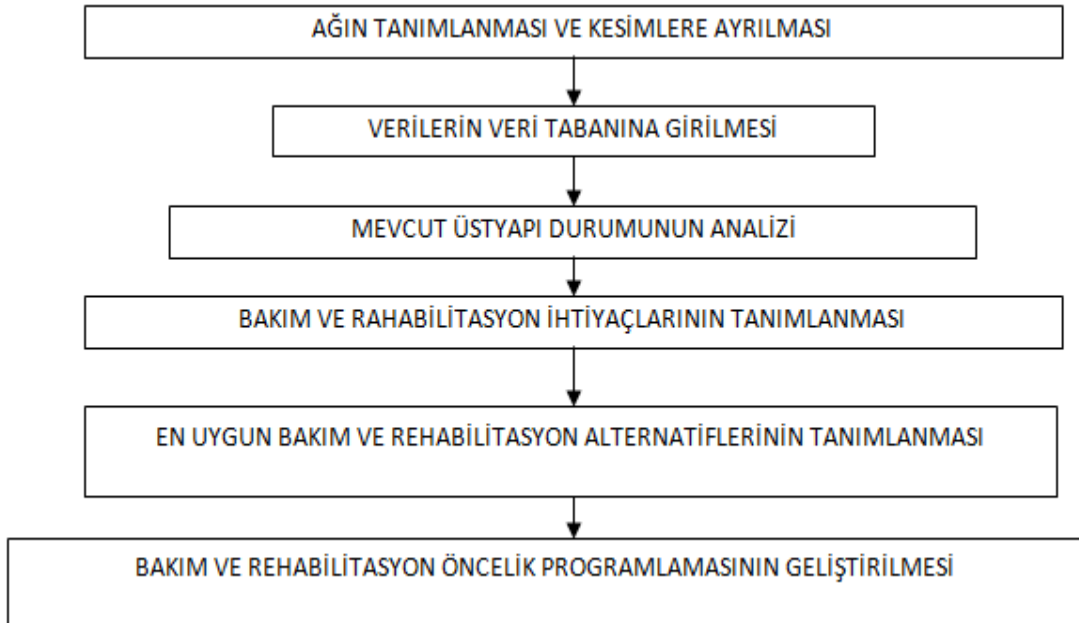
Genellikle, planlanma aşamasında analiz periyodu boyunca esnek üstyapılar için bir onarım bütçe programına karar vermek zordur. Bunun yanında, projelerin sayısındaki artışla birlikte, ömür-döngü maliyetindeki değişim bütçedeki değişime duyarlıdır. Bu çalışmada üstyapı onarım programındaki bu belirsizlikleri dikkate almak amacıyla, genetik algoritma yöntemini uygulayan bir optimizasyon sistemi uygulanmıştır. Ayrıca, yeni bir amaç fonksiyonu geliştirilmiş ve kaynaklardan farklı olarak hizmet yeteneğine göre bakım ve onarım stratejileri dikkate alınmıştır.

14.4. Örnek Çalışma

Bu çalışmada geliştirilen modellerin bir Üstyapı Yönetim Sistemine adapte edilmesi ve bu modellerin çalışabilirliğini göstermek amacıyla örnek bir çalışma yapılmıştır. Genel olarak bir ağ çalışmasının başlıca amaçları şunlardır:

Bir ağın durumunu değerlendirmek ve miktarını belirlemek,

- Beş (5) yıllık programlama periyodunda pilot ağın bakım ve rehabilitasyon gereksinimlerini tahmin etmek,
- Çeşitli fon senaryoları için ağın beş yıllık bakım ve rehabilitasyon programlarını geliştirmek,
- Beş (5) yıllık programlama periyodunda üstyapı performansında bu potansiyel programların etkisini belirlemek,
- Geliştirilen yazılım ile Üstyapı Yönetim Sistemi için gerekli olan verilerin sisteme aktarılması, çözümlemesi ve sonuçların gösterimi için pilot ağdaki senaryoların uygulanmasına olanak sağlamaktır. Şekil 14.16, örnek çalışmanın yapısını göstermektedir.



Şekil 14.16. Örnek çalışmanın yapısı

14.4.1. Ağ Tanımı

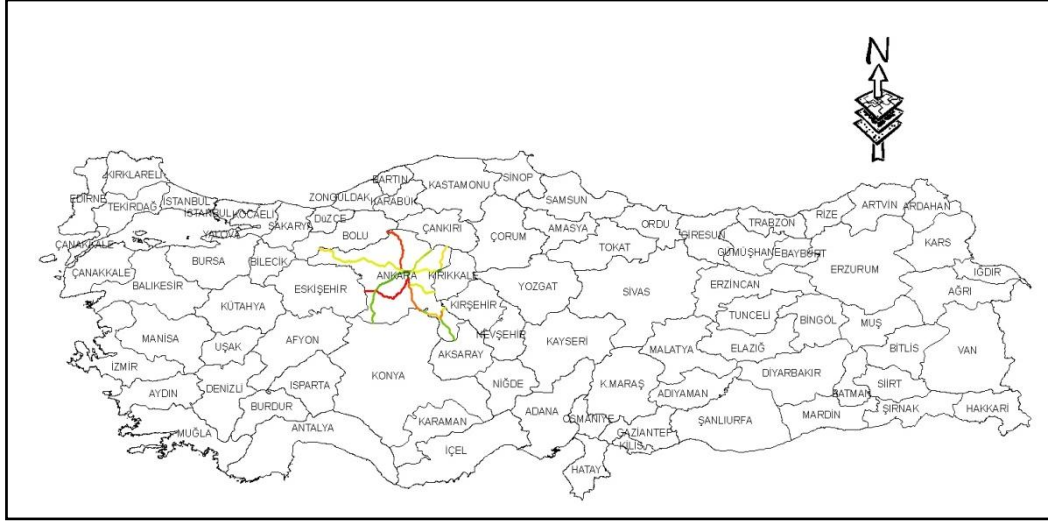
Ağ olarak Ankara merkezli Karayolları 4. Bölge seçilmiştir. 1994 yılında Türkiye’deki ilk ÜYS uygulaması da Pavement Management Systems Limited tarafından bu bölgede yapılmıştır. Belirtilen ağ üzerindeki karayolları, sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ayrıca altlık olması bakımından, Türkiye il sınırları da sayısallaştırılarak bilgisayar ortamında bu tabakalar üst üste görüntülenmiştir. Şekil 14.17. , seçilen bölgeyi ve bu bölgedeki karayollarını göstermektedir.



Şekil 14.17. Örnek ağın haritası

14.4.2. Ağın Kesimlere Ayrılması

Seçilen ağ, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tanımlanan kesimlere bölünmüştür. Şekil 14.18.'de bu ağı ve kesimleri göstermektedir.



Şekil 14.18. Örnek bölgedeki karayollarının kesimlerini gösteren harita

14.4.3. Veri Tabanı ve Veriler

Coğrafi bilgi sistemlerinin özelliğinden dolayı, her bir nesne için zaten bir veritabanı bulunmaktadır. Bu mevcut veritabanı üzerine performans tahmini ve optimizasyon modelleri için gerekli olan bilgilerin girilmesi gerekmektedir. Veri tabanında aşağıdaki bilgiler bulunmaktadır.

- Yol kodu (D140 vb)
- Kesim Numarası
- Kesim Uzunluğu
- Yol Tipi (Asfalt Veya Sathi)
- İnşaat veya Yapısal Onarım Tarihi
- Yıllık Ölümlü kaza sayısı
- Yıllık yaranmalı kaza sayısı
- Yıllık maddi hasarlı kaza sayısı
- Otomobil YOGT değeri
- Otobüs YOGT değeri
- Kamyon YOGT değeri

- Treyler YOGT Değeri
- Drenaj Yapısı Varlığı
- Malzeme Durumu
- İklim Durumu (0 ile 40 °C)
- Şişme-büzülme varlığı
- Banket Genişliği
- Üstyapı Tabaka Kalınlıkları Toplamı
- Oturma Varlığı
- Yapışma Eksikliği
- Sıkıştırma Eksikliği
- Bitüm Fazlalığı
- Agregada Dayanımı
- EDYS (mevcut değer)
- EDYS2 (Gelecek yıl oluşacak değer)
- EDYS3 (iki yıl sonraki değer)
- EDYS4 (üç yıl sonraki değer)
- EDYS5 (Dört yıl sonraki değer)
- Timsah Sırtı Çatlak Genişliği
- Kenar Çatlağı Genişliği
- Yansıma Çatlağı Genişliği
- Blok Çatlağı Genişliği
- Kayma Çatlağı Genişliği
- Boyuna Çatlak Genişliği
- Enine Çatlak Genişliği
- Tekerlek İzi Derinliği
- Ondülasyon Yüksekliği
- Kabarma Yüksekliği
- Çökme Derinliği
- Oyuk Derinliği
- Sökülme Yüzdesi
- Kusma Yüzdesi
- Cilalanma Yüzdesi
- Yama Yüzdesi

- IRI (mevcut değer)
- IRI2 (gelecek yıl oluşacak değer)
- IRI3 (iki yıl sonra oluşacak değer)
- IRI4 (iki yıl sonra oluşacak değer)
- IRI5 (iki yıl sonra oluşacak değer)
- Bakım Yöntemi (1.yıl)
- Bakım Yöntemi (2.yıl)
- Bakım Yöntemi (3.yıl)
- Bakım Yöntemi (4.yıl)
- Bakım Yöntemi (5.yıl)
- Bakım Maliyeti (1.yıl)
- Bakım Maliyeti (2.yıl)
- Bakım Maliyeti (3.yıl)
- Bakım Maliyeti (4.yıl)
- Bakım Maliyeti (5.yıl)
- 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,

Veri tabanına bilgilerin girilmesinden sonra, bir sonraki adım karayolunun gelecekteki performansını tahmin etmektir.

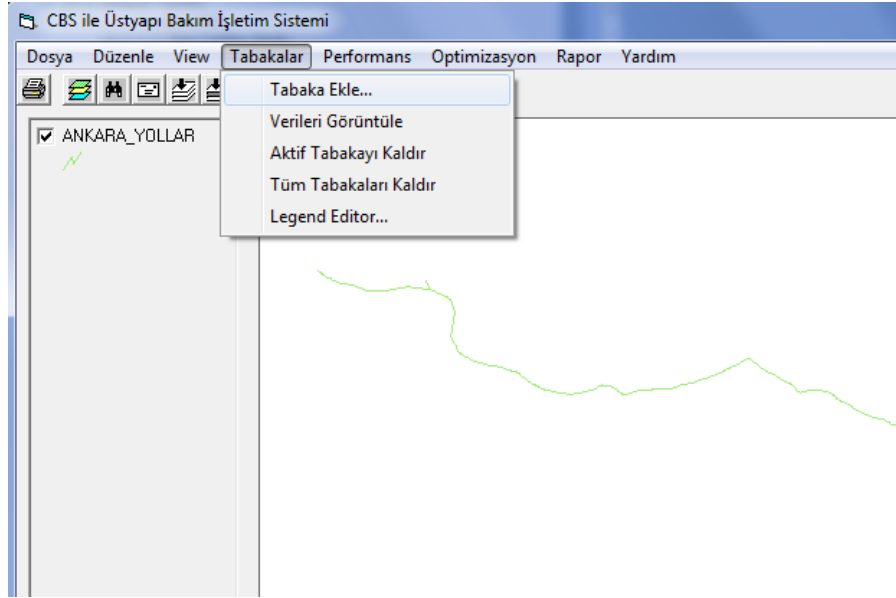
14.4.4. Performans Tahmini

14.4.4.1. Gen İfade Programlama Yöntemi ile Geliştirilen Modeller

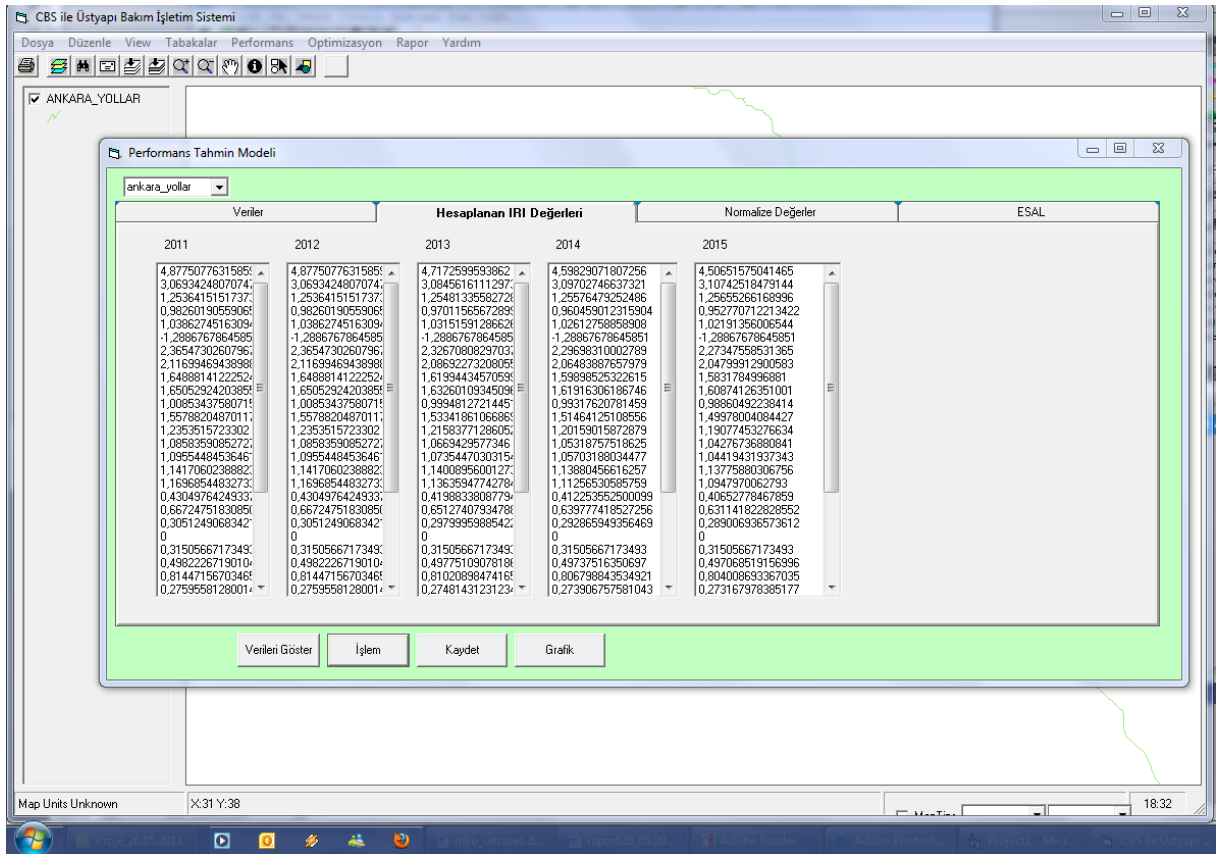
Bu geliştirilen modellemede yine 8 girdili ve tek girdili olmak üzere iki modelleme oluşturulmuştur. Tek girdili modellemeden alınan sonuçlar daha başarılı olduğu için oluşturulan bu modelden formüller alınarak Windows tabanlı bir bilgisayar programı oluşturulmuştur. Yine bu program diğer modellerle oluşturulan programlarla ilişkili olarak Microsoft Visual Studio ortamında C# kodlama dili kullanılarak oluşturulmuştur. Oluşturulan programda; öncelikle ana ekrandan tabakalar menüsünden tabaka eklendikten sonra (Şekil 14.19) Performans menüsünden Gen İfade Programlama İle Performans Tahmini seçilir. Gelen pencereden önce veri tabanından veriler ‘Verileri Göster’ butonu tıklanarak veriler ekranda görüntülenir. Veriler geldikten sonra ‘İşlem’ butonu tıklanarak gerçekleştirilmek istenen tahmin modeli oluşturulur ve ekranda gelecek 5 yılın IRI tahminleri görüntülenir. (Şekil 14.20)İsteğe bağlı olarak ‘Kaydet’ butonu tıklanarak bu tahmin edilen veriler veri tabanına kaydedilebilir.’

Tablo 14.1. Geliştirilen modelin yapısı

Özellik	Sayı
Kromozom Sayısı	50
Gen Sayısı	8
Mutasyon oranı	0.044
Tek noktalı yeniden kombinasyon oranı	0.3
İki noktalı yeniden kombinasyon oranı	0.3
Gen yeniden kombinasyon oranı	0.1
Gen geçiş oranı	0.1



Şekil 14.19. Tabaka ekleme menüsü



Şekil 14.20. Gen İfade Programlama Yöntemiyle Gerçekleştirilen Performans Tahmini

14.4.4.2. Çoklu Regrasyon Yöntemi ile Geliştirilen Modeller

Yapay zekâ gibi karmaşık modelleme teknikleri kullanılmadan önce daha basit modelleme yöntemlerinden biri olan çoklu regresyon yöntemi ile de model geliştirilmiştir. Yine sekiz girdi kullanılarak modelleme yapılmıştır. Model sonuçları Tablo 14.2.'de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi R^2 değeri 0.918 olarak elde edilmiştir. Tablo 14.3.'de ise, bu modele ait katsayılar görülmektedir.

Tablo 14.2. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları

Model	R	R^2	Ayarlanmış R^2	Std. Tahminlerin hatası
1	0,958(a)	0,918	0,891	0,12970

Tablo 14.3. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları

Model	Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standardize Katsayılar	t	Sig.
	B	Std. Hata	Beta		
Sabit	0,959	0,215		4,465	0,000
Üstyapı kalınlığı cm.	1,339E-03	0,003	0,032	0,474	0,640
T 8.2	1,251E-08	0,000	0,871	5,392	0,000
Maksimum Kaplama yüzeyi sıcaklığı	-1,003E-05	0,000	-1,005	-1,187	0,247
Minimum Kaplama yüzey sıcaklığı	-2,708E-05	0,000	-0,199	-0,775	0,446
Maksimum top yağış TS	2,795E-06	0,000	0,813	1,878	0,073
Maksimum nem TS	1,557E-07	0,000	0,191	0,286	0,777
y MAX MİN SF MAX SFTS	1,588E-07	0,000	0,011	0,047	0,963

YMAX KAR ORT TS	2,674E-06	0,000	0,025	0,168	0,868
-----------------	-----------	-------	-------	-------	-------

Çoklu regresyon yöntemi ile de tek girdili (T 8.2) model geliştirilmiştir. Model sonuçları Tablo 14.4.'de görülmektedir. Tablodan da görüldüğü gibi R^2 değeri 0.89 olarak elde edilmiştir. Tablo 14.5.'de ise, bu modele ait katsayılar görülmektedir. Yapay Sinir Ağları yöntemi kullanılarak elde edilen veriler göre çoklu regresyon yönteminde elde edilen sonuçlar daha düşük olmuştur.

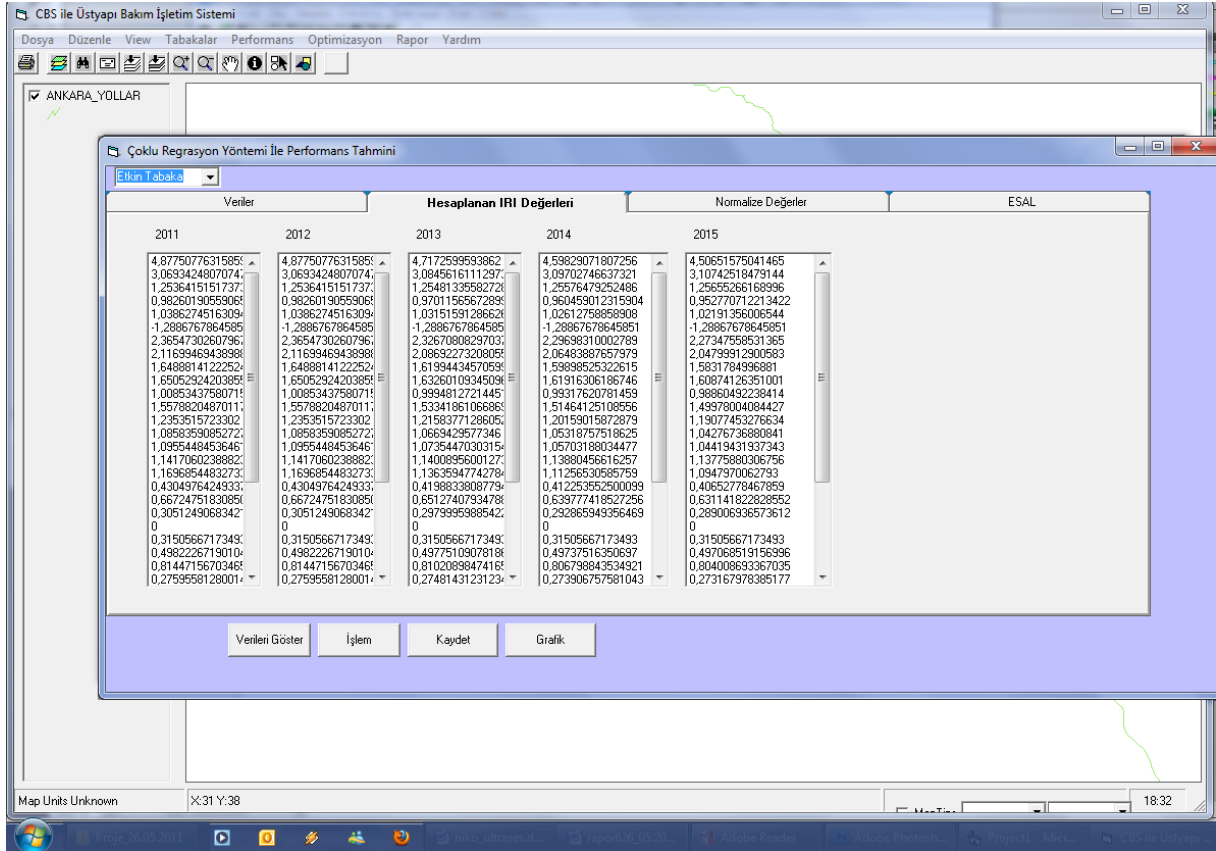
Tablo 14.4. Çoklu regresyon yöntemi model sonuçları

Model	R	R^2	Ayarlanmış R^2	Std. Tahminlerin hatası
1	0,943(a)	0,890	0,886	0,13235

Tablo 14.5. Çoklu regresyon yöntemi model katsayı sonuçları

Model		Standartlaştırılmamış Katsayılar		Standardize Katsayılar	t	Sig.
		B	Std. Hata	Beta		
1	Sabit	1,086	0,036		29,772	0,000
	T 8.2	1,355E-08	0,000	0,943	15,823	0,000

Geliştirilen modelden çıkan formül ile birlikte Microsoft Visual Studio programı kullanılarak Windows tabanlı bir program yazılmıştır. Oluşturulan programda; öncelikle ana ekrandan tabakalar menüsünden tabaka eklendikten sonra (Şekil 14.19) Performans menüsünden Çoklu Regrasyon İle Performans Tahmini seçilir. Gelen pencereden önce veri tabanından veriler 'Verileri Göster' butonu tıklanarak veriler ekranda görüntülenir. Veriler geldikten sonra 'İşlem' butonu tıklanarak gerçekleştirilmek istenen tahmin modeli oluşturulur ve ekranda gelecek 5 yılın IRI tahminleri görüntülenir. (Şekil 14.21) İsteğe bağlı olarak 'Kaydet' butonu tıklanarak bu tahmin edilen veriler veri tabanına kaydedilebilir.



Şekil 14.21. Çoklu Regresyon Metoduyla Gerçekleştirilen Performans Tahmini

14.4.5. Optimizasyon Çalışması ile Bakım ve Onarım Takviminin Belirlenmesi

Optimizasyon bölümünde anlatılan amaç fonksiyonu ve maliyetler dikkate alınarak, örnek sistemin B ve R yönteminin çözümü geliştirilen yazılım kullanılarak yapılmıştır. Analiz amacıyla oluşturulan veri tabanında, kesimlerin otomobil, kamyon, treyler ve otobüs YOGT değerleri, üstyapıların hizmet yeteneği değerleri (analiz periyodu boyunca), yıllık kaza (ölümlü, yaralanmalı ve maddi hasarlı) değerleri ve kesimlerin uzunluğu bulunmaktadır. Şekil 14.22 ve Şekil 14.23 , bu çözümlere ait ekran görüntüsünü vermektedir.

Fayda Maliyet Oranına Göre Optimizasyon

Bakım Maliyetleri Kaza Maliyetleri

Yıl: 2010

Tabaka Adı: ankara_yollar

Enflasyon Oranı: 0.03

Verileri Göster Optimizasyon

Veri Tabanına Yaz Sonuçları Göster

Çıkış

Dosyadan Veri Al

Kesim Uzunluğu	Otomobil	Otobüs	Kamyon	Treyler	Maddi	Yaralanmalı	Ölümlü	IRI
4	1766	1921	211	210	2	2	1	2.11
4	212	188	14	16	4	3	3	1.53
4	979	382	100	8	4	0	4	1.28
6	1766	1921	211	210	0	3	0	2.48
30	3105	3802	253	205	3	1	4	1.48
2	212	188	14	16	0	2	5	1.43
5	2375	1652	459	145	3	0	3	2.33
35	3105	3802	253	205	3	4	0	1.6
35	3105	3802	253	205	2	2	0	2.31

Kısıtlar

Yıllık Bütçe Kısıtı: 5000000 Nesi Sayısı: 500 Mutasyon: 50 Çaprazlama: 50

Sonuçlar

Toplam Maliyet: 1,822572E+07

Toplam Fayda: 1,225463E+10

Toplam Fayda/Maliyet: 672,3809

Bakım Yöntemi

Bakım Yöntemi	Fayda	Maliyet	Fayda / Maliyet
6	5,987119E	20800	746,71
10	1,634659E	113600	248,7059
1	0	0	5092,25
11	2,279519E	288000	1188,653
9	4,768141E	336000	6639,52
10	1,082873E	56800	
9	1,116806E	56000	
1	0	0	

Nesil

Çaprazlama

Mutasyon

Şekil 14.22. Optimizasyon çözümü

Sonuçlar

Yol Kodu	Kesim	IRI					Bakım Yöntemi				
		2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
D140	1	2.11	2,099503	2,099057	2,078664	2,068322	6	1	1	1	1
D140	2	1.53	1,522388	1,514814	1,507278	1,499779	11	1	1	5	1
D140	3	1.28	1,273632	1,267295	1,26099	1,254717	1	11	1	4	1
D170	2	2.48	2,467662	2,455385	2,443169	2,431014	9	1	5	1	1
D200	1	1.48	1,472637	1,46531	1,45802	1,450766	9	1	1	1	1
D200	2	1.43	1,422886	1,415807	1,408763	1,401754	11	1	1	3	1
D200	3	2.33	2,318408	2,306874	2,295397	2,283977	9	1	1	3	1
D260	1	1.6	1,59204	1,584119	1,576238	1,568396	9	1	1	1	2
D260	2	2.31	2,298507	2,287072	2,275694	2,264372	1	9	1	1	3
D260	3	1.78	1,771144	1,762333	1,75365	1,744841	1	9	1	1	2
D695	1	2.27	2,258707	2,247469	2,236288	2,225162	1	10	1	4	1
D750	1	1.47	1,462687	1,45541	1,448169	1,440964	11	1	4	1	3
D750	2	1.76	1,751244	1,742531	1,733862	1,725236	10	1	5	1	1
D750	3	1.4	1,393035	1,386104	1,379208	1,372347	1	12	1	1	1
D750	4	3.74	3,721393	3,702879	3,684456	3,666126	12	1	5	1	1
D750	5	2.38	2,368159	2,356377	2,344654	2,332989	1	1	1	1	1
D750	6	1.48	1,472637	1,46531	1,45802	1,450766	9	1	2	1	5
D750	7	1.33	1,323363	1,316799	1,310248	1,303729	12	1	5	1	1
D750	8	1.49	1,482587	1,475211	1,467872	1,460563	9	1	2	1	2
D750	9	2.03	2,019901	2,009851	1,999852	1,989902	9	1	1	1	4
D750	10	1.51	1,502488	1,495013	1,487575	1,480174	12	1	3	1	1
D750	11	1.6	1,59204	1,584119	1,576238	1,568396	9	1	5	1	1
D750	12	2.03	2,019901	2,009851	1,999852	1,989902	9	1	1	1	4
D750	13	1.46	1,452736	1,445509	1,438317	1,431161	11	1	1	3	1
D755	1	1.81	1,800995	1,792035	1,783119	1,774248	9	1	1	1	1
D757	1	3.83	3,810945	3,791985	3,77312	3,754348	1	11	1	5	1
D757	2	2.57	2,557214	2,544492	2,531832	2,519236	1	1	1	1	1
D760	1	3.45	3,432836	3,415757	3,398763	3,381854	11	1	5	1	1
D760	2	1.63	1,621891	1,613821	1,605793	1,597803	12	1	1	2	1
D760	3	1.92	1,910448	1,900943	1,891486	1,882075	11	1	5	1	1
D765	1	1.81	1,800995	1,792035	1,783119	1,774248	9	1	1	1	1
D765	2	2.32	2,308458	2,296973	2,285545	2,274174	1	9	1	2	1
D765	3	1.52	1,512438	1,504913	1,497426	1,489976	11	1	4	1	5
D765	4	2.56	2,547264	2,534591	2,521981	2,509434	11	1	1	4	1
D800	1	1.06	1,054726	1,049479	1,044258	1,039062	12	1	1	2	1

Maliyetler

4803600 4060800 144400 241560 69720

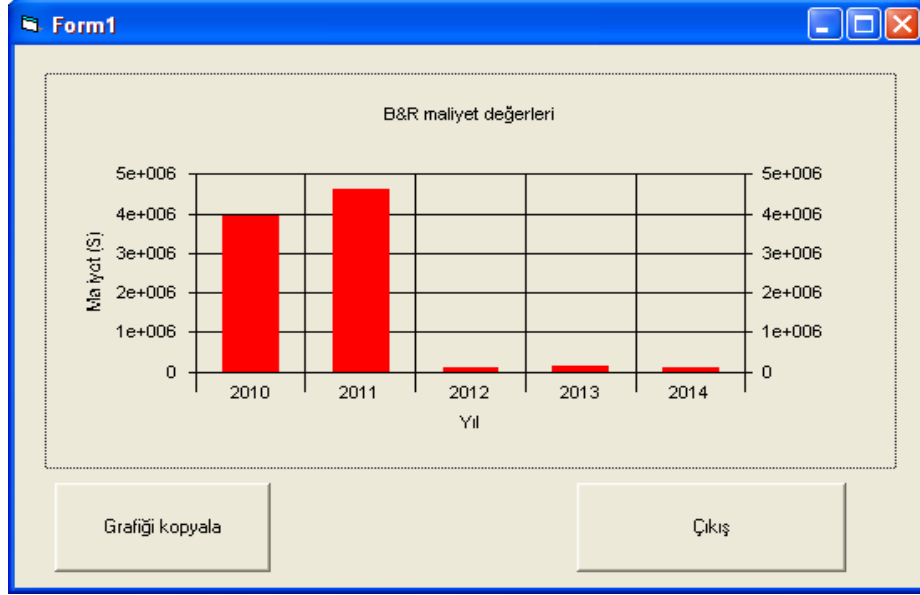
Faydalar

3,586896E+09 1,009945E+09 7,35321E+08 2,871309E+08 4,629073E+08

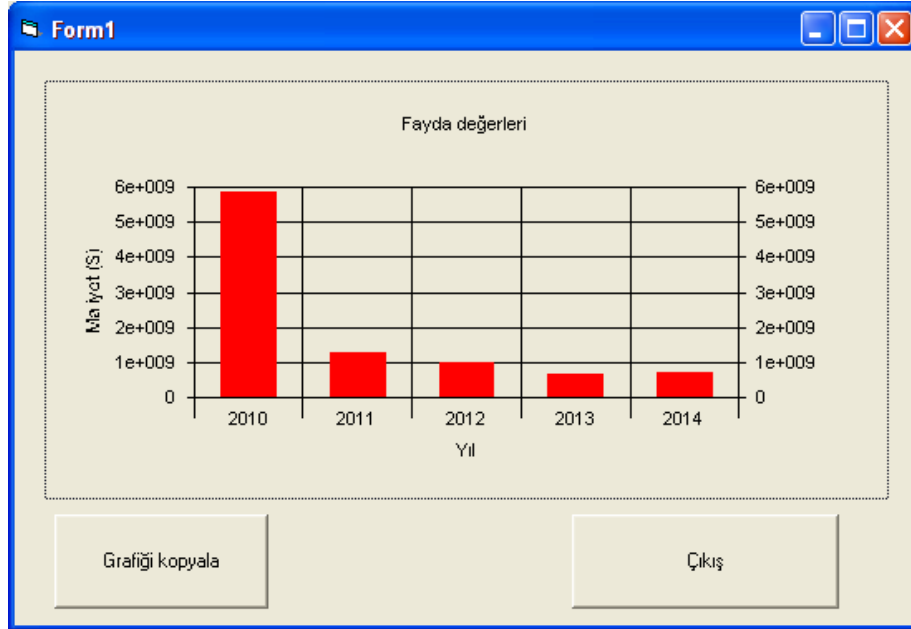
Maliyet Grafik Fayda Grafik Çıkış

Şekil 14.23. Yıllık bakım ve onarım yöntemleri ile toplam fayda ve maliyetler

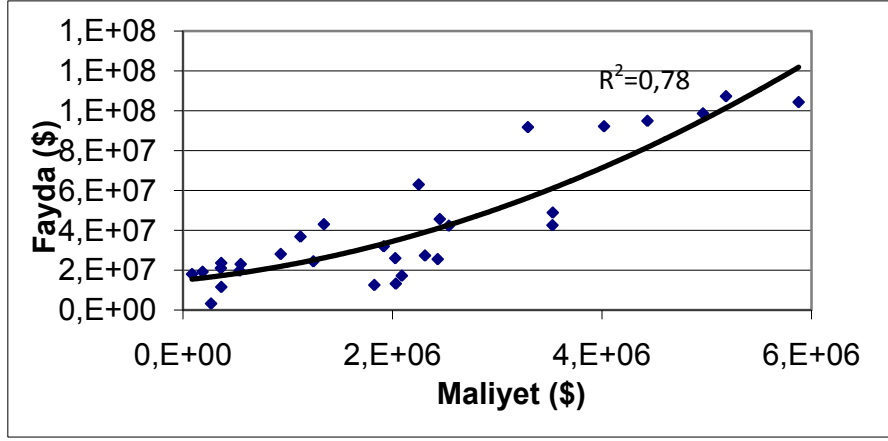
Örnek çalışmada, 4 farklı yıllık bütçe için 5 yıllık B ve R maliyetleri, bu yöntemlerin uygulanmasıyla oluşacağı düşünülen bakım ve onarım maliyetleri, kullanıcı faydaları ve maliyetler arasındaki ilişki sırasıyla Şekil .14.24. , 14.25. ve 14.26.'da görülmektedir.



Şekil 14.24. Farklı bütçe değerlerinin bakım ve onarım maliyetlerine etkisi



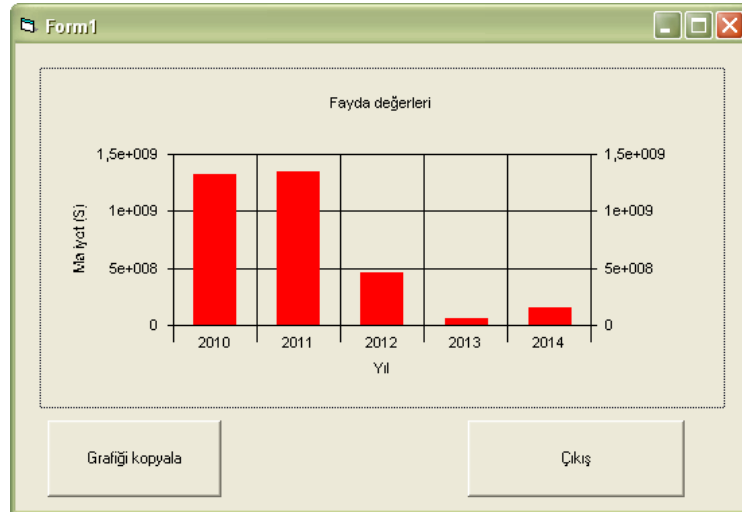
Şekil 14.25. Farklı bütçe değerlerinin kullanıcı faydalarına etkisi



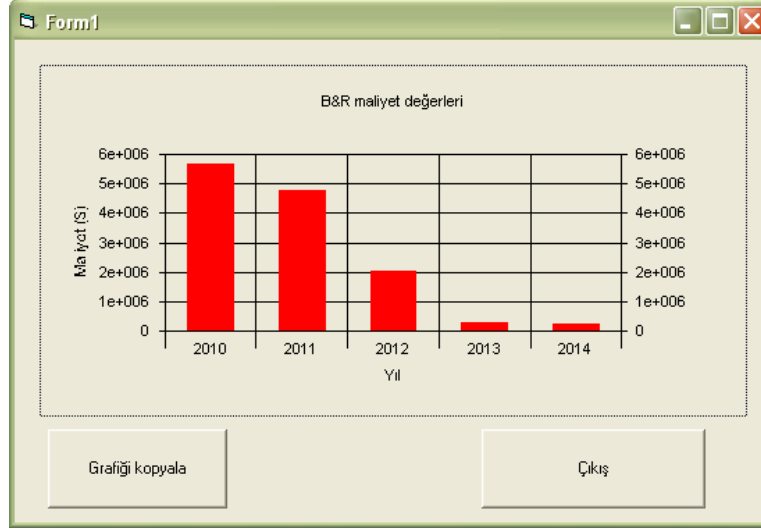
Şekil 14.26. Faydalar ile maliyetler arasındaki ilişki

Grafiklerden de görüldüğü gibi, faydalar maliyetlere oranla oldukça yüksek çıkmıştır. Faydaların aşırı yüksek çıkmasının nedeni kaza maliyetlerinin çok yüksek olmasıdır. Fakat, kaza maliyetleri faydalardan çıkarılırsa fayda/maliyet oranı çok düşük çıkmaktadır. Geliştirilen program, herhangi bir değişikliğe gerek kalmadan kaza maliyetlerinin ve üstyapıdaki bozulmalardan kaynaklanan kaza oranının değiştirilmesine olanak verdiğinden, istenirse bu değerleri değiştirerek farklı senaryolar üretilebilir.

Fayda Maliyet Analizinde farklı bütçe kısıtları uygulanarak farklı senaryolar denenmiştir. Şekil 14.27. ve 16.28.'da 6000000 TL bütçe kısıtı kullanılarak gerçekleştirilen optmizasyona ait fayda-maliyet ve değerleri ile B ve R maliyetlerine etkisi görülmektedir.



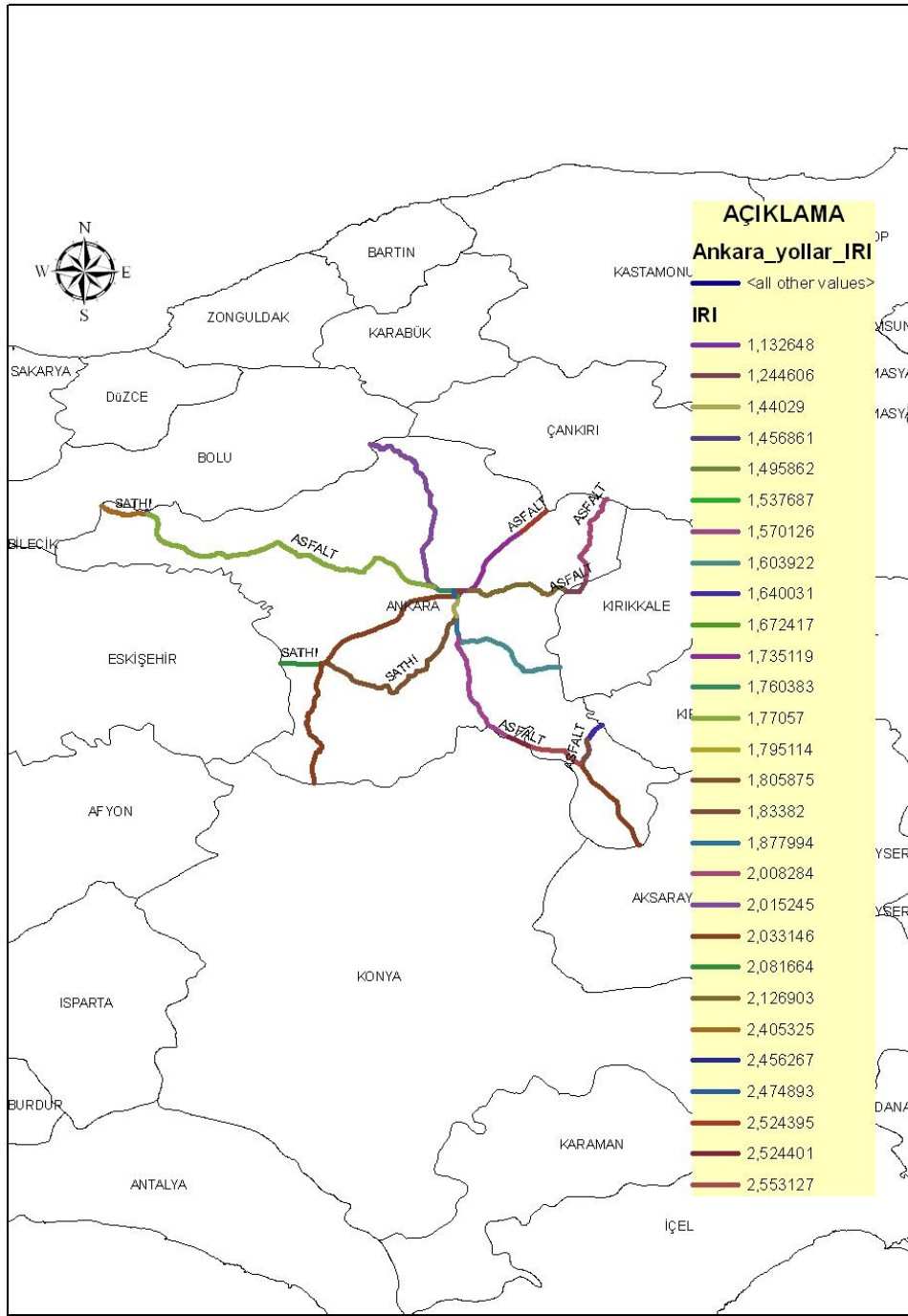
Şekil 14.27. 6.000.000 TL bütçe kısıtının kullanıcı faydalarına etkisi



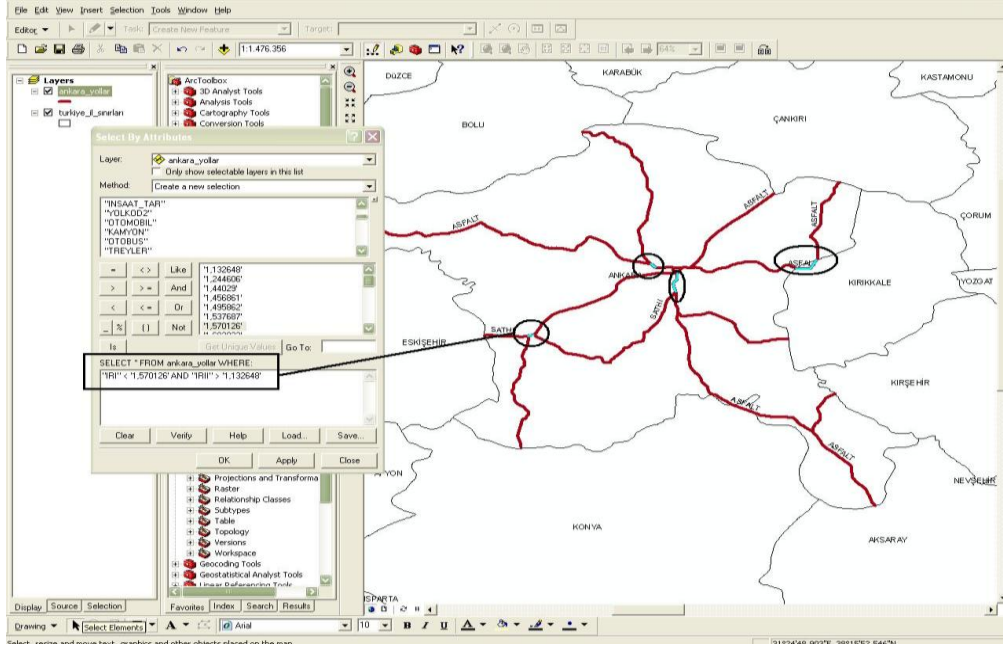
Şekil 14.28. 6.000.000 TL’lik bütçenin bakım ve onarım maliyetlerine etkisi

14.4.5.1. CBS ile Optimizasyon Çalışması ile Bakım ve Onarım Takviminin Belirlenmesi

Yazılan bilgisayar programına CBS ve ÜYS’ nin vazgeçilmez bileşenlerinden olan sorgulama özelliği eklenmiştir. Bu amaçla, bir alt program yazılmıştır. Şekil 14.29 ‘da 2010 yılı için tahmin edilen IRI değerleri görülmektedir. Şekil 14.30’da örnek bir sorgulama, ve sorgulama sonucu görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sorgulama sonrasında, sorguya uyan sonuçlar, ekran üzerinde mavi renkte görüntülenmiştir. Örnekte IRI değerleri 1,59 ile 1,80’arasında olan kesimler sorgulanmıştır. Tablo 14.6’da görüldüğü üzere kaplamanın IRI değerlerine göre yapılması gerekenler ‘Mevcut kullanılabilirliğini sürdürebilmek için yakında onarım gerekmektedir’. Şeklindedir. Tablo 14.6 IRI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımlarını göstermektedir.



Şekil 14.29. 2010 yılı için tahmin edilen IRI değerleri



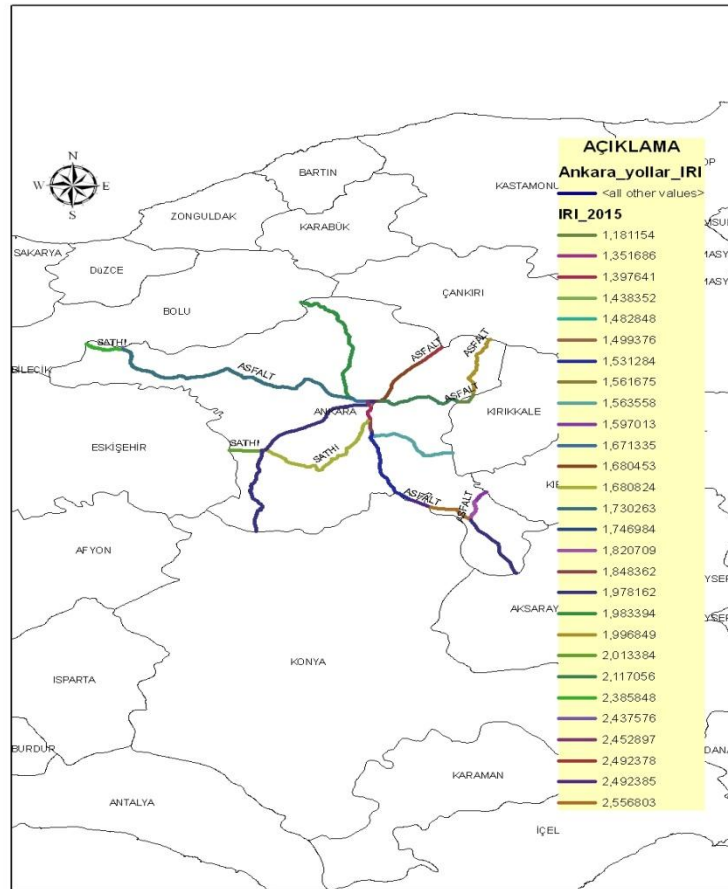
Şekil 14.30. 2010 yılı için IRI değerleri 1,59 ile 1,80'arasında olan kesimler

Tablo 14.6. IRI Değerleri ve Bakım-Onarımda Öncelik Sıralaması (KGM, 2010).

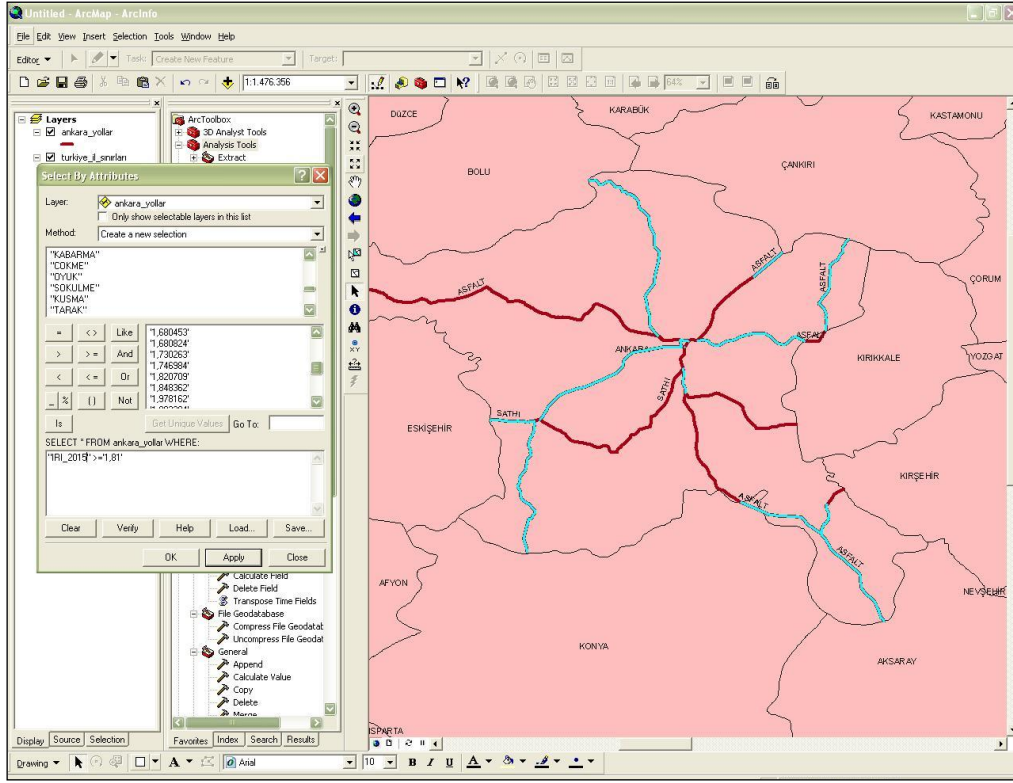
Düzgünsüzlük Değeri (IRI-m/km)	Düzgünsüzlük Sınıflaması	Bakım-Onarım Öncelik Sıralaması	Kaplamanın IRI Değerlerine Göre Yapılması Gerekenler
0 - 0,71	Çok İyi	6	Yeni veya yeni sayılabilen kaplama; bir süre için iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
0,72 - 1,11	İyi	5	İyi durumdaki kaplama; yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duymaz.
1,12 - 1,58	Orta-İyi	4	Trafiğe bağlı olarak yakın gelecekte iyileştirmeye ihtiyaç duyacaktır.
1,59 - 1,80	Orta	3	Mevcut kullanılabilirliğini sürdürebilmek için yakında onarım gerektirir.

1,81 - 2,13	Kötü	2	Eski hizmet kabiliyetini geri kazanabilmesi için hemen iyileştirme gerekir.
> 2,13	Çok Kötü	1	-

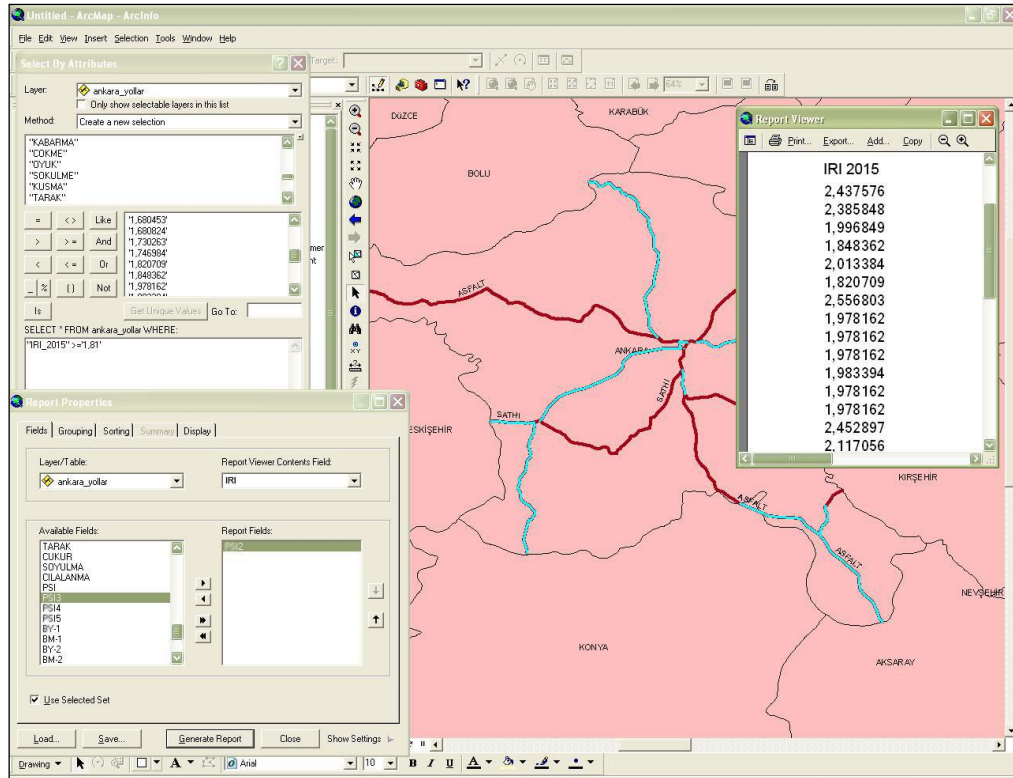
Şekil 14.31 ‘da 2015 yılı için tahmin edilen IRI değerleri sorgulanmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi sorgulama sonrasında, sorguya uyan sonuçlar, ekran üzerinde farklı renklerde görüntülenmiştir. Şekil 14.32. ‘de IRI değerleri 1,81’den büyük olan kesimler sorgulanmıştır. Şekilde de görüldüğü gibi sorgulama sonrasında, sorguya uyan sonuçlar, ekran üzerinde mavi renkte görüntülenmiştir. Tablo 14.6’da görüldüğü üzere kaplamanın IRI değerlerine göre yapılması gerekenler ‘Eski hizmet kabiliyetini geri kazanabilmesi için hemen iyileştirme gerekir.’ Şeklindedir. IRI değeri 2,13’den büyük kesimler ise yeniden yapılmalıdır. Şekil 14.32.’de ise sorgulama sonucu bulunan IRI değerleri raporlanmıştır.



Şekil 14.31. 2015 yılı için tahmin edilen IRI değerleri

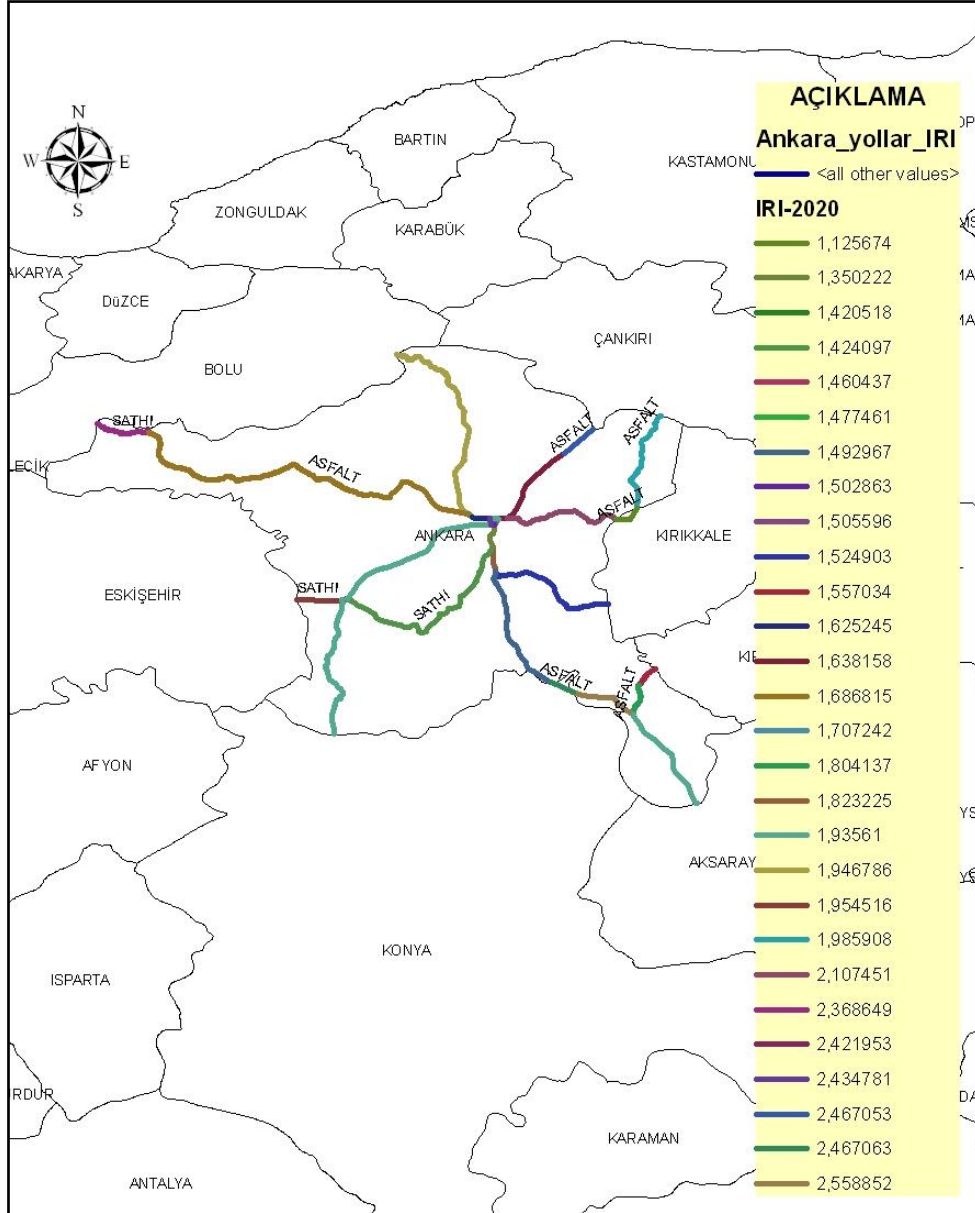


Şekil 14.32. 2015 yılı için IRI değerleri 1,81’den büyük olan kesimler

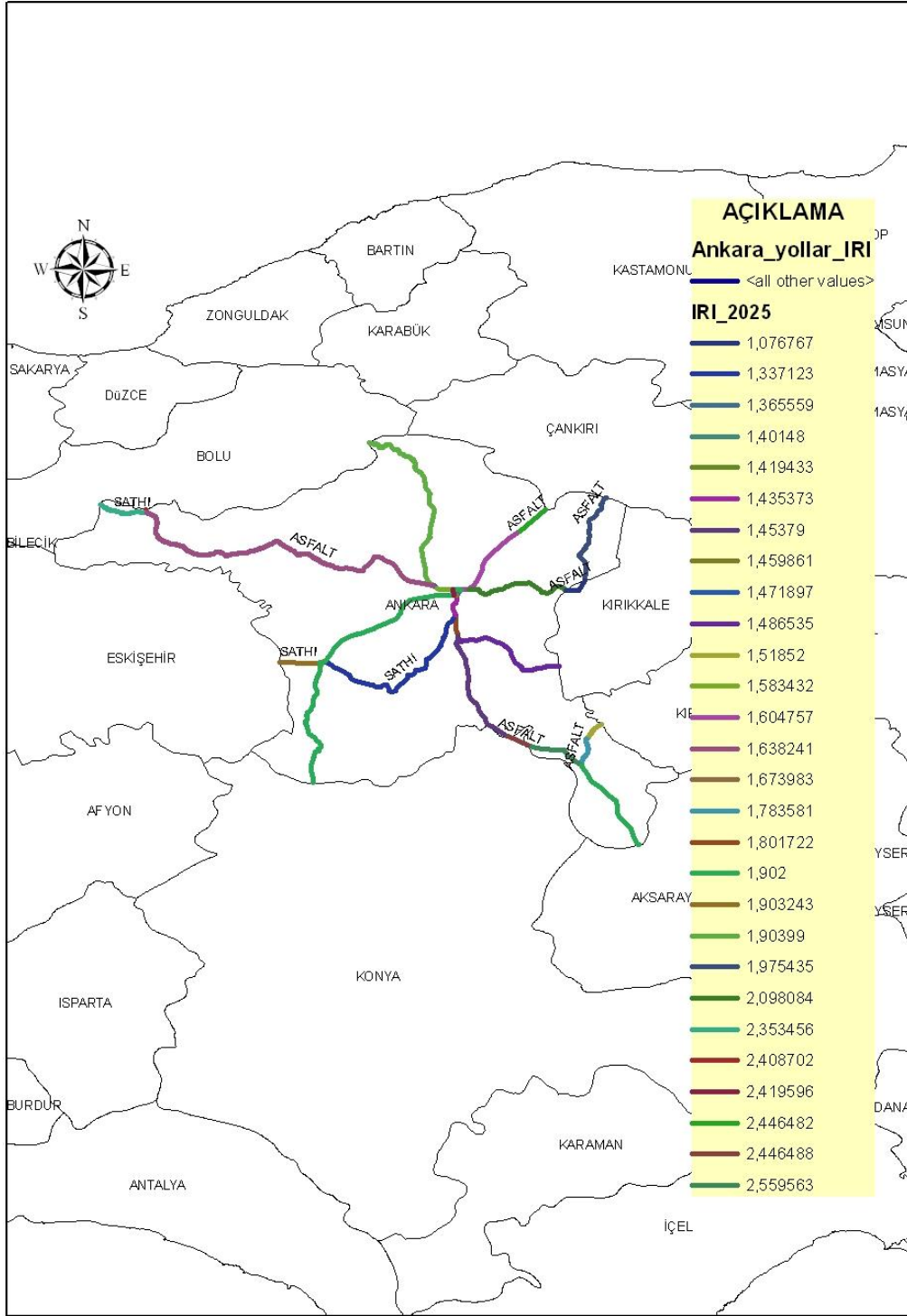


Şekil 14.33. 2015 yılı için IRI değerleri 1,81’den büyük olan kesimlerin raporlanması

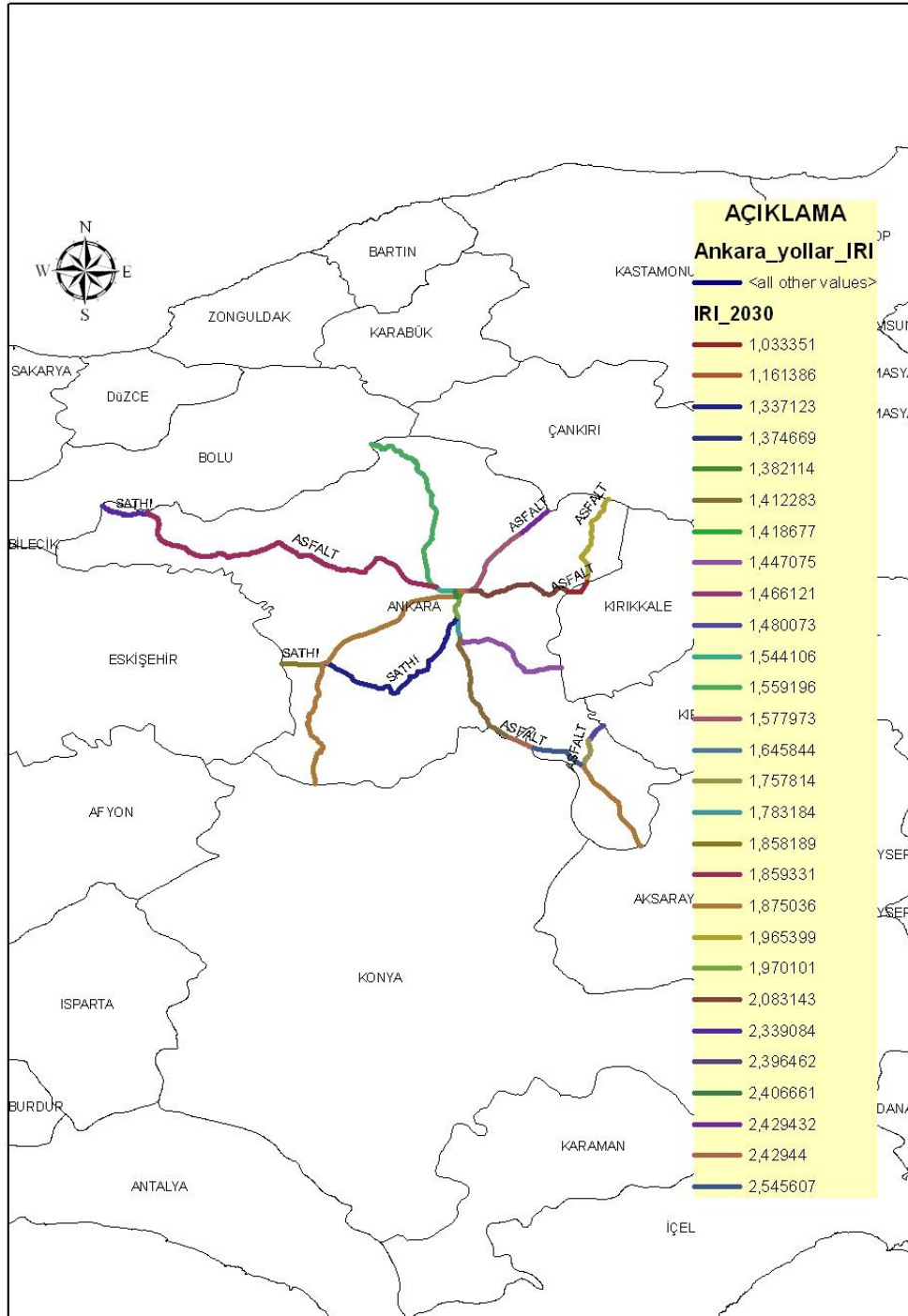
Şekil .16.34 ‘de 2020 yılı için tahmin edilen IRI değerleri görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yol kesimleri IRI değerlerine göre farklı renklerde görülmektedir. Şekil 14.35 ve 16.36’de ise sırasıyla 2025 ve 2030 yılları için tahmin edilen IRI değerleri görülmektedir.



Şekil 14.34. 2020 yılı için tahmin edilen IRI değerleri

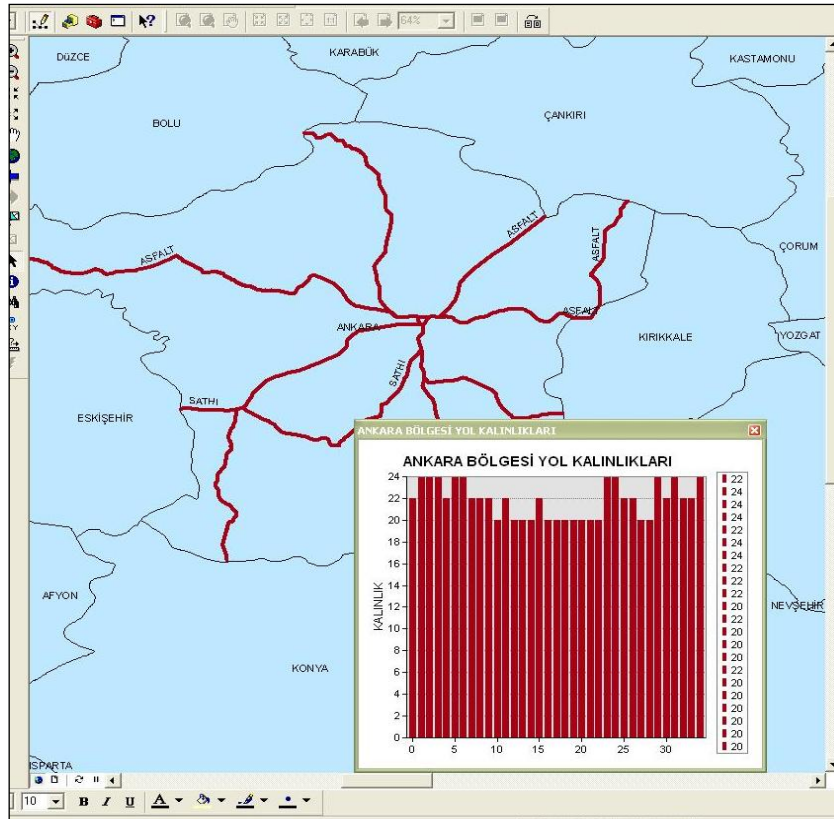
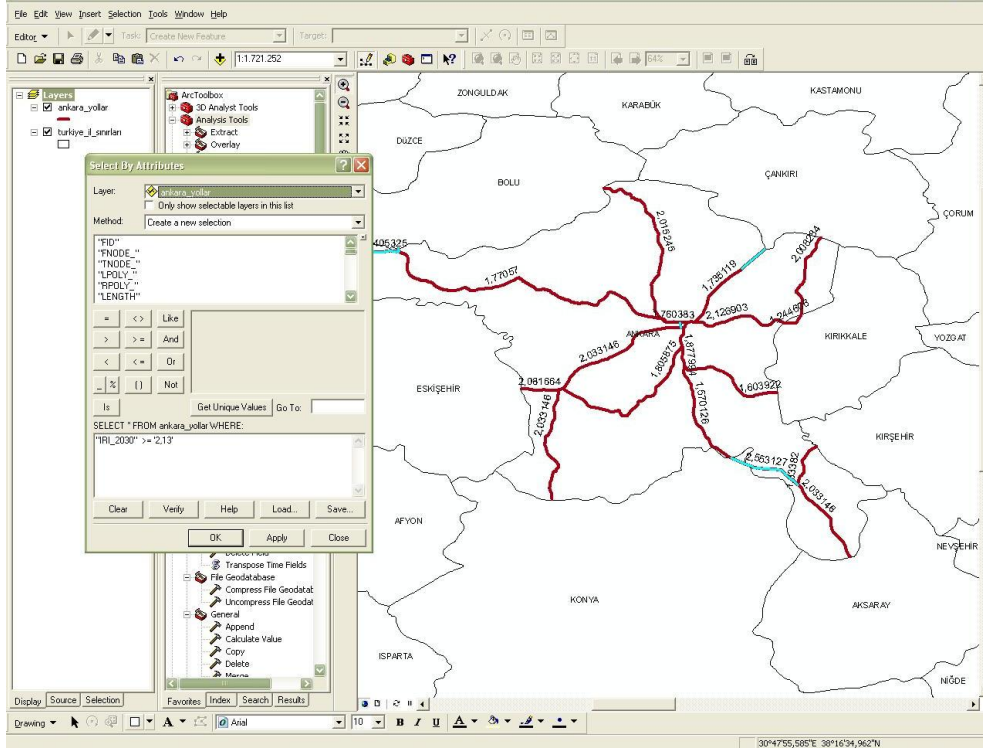


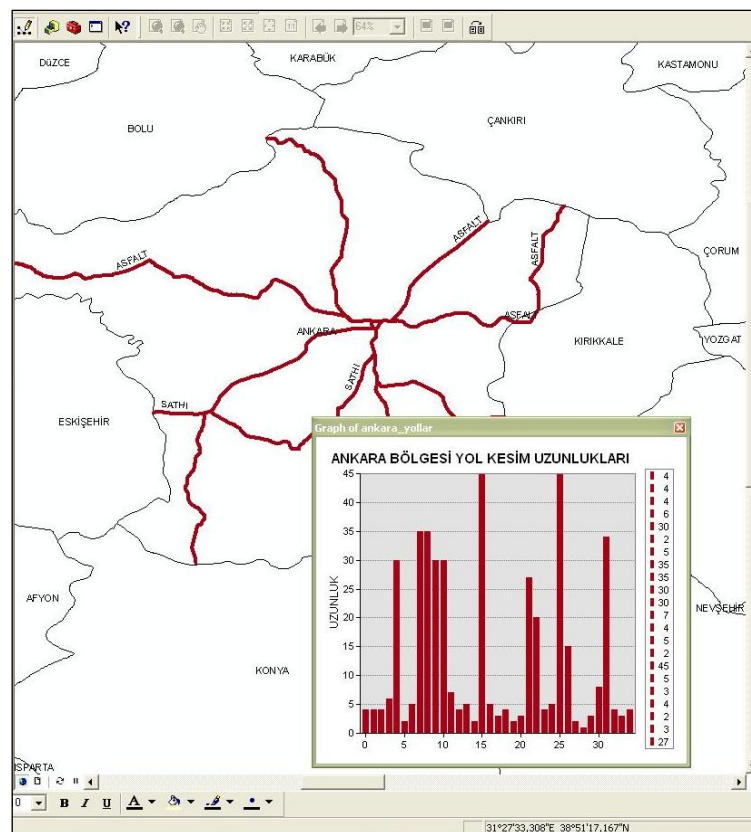
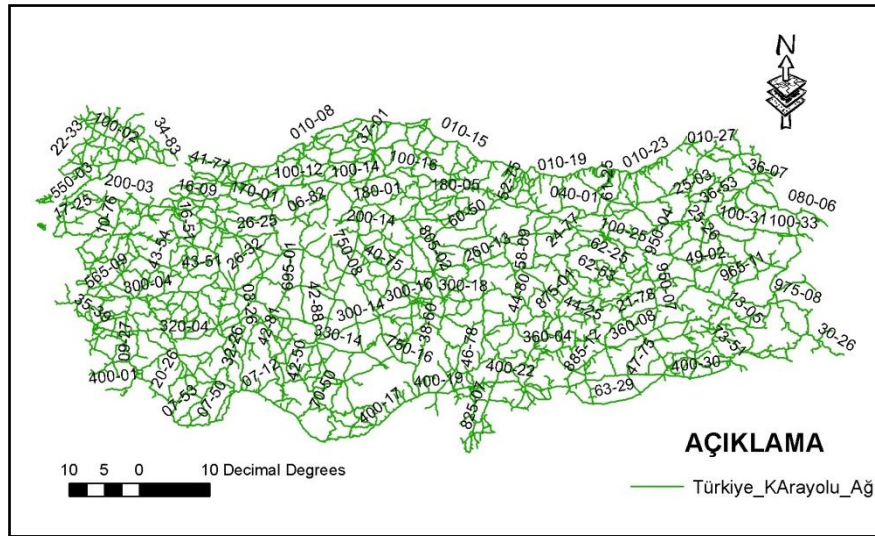
Şekil 14.35. 2025 yılı için tahmin edilen IRI değerleri

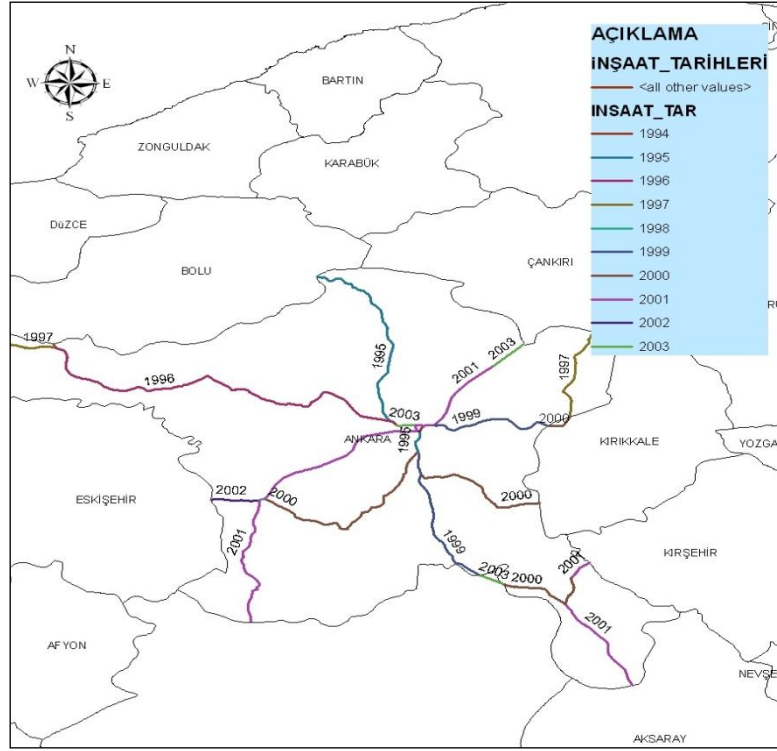


Şekil 14.36. 2030 yılı için tahmin edilen IRI değerleri

Şekil 14.37’de ise 2030 yılı için tahmin edilen IRI değerleri içerisinde 2,13’den büyük değere sahip olan kesimler sorgulanmıştır. Sorgulama sonucu bulunan kesimler mavi renkte görülmektedir.





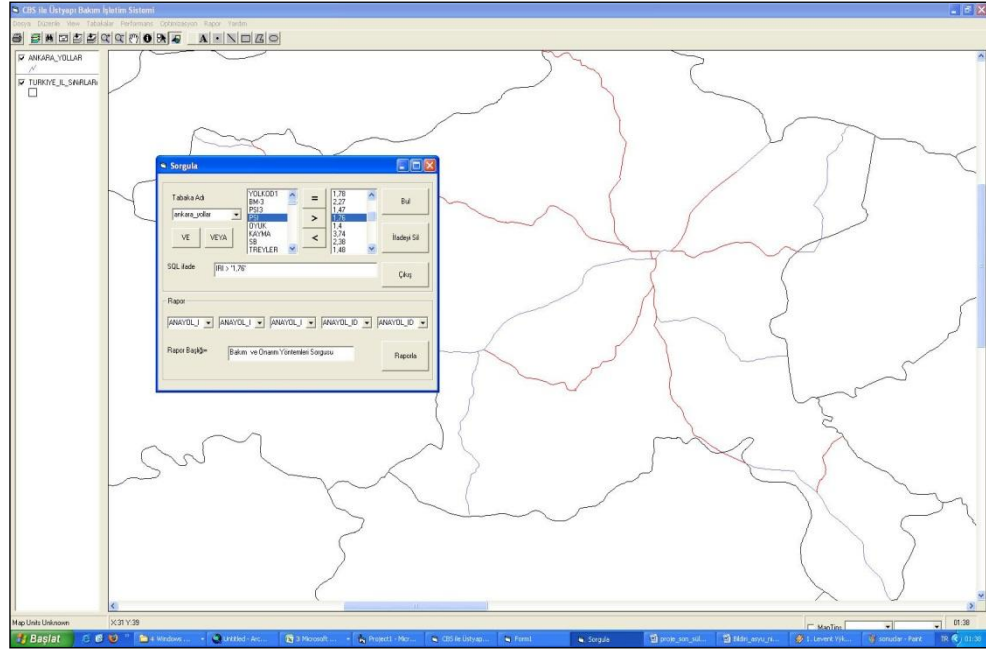


Şekil 14.41. Çalışma alanı yol inşaat tarihlerinin görüntülenmesi

Şekil 14.38’da 2010 yılı çalışma alanı yol kalınlıkları, Şekil 14.39’da Türkiye Karayolu Ağı yol kesimleri, Şekil 14.40’da 2010 yılı çalışma alanı yol kesim uzunlukları, Şekil 14.41’de ise Çalışma alanı yol inşaat tarihleri görüntülenmiştir.

14.4.6. Sorgulamalar

Yazılan bilgisayar programına CBS ve ÜYS’ nin vazgeçilmez bileşenlerinden olan sorgulama özelliği eklenmiştir. Bu amaçla, bir alt program yazılmıştır. Şekil 14.42’de örnek bir sorgulama, ve sorgulama sonucu görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sorgulama sonrasında, sorguya uyan sonuçlar, ekran üzerinde kırmızı renkte görüntülenmiştir. Örnekte IRI değerleri 1,76’dan büyük olan kesimler sorgulanmıştır.



Şekil 14.42. Örnek bir sorgulama ekranı kullanıcı ara birimi

14.4.7. Raporlamalar

Yazılan bilgisayar programına CBS ve ÜYS'nin bir diğer önemli bileşenlerinden olan raporlama özelliği de eklenmiştir. Yine bu amaçla, bir alt program yazılmıştır. Şekil 14.43'de örnek bir raporlama sonucu görülmektedir. Kullanıcı isterse, sorgulama sonuçlarını da raporlayabilmektedir. Program ayrıca raporun başka bir dosyaya kaydedilebilmesine ve yazıcıdan yazdırılabilesine izin vermektedir.

14.4.8. Yardımcı Özellikler

14.4.8.1. Veri Tabanına Ait İstatistiksel Bilgiler

Geliştirilen bir alt program ile istenirse veri tabanındaki sayısal alanlara ait istatistiksel veriler rapor halinde görüntülenebilmektedir. Şekil 14.44'de ağ üzerindeki yollarda meydana gelen maddi hasarlı kaza değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi isteğe bağlı olarak görülmektedir. Pencereden istenilen değişken seçilerek o değişken hakkındaki bilgi veritabanından çekilerek görüntülenebilmektedir.

DataReport1

Zoom: 100%

Bakım Yöntemi ve Maliyetleri

YOLKOD1	KESİM	IRI	BY-1	BM-1
D140	1	2,11	6	20800
D140	2	1,53	11	192000
D140	3	1,28	1	0
D170	2	2,48	9	67200
D200	1	1,48	9	336000
D200	2	1,43	11	96000
D200	3	2,33	9	56000
D260	1	1,6	9	392000
D260	2	2,31	1	0
D260	3	1,78	1	0
D695	1	2,27	1	0
D750	1	1,47	11	336000
D750	2	1,76	10	113600
D750	3	1,4	1	0
D750	4	3,74	12	121600
D750	5	2,38	1	0
D750	6	1,48	9	56000

Pages: 1

Şekil 14.43. Örnek bir raporlama ekranı kullanıcı ara birimi

İstatistikler

İstatistikler

Alan İsimleri

YARA
TNODE_
BANKET
YAPISMA
OTOMOBİL
UZUNLUK
SIKISTIRMA
ANAYOL_
DRENAJ
MADDI
INSAAT_TAR
BITUM
ANAYOL_ID

Min Değer: 2

Max Değer: 44

Ortalama: 12,94285714285

Standart Sapma: 12,08290687936

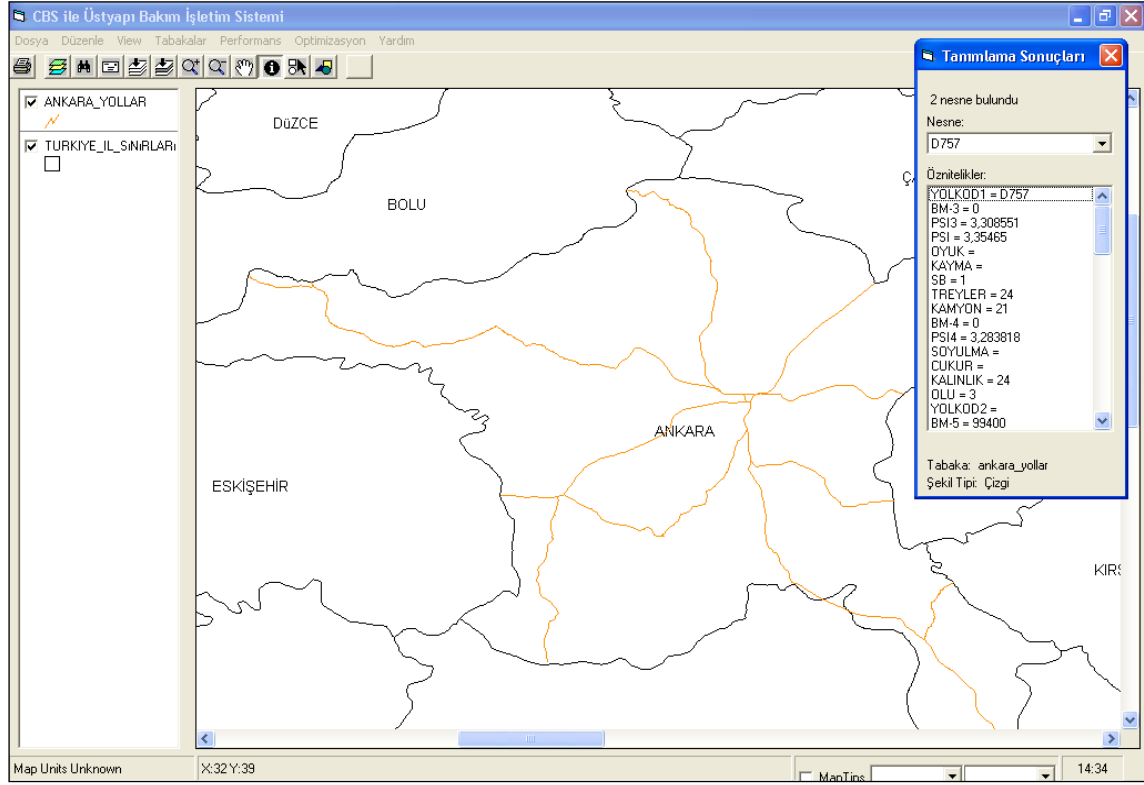
Toplam: 453

Çıkış

Şekil 14.44. İstatistik alt programı ekran görüntüsü

16.4.8.2. Tanımlama

Kullanıcı eğer isterse, harita üzerindeki bir nesnenin değerlerini seçerek veri tabanındaki o nesneye ait bilgileri görüntüleyebilmektedir. Şekil 14.45, bir tanımlama sonucunu göstermektedir.



Şekil 14.45. Bir tanımlama örneği sonucu

16.4.8.3. Veri tabanı görüntüleme

Kullanıcı gerek veri girişi, gerekse veri düzeltme amacıyla veri tabanının tamamını görüntüleyebilir ve isterse değişiklikler yaparak bunları veri tabanına yazdırabilir. Şekil 14.46, bu amaçla yazılan öznitelik görüntüleme kullanıcı ara birimini göstermektedir.

Form1

ankara_yollar

Göster Değişiklikleri Kaydet Çıkış

No	BM-3	ER	KAMYON	BM-4	P
1	0	210	211	0	2
2	0	16	14	5920	1
3	0	8	100	3360	1
4	8880	210	211	0	2
5	0	205	253	0	1
6	0	16	14	960,0001	1
7	0	145	459	2400	2
8	0	205	253	0	1
9	0	205	253	0	2
10	0	205	253	0	1
11	0	573	751	25200	2
12	5880	247	161	0	1
13	5920	315	673	0	1
14	0	315	673	0	1
15	2960	463	501	0	3
16	0	205	253	0	2
17	2400	315	673	0	1
18	4440	315	673	0	1
19	1920	315	673	0	1
20	0	315	673	0	1
21	1440	315	673	0	1
22	39960	573	751	0	1
23	16800	315	673	0	1
24	0	8	245	1920	1
25	4200	463	501	0	1
26	0	205	253	66600	3
27	0	205	253	0	2
28	2960	315	673	0	3

değer

1.43

OK Cancel

Şekil 14.46. Öznitelik görüntüleme kullanıcı ara birimi

15. SONUÇLAR

Bir üstyapı yönetim sisteminde bulunması zorunlu olan en önemli parametre veri tabanıdır. Doğru bir veri tabanı ancak gerçekçi bir sistem kurulmasını sağlayabilir. Sağlıklı olmayan bir veri tabanı kullanılarak hiçbir şekilde iyi bir Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) geliştirilemez. Proje çalışmasında, özellikle inşaat tarihi, trafik değerleri, tabaka kalınlıkları ve IRI ölçümü yapılmış kesimlere ait veriler elde edilmiştir.

Performans tahmini için literatürde regresyon modeli en çok kullanılan yöntemdir. Fakat son yıllarda bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle birlikte yapay zekâ teknikleri de bu amaçla kullanılmaya başlanmıştır. Yapay Sinir Ağları yöntemi ile geliştirilen modelin test setinde $0.94 R^2$ değeri, tek girdili modelde $0.96 R^2$ değeri elde edilmiştir. Çoklu regresyon modelinde ise, $0.918 R^2$ değeri, sadece trafiğin dikkate alındığı modelde ise $0.89 R^2$ değeri elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler, en etken parametrenin trafik olduğunu ve sadece trafik verisi kullanılarak bile yüksek başarıda performans tahmini yapılabileceğini göstermiştir.

KGM tarafından Komsa Yapı firmasına yaptırılan ölçümler sonucunda elde edilen veriler kullanılarak yapılan çalışma sonucunda üstyapı performans göstergelerinden IRI tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, Sıcaklık, Düzeltilmiş D_0 , Taban Zemini Esneklik Modülü (MR), Üstyapı, Efektif Modülü (EP), Mevcut Üstyapı Sayısı (SNM), Gerekli Üstyapı Sayısı (SNG), Fark SN (Üstyapı Sayısı), ve Eşdeğer Aşınma Kalınlığı girdi olarak seçilmiştir. Geliştirilen YSA modeli sonucunda, eğitim setinin regresyon değeri 0.76, doğrulama setinin regresyon değeri 0.57 ve test setinin regresyon değeri ise 0.68 olarak elde edilmiştir. Genel regresyon değeri ise 0.72 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler, benzer modelleme çalışmaları ile karşılaştırıldığında çok yüksek değildir. Bunun nedeni, mevcut verilerin elde edildiği karayoluna ait trafik değerlerinin neredeyse aynı olması nedeniyle trafik veya eşdeğer standart dingil yükü sayısı (ESDYS), buna bağlı olarak yığılmış ESDYS verilerinin girdi olarak kullanılamamasıdır. Bunun yanında tüm kesimlerin inşaat yılının da aynı olması sebebiyle yaş da bir değişken olarak dikkate alınamamıştır. Bu nedenle, geliştirilen model, trafik ve yaş dışı faktörleri dikkate alması nedeniyle elde edilen başarı oldukça yüksek olarak değerlendirilmelidir.

ÜYS çalışmalarında önemli hususlardan biri de sınırlı bütçenin dağıtımıdır. Asfalt betonu üstyapılarda oluşan bozulmalar, onarım yöntemleri, trafik kazaları ve bunların maliyetleri (maddi hasar, yaralanma ve ölüm) ile taşıt işletme maliyetleri ayrı ayrı ülkemiz için belirlenmiştir. Daha sonra belirlenen bu değerler kullanılarak örnek bir bölgede genetik algoritma yöntemi kullanılarak fayda-maliyet analizi gerçekleştirilmiştir. Bu örnek çalışma ile geliştirilen fayda-maliyet modeli, CBS ile birleştirilerek bir analiz gerçekleştirilmiştir. Veri tabanında oluşturulan veriler kullanılarak, örnek ağın performans tahmini yapılmış ve bu tahmin değerleri veri tabanına yazılarak veri tabanı güncellenmiştir. Verilen bütçe kısıtları altında, performans, YOGT, kaza değerleri ve enflasyon oranı kullanılarak, toplam faydayı maksimize eden bir optimizasyon çalışması yapılarak, onarım yöntemi ataması yapılmıştır. Onarım yöntemi ve maliyetleri veri tabanına yazılarak veri tabanı güncellenmiştir. CBS'nin temel özelliklerinden olan tanımlama, sorgulama ve raporlama özellikleri de yazılıma eklenerek kullanılmıştır.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilen veriler kullanılarak yapılan çalışma sonucunda stabilite değerinin tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, LWD Kuvvet, LWD Basınç, LWD Çarpma, Defleksiyon, Elastisite Modülü, MA, Islak Yoğunluk, Nem Miktarı, Nem Yüzdesi, Boşluk Yüzdesi girdi olarak seçilmiştir. Geliştirilen YSA modeli sonucunda, eğitim setinin regresyon değeri 0.61, doğrulama setinin regresyon değeri 0.34 ve test setinin regresyon değeri ise 0.64 olarak elde edilmiştir. Genel regresyon değeri ise 0.60 olarak elde edilmiştir. Elde edilen bu değerler, benzer çalışmalar ile karşılaştırıldığında çok yüksek değildir. Bunun nedeni bitümdeki yaşlanma, ölçüm yapılan alanlarda trafik sayılarının farklı olması, karot alınan yerlerin bankete yakın olması olabilir. Daha kapsamlı ve farklı bölgelerde daha fazla numune alınarak daha iyi modeller geliştirilebileceği düşünülmektedir.

Çalışmanın son aşamasında web ara yüzü ile Windows tabanlı ara yüz organize çalışacak şekilde ortak bir veri tabanına bağlanmıştır. KGM şubeleri tarafından sisteme girilen veriler ortak bir veri tabanına kaydedildiği için Windows tabanlı ara yüzü kullanan yönetici kullanıcılar performans tahmini ve optimizasyon gibi uygulamaları güncel verileri kullanarak gerçek zamanlı olarak gerçekleştirebilmektedirler.

Ortak veritabanına kullanıcılar tarafından girilen veriler ile üç değişik yöntemle yapılabilen performans tahmin modeli yazılımsal olarak geliştirilerek bir bilgisayar programı haline

getirilmiştir. Performans tahmininde kullanılan bu yöntemler; Yapay Sinir Ağları, Çoklu Regresyon ve Gen İfade Programlama yöntemidir.

15.1. Öneriler

Bu çalışmada, geliştirilmeye çalışılan sistemde bazı eksiklikler mevcuttur.

- Öncelikle ülkemiz karayolları için geliştirilecek bir performans tahmin modeli çalışmasında, farklı trafik değerlerine sahip, farklı yıllarda inşa edilmiş, farklı kalınlıklara sahip, farklı iklim koşullarına maruz kalan, farklı bitüm penetrasyonunda, farklı agrega malzemesi ile inşa edilmiş, farklı gradasyonların kullanıldığı karayolu kesimlerinde düzenli ölçümler yapılmalı ve bu veriler kullanılarak performans tahmin modelleri geliştirilmelidir. Bu açıdan bakıldığında, henüz ülkemiz için geliştirilen bu modeller daha gelişmeye ve değişmeye açıktır.
- Geliştirilen yazılım ve modellerde kullanılan veri tabanı maalesef eksik bilgiler içermektedir. Bunun sebebi, halen ülkemizde yoğun biçimde devam eden bölünmüş yol çalışmaları ve bunun yanında sathi kaplamalı olarak inşa edilen birçok kesimin BSK'ya dönüşmekte olmasıdır. Bu nedenle, devam eden inşaatlara paralel olarak veri tabanının sürekli güncel olarak tutulması son derece önemlidir.
- Veri tabanına esas teşkil eden verilerden özellikle performans (IRI) verilerinin elde edilmekte kullanılan araçtan sadece bir adet mevcuttur. Bu aracın tüm Türkiye'ye ait verileri ölçmesi ve bunların değerlendirilmesi oldukça zaman alıcı olmaktadır. Ayrıca aracın arıza yapması ve kalibrasyonunda sorun çıkması durumlarında yapılan çalışmalar sektöre uğrayabilecektir. Bu nedenle mutlaka bu araçtan mümkünse her bölgeye bir adet temin edilmesi, kullanacak personelin bu konuda özel olarak eğitilmesi son derece yararlı olacak, her bölgenin kendi verisini internet üzerinde sisteme girmesi ile de zaman kazanılabilecektir.
- Üstyapı yönetim sistemi çalışması hiçbir zaman bitmeyecek uzun soluklu çalışmalar olduğundan yapılan bu model ve veritabanı çalışmalarının mutlaka takibinin yapılması ve sürekli güncel tutulması, doğru değerlendirme için son derece önemlidir.

KAYNAKLAR

- AASHTO, 1962, The AASHTO Road Test, Report 5, Pavement Research, Highway Research Board, No: 954, National Academy of Sciences, Washington
- AASHTO, 1986, American Association of State Highway and Transportation Officials, pp-III-7, Washington, USA
- Abaza, K. A., Ashur, S.A., Al-Khatib, I.A., 2004, Integrated Pavement Management System with a Markovian Prediction Model, Journal of Transportation Engineering, Vol.130, No. 1, pp 24-33
- Abouna, A. G., 2000, GIS applications in transportation planning of the city of San Diego, ESRI User Conf.
- Abrowitz, M., Walsh, S., Hauser, E., Minor, L., 1989, Adaptation of geographic information systems to highway management, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 116, No 3, pp. 310-327.
- Acar, E., 2002. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Araştırılması ve Gerçeklenmesi. Ankara Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (yayınlanmamış), 53s, Ankara.
- Akın, D., Eryılmaz, Y., 2001, Coğrafi bilgi sistemi destekli trafik kaza analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- Amado V., (2000), "Expanding the Use of Pavement Management Data", 2000 MTC Transportation Scholars Conference, Ames / Iowa.
- American Society for Testing and Materials, 1999
- Anderson, D., & McNeill, G. (1992). Artificial neural networks technology. A DACS State-of-the-Art Report. New York: Kaman Sciences Corporation
- Ang. K.S. ve Ling. H.C. (2006). "Identification of Road Traffic Hazardous Location Using Geographical Information System", [fist2.mmu.edu.my/m2usie/proceedings\(\)5/TS11/05-67](http://fist2.mmu.edu.my/m2usie/proceedings()5/TS11/05-67), Erişim: 25.02.2006

- Anonim, İşlem, 2004. Çağdaş Kent Yönetimi Çözümlerinde Teknolojik Yaklaşım Kent Bilgi Sistemi. İşlem Şirketler Grubu Eğitim Dokümanları Yayınları. 30s, Ankara.
- Arampatzis G. (2005), "A GIS-Based Decision Support System For Planning Urban Transportation Policies", environ.chemeng.ntua.gr/Uploads/Doc/Projects/research/policies.pdf". Erişim: 23.12.2005
- Armstrong, M. (2005), "Modelling Urban Transportation Emissions: Role Of GIS", www.elsevier.com/locate/compenvurbsvs. Erişim: 23.12.2005
- A. Samy Noureldin, Ph.D., PE, Karen Zhu, Ph.D. Shuo Li, Ph.D., PE, Dwayne Harris, M.Sc., January 2003 Network Pavement Evaluation Using Falling Weight Deflectometer And Ground Penetrating Radar.
- ASTM E 274-90, 1992, Standard Test Method for Skid Resistance of Paved Surfaces Using a Full-Scale Tire, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, USA
- ASTM E 303-83, 1992, Standard Test Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester, Annual Book of ASTM Standards, Vol. 04.03, USA
- Attoh-Okine, N. O., 1999, Analysis of learning rate and momentum term in backpropagation neural network algorithm trained to predict pavement performance, *Advances in Engineering Software*, Vol. 30, pp. 291-302.
- Attoh-Okine, N. O., 2001. Grouping pavement condition variables for performance modeling using self-organizing maps, *Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering*, Vol. 16, pp. 112-125.
- Attoh-Okine, N. O., 2002, Combining use of rough set and artificial neural networks in developed-pavement-performance modeling-a hybrid approach, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 128, No. 3, pp. 270-275.
- Ay, S., 2001, Antalya Bölgesindeki Devlet Yollarının Üstyapı Performanslarının Analizi ve İyileştirme Çalışmaları, Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Antalya

- Ayvalık, C.K., 1996, Combining Pavement Management Sections to Obtain Rehabilitation Projects, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Bandara, N., Gunartne, M., 2001, Current and future pavement maintenance prioritization based on rapid visual condition evaluation, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 127, No. 2, pp. 116-123.
- Bayartan, M., (2002), "Kentsel Fonksiyonların Ortaya Konmasına ve Değerlendirilmesinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı", 2.Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, 30-31 Ekim 2002, İstanbul
- Baz, İ., 1999. Yerel Yönetimler İçin Kent Bilgi Sistemi Tasarımı, Yerel Yönetimlerde Kent Bili Sistemi Uygulamaları Sempozyumu, Trabzon. 006).
- Bello, T.(2006), "A Stratified Traffic Accident Analysis", <http://charlotte.utdallas.edu/mgis/prinstrs/2005/Fall/Bello/Masters%20Deliverables/Maste2Presentation.ppt>. Erişim: 2.02.2006.
- Berger, L., Greenstein, J., Hoffman, M., 1989, Practical Applications of Models for Pavement Maintenance Management, Journal of Transportation Engineering, Vol. 117, No. 4, pp. 382-397
- Blackstone, D. (2005), "State-Wide LRS/GIS Base Map", www.gisi.org/vr2003/eisl2003sessions/Session441.ppt. Erişim:16.11.2005
- Burrough, P. A., 1986. Principles of Geographic Information Systems for Land Resources Assessment. Oxford: Clarendon.
- C. Ferreira, Gene Expression Programming in Problem Solving, In Roy, R., Ovaska, S., Furuhashi, T., and Hoffman, F., eds, Soft Computing and Industry-Recent Applications, 635-654, Springer-Verlag, 2002.
- Carnahan, J. V., Davis, W. J., Shahin, M. Y., Keane, P. L., Wu, M. I., 1986, Optimal maintenance decisions for pavement management, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 113, No. 5, pp. 554-572.

- Chan, W. T., Fwa, T. F., Hoque, K. Z., 2001, Constraint handling methods in pavement maintenance programming, *Transportation Research Part C*, Vol. 9, pp. 175-190.
- Chan, W. T., Fwa, T. F., Tan, C. Y., 1994, Road-maintenance planning using genetic algorithms. I: Formulation, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, Vol. 120, No. 5, pp. 693-709.
- Chen, J-S, Lin, C-H., Stein, E., Hothan, J., 2004, Development of a Mechanistic-Empirical Model to Characterize Rutting in Flexible Pavements, *Journal of Transportation Engineering*, Vol. 130, No. 4, pp 519-525
- Cheng, H. D., Chen, JR., Glazier, C., Hu, Y. G., 1999, Novel approach to pavement cracking based on fuzzy set theory, *Journal of Computing in Civil Engineering*, Vol. 12, No. 4, pp. 270-280.
- Choi J., Adams M. T., Hussain U. B., (2004), "Pavement Roughness Modeling Using Back-Propagation Neural Networks", *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 19(2004):295-303.
- Claramunt, C., Jianf, B., Bargiela, A., 2000. A New Framework for Integration, Analysis and Visulation of Urban Traffic Data within Geographic Information Systems, *Transportation Research Part C* , Vol. 8, pp 167- 184, Pergamon, Great Britain
- Cline D. G., Shahin M. Y., Burkhalter J. A., (2003), "Automated Data Collection for Pavement Condition Index Survey", *Transportation Research Board*, 2003 Annual Meeting CD-ROM.
- Colucci-Rios, B., Sinha, K. C., 1985, Optimal pavement management approach using roughness measurements, *Transportation Research Record*, Vol. 1048, pp. ---
- Contini, S., Bellezza, F., Christou, M. D., Krirchsteiger, C., 2000, The Use of geographic information systems in major accident risk assessment and management, *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 78, pp. 223-245.
- Cornell Local Roads Program Report 95-4, 1995. Hot and Cold Mixing Paving: Principles and Practices.

COST 337, 2002, Unbound Granular Materials for Road Pavements, Final Report of the Action, European Commission Directorate-General for Energy and Transport, Belgium

Cromley E. K. (2005), "GIS And Road Accidents in CT", www.egr.uh.edu/courses/CIVE/CIVE7397/Fall%202003/Lectures/Chapler09-ppt. Erişim: 23.12.2005.

Ding C. (2005), "The GIS-Based Human Interactive TAZ Design Algorithm;Examining The Impacts Of Data Aggregation On Transportation PlanningAnalysis", taz.tamu.edu/LAUP/faculty/chengri/publica/manage/manage.doc, Erişim: 16.11.2005

Dueker, K. J., Butler, J. A., 2000, A geographic information system framework for transportation data sharing, Transportation Research Part C, Vol. 8, pp. 13-36.

DYNATEST , <http://www.dynatest.com/>, erişim tarihi 1 Mayıs 2009.

EGM, 2010, Trafik İstatistik Bülteni, İçişleri Bakanlığı Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Eğitim ve Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Elmas, Ç. 2003. Yapay Sinir Ağları Kuram Mimari. Uygulama. Seçkin Yayınevi, İstanbul, 192s

Ermişoğlu, R., 2002. Emlak ve Çevre Temizlik Vergi Gelirlerinin KBS İle Takibinin Yapılmasına Yönelik Proje Tasarımı ve Uygulaması. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü, Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (yayınlanmamış), 111s, Gebze.

ESRI Inc. internet sitesi. www.esri.com, 2002

ESRI, 2004, Environmental Systems Research Institute, Inc. internet sitesi. www.esri.com

Filian R., ve Higelin. J. (2005), "Traffic Engineering in A Gis Environment", www.ctre.iastate.edu/research/remole/presentations/200010%20UCSB%20steering%20yrl%20proposal.ppt Erişim: 23.12.2005

- Finn, F., 1997, Pavement management systems - past, present, and future, National Workshop on Pavement Management in New Orleans, La., July 20.
- Foody, G, and Curran P., 1994. Environmental Remote Sensing from Regional to Global Scales. John Wiley & Sons Ltd.
- Fwa, T. F., Chan, W. T., 1993, Priority rating of highway maintenance needs by neural networks, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 119, No 3, pp. 419-432.
- Fwa, T. F., Chan, W. T., Tan, C. Y., 1996, Genetic algorithm programming road maintenance and rehabilitation, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 122, No. 3, pp. 246-253.
- Fwa, T. F., Sinha, K C., Riverson, J. D. N., 1988, Highway routine maintenance programming at network level, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 114, No. 5, pp. 539-554.
- Fwa, T. F., Sinha, K. C., 1986, Routine maintenance and pavement performance, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 112, No. 4, pp. 329-344.
- Fwa, T. F., Sinha, K. C., 1991, Pavement performance and life-cycle cost analysis, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 117, No. 1, pp. 33-45.
- Fwa, T. F., Sinha, K. C., 1992, Quantification of agency and user values of pavement performance, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 118, No 1, pp. 84-97.
- Fwa, T. F., Tan, C. Y., Chan, W. T., 1994, Road-Maintenance planning using genetic algorithms. II: Analysis, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 120, No. 5, pp. 710-722.
- Gilpin, R. (2004), "A GIS Analysis Of Suitability For Construction Aggregate Recycling Sites Using Regional Transportation Network And Population Density Features", www.elsevier.com/locate/resources. Erişim:23.12.2005

- Gillespie, T. D., 1992, Everything You Always Wanted to Know about the IRI, But Were Afraid to Ask! Presented at the Road Profile Users Group Meeting, Lincoln, Nebraska.
- Goodchild, M. F., Bradley, O. P. and Steyaert, L.T., . 1993. Environmental Modeling with GIS. Oxford University Press
- Gomez, Juan, (1998), "A Transportation Project in a Latin America Environment", 1998 ESRI International User Conference, 27-31 July 1998, ESRI, US.
- Griffiths, B. (2005). "Regional Transportation Data Clearinghouse Update", www.mwcog.org/uDloads/committeedocuments/tV1YV1Y20041109092031.DDL, Erişim: 16.11.2005
- Gualtieri, G. ve Tartaglia, M. (2005), "Predicting Urban Traffic Air Pollution: A Gis Framework", www.lamma.rete.toscana.it/ita/aria/Gualtieri,%20Tartaglia%20%20A%20GIS_based%20model%20-%20IFAC%20-9&20Ma, Erişim: 23.12.2005
- Gulen, S., Zhu, K., Weaver, J., Flora, W. F., 2001, Development of improved pavement performance prediction models for Indiana pavement management system, Final Report, FHWA/IN/JTRP-2001/17, USA
- Haas, R., Cheetham, A., 1982, Combined priority programming of maintenance and rehabilitation for pavement networks, Transportation Research Record, Vol. 846, pp. 39-49.
- Haas, R., Hudson, W. R., 1977, Pavement management systems, McGraw Hill Book Company, USA
- Haas, R., Hudson, W. R., Zaniewski, J., 1994, Modern pavement management systems, Krieger Publishing Company, USA
- Hajek, J.J., Phang, W.A., 1989, Prioritization and Optimization of Pavement Preservation Treatments, Transportation Research Record 1216, pp 58-68

- Harner K. (2006). "Analysis of Impact of Road Signs on Traffic Accidents in Fairfax County, Virginia", www.vcrlter.virginia.edu/~ihp7e/evsc468/2003/studgntgres/analvsis_of_impact_of_road_signs_on_traffic.ppt. Erişim: 25.02.2006
- Heinrich J. (2005), " ETSC - Best in Europe 2006 Esafety That Matters Brussels /Collecting Road Safety Data in The Czech Republicpast – Present - Future ", [www.etsc.be/documents/14%20Heinrich ETSC2006.ppt](http://www.etsc.be/documents/14%20Heinrich%20ETSC2006.ppt). Erişim: 23.12.2005
- Herabat, P., Songchitruksa, S., 2003, A decision support system for flexible pavement treatment selection, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 18, pp. 147-160.
- Hergüner, A.T., 2009, Türkiye Otoyol Ağı için Üstyapı Yönetim Sistemi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul
- Hicks, R.G., Seeds, S.B., Peshkin, D.G., 2000. Selecting A Preventive Maintenance Treatment For Flexible Pavements, Minnesota Technology Transfer Center, Washington.
- Hiçyılmaz, M. 2006. Çerçeve sistemlerde moment dağılımı- atalet momenti ilişkisinin Yapay sinir ağları ile incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe
- Holland, 1992, Genetic Algorithms, Scientific American, Vol. 260 (9), pp 44-50, USA.
- Huang. B. (2006). "Incorporating Security in Hazmat Route Punning using GIS and AHP projects.battelle.org/trbhazmat/Presemations/TRB2004-BH.ppt. Erişim: 25.02.2006
- İnce, H., 1999. Akıllı Kent Haritalarının Üretilmesi. Yerel Yönetimlerde Kent Bilgi Sistemi Uygulamaları Sempozyumu. (Yomralıoğlu, T.,-ed.), 133-142, KTÜ, Trabzon.
- İyınam, Ş., 1997, Karayollarının Üstyapı Bakım Yönetim İşlerinin Planlama Metodolojisi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tezi, İstanbul
- Jackson, N., 1989, Operation of the Washington state pavement management system, Transportation Research Record, Vol. 1048, pp. 23-28.
- Jahren, C. T., Cawley, B., Ellsworth, B., Bergerson, K. L., 1998, Review of cold in-place asphalt recycling in Iowa, Transportation Conference Proceedings, pp. 259-263.

- Jensen N. and Arshadi M. (DK), Workshop: Design for Safer Cycling, City of Copenhagen, Traffic Department & Road Department, Njalsgade13, 5, 2300, Copenhagen S. Denmark, Velocity, 2007
- Juang, H. C., Amirkhanian, S. N., 1992, Unified pavement distress index for managing flexible pavements, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 118, No. 5, pp. 686-699.
- Jung, F. W., Kher, R. K., Phang, W. A., 1976, Subsystem for predicting flexible pavement performance, Highway Research Record, pp. 15-29.
- Karan, M.A., and Haas, R., (1976) Determining Investment Maintenance.
- Karaş, İ., R., 2001. Coğrafi Bilgi Sistemlerine Yönelik İnternet Uygulamaları ve Yazılım Geliştirme. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü. Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (yayınlanmamış), 64s, Gebze
- Kentucky Highway Information System. (2006). "Small Urban Area Transportation StudyScopeOfWork", transportation.ky.gov/planning/traffic/sua_files/Example%20SUA%20Scope%20of%20Work.doc, Erişim: 25.02.2006
- Kerala State Transport Project (2005), "Road Safety Program in Kerata", www.worldbank.org/.../learning/presentations^Roads%20Wednesday/Lundebve%20KSTP%20road%20safetv%20proyram.ppt. Erişim: 23.12.2005
- KGM, 1998, Karayolu El Kitabı, Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı, Ankara
- KGM, 2001, Karayolları Esnek Üstyapılar Projelendirme Rehberi, Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara
- KGM, 2002. Trafik Kazaları Özeti, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı Trafik Şubesi Müdürlüğü, Ankara
- KGM, 2006, Karayolu Planlaması El Kitabı, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Karayolları Genel Müdürlüğü, Ankara

- KGM, 2008. Trafik Kazaları Özeti, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü Bakım Dairesi Başkanlığı Trafik Şubesi Müdürlüğü, Ankara
- KGM, 2010, “Üstyapı Yönetim Sistemi Raporu”, Ankara.
- Kırbaş, U., 2007, Üstyapı Yönetim Sistemi Ve Beşiktaş İlçesi Örneğinde Uygulama Olanaklarının Araştırılması, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi,
- Kohn, S. D., Shahin, M. Y., 1982, Economic analysis of field implementation of Paver pavement management system, Transportation Research Record, Vol. 846, pp. 61-71.
- Koldemir, N., 2002. Coğrafi Bilgi Sistemlerinde Veri Yapıları ve Bunların Karşılaştırılması. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.Lisans Tezi (yayınlanmamış), 116s, Çanakkale.
- Komsa, 2010, Haymana (260 - 04) Dya (Polatlı) - Ankara Çevre Otoyolu Ayrımı 200 - 12 / 0 - 52 Kesimi (Polatlı - Ankara Arası) Yol Üstyapı Performans Raporu, TCK- -200-12- - ANK-POL- -0-54KM- -UPR- -R-03- -REV00-12022010, Ankara
- Kulkarni, R.B., Miller, D., Ingram, R.M., Wong, C-W., Lorenz, J., 2004, Need-Based Project Prioritization: Alternative to Cost-Benefit Analysis, Journal of Transportation Engineering, Vol.130, No. 1, pp 150-158
- Kurar, H., 2001, Kavşak sinyalizasyonuna CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) yaklaşımı: İstanbul örneği, Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- Lee, D.G., Russell, J.S., 2004, Panel Data Analysis of Factors Affecting As-Built Roughness of Asphaltic Concrete Pavements, Journal of Transportation Engineering, Vol. 130, No. 4, pp 479-484
- Lin, C. T., Lee C. S. G., 1996, Neural Fuzzy Systems, A Neuro-Fuzzy Synergism to Intelligent Systems, Prentice Hall, New Jersey
- Little, D.N., Memmott, J., McFarland, F., Goff, Z., Wooten, C.V., Zollinger, D., Tang, T., epps, J., 1997, Economic Benefits of SHRP Research, SHRP Research Report 596-1F, Research Study Number 9-596, Texas Transportation Institute, Texas

- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., and Rhind, D. W., "Geographical Information Systems, Volume 2, John Wiley and Sons Inc. New York, 1999
- Lytton, R. L., 1987, Concepts of pavement performance prediction and modeling, Proc. Of Second North American Conf. on Managing Pavements, Vol. 2, pp 4-19, Canada.
- Madanat, S., Prozzi, J. A., Han, M., 2002, Effect of Performance Model Accuracy on Optimal Pavement Design, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 17, pp 22-30, USA
- Man, K. F., Tang, K. S., Kwong, S., Halang, W. A., 1997, Genetic Algorithms for Control and Signal Processing, Springer-Verlag London Limited, Great Britain
- Markov, M. J., Brademeyer, B. D., Sherwood, J., Kenis, W. J., 1987, The economic optimization of pavement maintenance and rehabilitation policy, Proc. of Second North American Conf. on Managing Pavements, pp. 170-182, Canada.
- Maguire, D. J., Goodchild, M, and Rhind, D.W., 1991. Geographic Information Systems: Principles and Applications. Longman/Wiley,
- Ministry Of Transport, 1970 Report of the Commitees on Highway Maintenance.
- Moavenzadeh, F., 1976, Stochastic model for prediction of pavement performance, Transportation Research Record, 575, pp. 56-73.
- Morova, N., 2007. Ulaştırma Mühendisliğinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanımı, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Semineri (yayınlanmamış), 87s, Isparta
- Otto, S., Ariaratnam, S. T., 1999, Guidelines for developing performance measures in highway maintenance operations, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 125, No. 1, pp. 46-54.
- Owusu-Ababio, S., 1998. Effect of neural Network Topology on Flexible Pavement Cracking Prediction, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 13, pp. 349-355.

- Öztemel, E., 2003. Yapay Sinir Ağları. Papatya Yayıncılık, 232s. İstanbul.
- Öztopal, A., 1998, Genetik Algoritmaların Meteorolojik Uygulamaları, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul
- Pan, Y., Kerali, H. R., Snaith, M. S., 1999, A network level pavement management system for China, Proc. Instn. Civil Engineers Transportation, Vol. 135, pp. 131-137.
- Papagionnakis, A. T., Delwar, M., 1999, Methodology to Improve Pavement Investment Decisions, Final Report, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, National Research Council
- Parentela, E. M., Cheoma, G., 2001, GIS-Based Risk Analysis for Commercial Goods Transport in Southern California, ESRI Users Conf, USA
- Pedigo, R. D., Hudson, W. R., 1982, Simplified pavement management at the network level, Transportation Research Record, Vol. 846, pp. 30-39.
- Peng, Z. R., Huang, R., 2000, Design and development of interactive trip planning for web-based transit information systems, Transportation Research Part C, Vol. 8, pp. 409-425.
- Prozzi, J. A., Madanat, S. M., 2003, Incremental nonlinear model for predicting pavement serviceability, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 129, No. 6, pp. 635, 641
- Quiroga, C. A., Bullock, D., 1998. Travel time studies with global positioning and geographic information systems: An integrated methodology, Transportation Research Part C , Vol. 6, pp. 101-127.
- Rada, G., R., Perl, J., Witczak, W., 1985, Integrated model for project-level management of flexible pavements, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 112, No. 4, pp. 381-399.
- Ramaswamy, R., Ben-Akiva, M., 1990, Estimation of highway pavement deterioration from in-service pavement data, Transportation Research Record, 1272, USA

- Riggins, M., Lytton, R. L., Garcia-Diaz, A., 1985, Developing stochastic flexible pavement distress and serviceability equations, Transportation Research Record, 1048, pp. 1-7.
- RIMES, 1999a, Road Infrastructure Maintenance Evaluation Study, Work Package 5, Maintenance Standards and Strategies, Pavement and Structure Management System, Project EC-DG-VIII RTD Programme, Contract No. RO-97-SC 1085/1189
- RIMES, 1999b, Road Infrastructure Maintenance Evaluation Study, Work Package 6, Pilot Trial of the Project and Works Programming Analysis in Greece, Pavement and Structure Management System, Project EC-DG-VII RTD Programme, Contract No. RO-97-SC 1085/1189
- Roberts, C. A., Attah-Okine, N. O., 1998, A comparative analysis of two artificial neural networks using pavement performance prediction, Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 13, pp. 339-348.
- Sadek, S., Bedram, M., Kaydi, I., 1999. GIS Platform for Multicriteria Evaluation of Route Alignments, Journal of Transportation Engineering, March/April, pp 144-151, USA
- Sakawa, M., 1993, Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGraw-Hill Inc., USA
- Saltan, M., 1999, Esnek Üstyapıların Analitik Değerlendirilmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Isparta
- Saltan, M., Karaşahin, M., 2001. Sonlu Elemanlar Yöntemiyle Esnek Üstyapılarda Tabaka Özelliklerinin Geri Hesaplaması, İMO Teknik Dergi, 2001 2379-2400, Yazı 163.
- Saraç, T., 2004, Yapay Sinir Ağları,. Seminer Projesi, Gazi Üniversitesi. Endüstri Mühendisliği Anabilim. Dalı.
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., Paterson, W.D.O., 1986, Guidelines for the Conduct and Calibration of Road Roughness Measurements. World Bank Technical Paper No. 46, The World Bank, Washington DC.
- Sayers, W. M., Karamihas, S. M., 1998, The Little Book of Profiling, The regent of the University of Michigan. USA

- Schuman, B. (2005). "Iowa's Statewide Road CenterVme Cooperative Program", www.gist.org/yr2003/gist2003sessions/Session641.ppt. Erişim: 23.12.2005
- Shahin, M. Y., 2002, "Pavement management for airports, roads, and parking lots", Kluwer Academic Publishers, London
- Shahin, M. Y., Becker, J. M., 1984, Development of performance prediction models for airfield pavements, Transportation Research Record, Vol. 985, pp. 25-33.
- Sharaf, E. A., Sinha, K. C., 1984a, Estimation of pavement routine maintenance costs, Transportation Research Record, Vol. 981, pp. 55-58.
- Sharaf, E. A., Sinha, K. C., 1984b, Analysis of pavement routine maintenance activities in Indiana, Transportation Research Record, Vol. 985, pp. 19-24.
- Shaw, S. L., Xin, X., 2003, Integrated land use and transportation interaction: A temporal GIS exploratory data analysis approach, Journal of Transport Geography, Vol. 11, pp. 103-115.
- Shoukry, S., Martinelli, D.R., Reigle, J.A., 1997, Universal pavement distress evaluator based on fuzzy sets, Transportation Research Record, 1592, pp. 180-186.
- SHRP, 1993, Distress Identification Manual for the Long-Term Pavement Performance Project, Strategic Highway Research Program, National Research Council, SHRP-P-338, Washington DC, USA
- Storey B. (2006). "Road Traffic Accidents Data Management and Analysis", www.cs.bham.ac.uk/resources/courses/SEM304/Lecture. Erişim: 25.02.2006
- Spencer, G. (2006). "WSDOT CIS WorkbenchA Portal To GIS Data And Tools", <http://wsdotwa.gov/traffic/>. Erişim: 3.01.2006.
- Souleyrette, R., (2006), "GIS-Traffic Planning Tools Project Report", [www.ctre.iasiaie.edu/researchl/\[ralTic/gis-lpt.pdf](http://www.ctre.iasiaie.edu/researchl/[ralTic/gis-lpt.pdf). Erişim: 25.02.2006

- Spring, G. S., Hummer, J., 1995, Identification of hazardous highway locations using knowledge-based GIS: A case study, Transportation Research Record, 1497, pp. 83-90.
- Steiner, H. M., Lynch, R. J., 1980, Priority-Setting method for road maintenance, Transportation Research Record, Vol. 774, pp. 7-11.
- Stillwell, J., Geertman, S., Openshaw, S., 1999, Geographical Information and Planning, Springer, Berlin
- Sundin, S., Braban-Ledoux, C., 2001, Artificial intelligence-based decision support technologies in pavement management, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 16, pp. 143-157.
- Sürücü, S. Tuğba, (2005), “Kentsel Dönüşüm Projelerinde Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Kullanılması”, Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi, İstanbul
- Şen, Z., 2001, Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul
- Şen Y. E., (2006), Uydu Görüntüleri Yardımıyla Yol Üstyapısında Meydana Gelen Değişimlerin Otomatik Tespiti ve Yol Bakım Planlaması, Yüksek Lisans Tezi, GYTE Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Tavakoli, A., Lapin, M. S., Figueroa, J. L., 1990, PMSC: Pavement management system for small communities, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 118, No. 2, pp. 270-281.
- Taylor, M. A. P., Wolley, J. E., Zito, R., 2000, Integration of the Global Positioning System and Geographical Information Systems for Traffic Congestion Studies, Transportation Research Part C, Vol 8, pp 257-285
- Tecim, V., Tarhan, Ç., 2004. Türkiye’de İdeal Kent Bilgi Sistemi Oluşturma Kıstasları Ve Yapılmakta Olan Çalışmaların Değerlendirilmesi. 3. Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri. 108-109, F.Ü., İstanbul.

- Templeton, J., Lytton, R. L., Garcia-Diaz, A., 1985, Network sampling to estimate distribution of pavement condition and costs, Transportation Research Record, 1048, pp. 83- 90.
- Teodorovic, D., Vukadinovic, K., 1998, Traffic Control and Transport Planning: A Fuzzy Sets and Neural Networks Approach, Kluwer Academic Publishers, Boston
- Terzi S., (2004), Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi, Doktora Tezi, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Terzi S., (2007), “Modeling the Pavement Serviceability Ratio of Flexible Highway Pavements by Artificial Neural Networks”, Construction and Building Materials, V. 21, pp 590-593
- Terzi S., (2006), “Modeling The Pavement Present Serviceability Index of Flexible Highway Pavements Using Data Mining”, Journal of Applied Science, 6(1):193-197.
- Thill, J. C., 2000, Geographic Information Systems for Transportation in Perspective, Transportation Research Part C, 8, 3-12, Pergamon, USA
- Thorsen, H., C., Rasmussen, T., (1999), “Public Transportation – Planning and Analysis Using GIS”, 1998 ESRI International User Conference, 26-30 July 1999, ESRI, US.
- TRAMER, 2010. Araç Grup Kodu Bazında Poliçe Üretimi ve Hasar Ödemeleri Raporu, Trafik Sigortası Bilgi Merkezi, <http://www.tramer.org.tr/index.php>.
- Tsunokawa, K., Islam, R., Changyu, G., 2002, Optimal strategies for highway pavement management in developing countries, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 17, pp. 194-202.
- Tulum, G., 2006, “Türkiye Karayollarındaki Servis Yeteneği Kaybının Yol Kullanıcı Maliyetlerine Etkisinin Araştırılması”, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

- Türkyılmaz, A., 2007, “Esnek Üstyapılı Karayollarında Koruyucu Bakım Yöntemlerinin İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Ullidtz, P., 1987, Pavement Analysis, Elsevier Science Publishers B.V., Netherlands
- UMTRI, 2002, International Roughness Index (IRI), The University of Michigan Transportation Research Institute (UMTRI)
- Uran, E., (2004), “Yük Ulaştırması ve Coğrafi Bilgi Sistemleri”, Yüksek Lisans Tezi, YTU Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Uzan, J., 2004, Permanent Deformation in Flexible Pavements, Journal of Transportation Engineering, Vol.130, No. 1, pp 6-13
- Uzun, B., 1990, Pavement Maintenance Management System, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara
- Wang K. C. P., (2000), “Design and Implementations of Automated Systems for Pavement Surface Distress Survey”, Journal of Infrastructure Systems, 6(1):24-34.
- Wang, X., (2005), "Integrating GIS. Simulation Models, And Visualization in Tra.C Impact Analysis", www.elsevier.com/locate/compenvurbsys. Eridim: 23.12.2005
- Washington State Patrol (2006), *"The Washington Traffic Records Committee"* trafficrecords.wa.gov/pi-esenlations/vision_for_traffic_records.ppt. Erişim: 3.01.2006
- Washington State Patrol (1974), *"The Washington Traffic Records Committee"* trafficrecords.wa.gov/pi-esenlations/vision_for_traffic_records.ppt. Erişim
- World Bank (2005), *"Road Safety Review With PDA/GPS And Recommendation For Pilot Project in Republic Of Serbia"*,
- Xie, Y., (2005), "GIS And Transportation Case Study", <http://ceita.emich.edu/wsatraining/Transportation/>. Erişim: 23.12.2005

- Yomralıoğlu, T., 2000. Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar. Karadeniz Teknik Üniversitesi Yayınları. 500s, Trabzon.
- Yurtoğlu, H. 2005. Yapay Sinir Ağları Metodolojisi ile Öngörü. Modellemesi. Ekonomik Modeller ve Stratejik. Araştırmalar Genel Müdürlüğü Yayınları.
- Zadeh, L.A., 1965, Fuzzy Sets. Information and Control, Vol. 8., pp. 338-353
- Zadeh, L.A., 1968, Fuzzy Algorithms. Information and Control, Vol. 12., No. 2 pp. 94-102
- Zhang. J. (2005), "Using GIS To Assess The Risks Of Hazardous MaterialsTransport in Networks", www.iasi.cnr.it/ewgt/13conference/140_dellolmo.pdf. Erişim: 23.12.2005
- Ziliaskopoulos, A. K., Waller, S. T., 2000. An Internet-Based Geographic Information System that Integrates Data, Models and Users for Transportation Applications, Transportation Research Part C , Vol. 8, pp 427-444, Pergamon, Great Britain.
- Zimmerman K. A., Knox R., (1998), "Improving IDOT's Pavement ConditionRating Process", Journal of Infrastructure Systems, 4(2):79-85.

TÜBİTAK
PROJE ÖZET BİLGİ FORMU

Proje No: 108 M 052
Proje Başlığı: Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Gerçek Zamanlı Üstyapı Yönetim Sistemi Geliştirilmesi
Proje Yürütücüsü ve Araştırmacılar: Doç.Dr. Serdal TERZİ (Yürütücü), Prof.Dr. Mehmet SALTAN (Danışman), Dr. Nazan ÜNAL, İnş. MÜh. Ahmet Gürkan GÜNGÖR
Projenin Yürütüldüğü Kuruluş ve Adresi: Süleyman Demirel Üniversitesi 32260 Isparta
Destekleyen Kuruluş(ların) Adı ve Adresi:
Projenin Başlangıç ve Bitiş Tarihleri: 01.06.2008 – 01.06.2011
Öz Bu çalışmada, ülkemiz karayolları için bir üstyapı yönetim sistemi geliştirilmiştir. Geliştirilecek olan bu sistemin, ülkemiz karayollarına özgü, esnek, güncel ve fonksiyonel olması amaçlanmıştır. Bu amaçla, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından yapılan performans ölçümleri ile tahribatlı ve tahribatsız testlerle yapılan ölçümler kullanılarak performans tahmin modelleri geliştirilmiştir. Ülkemiz için karayolu fayda ve maliyetler belirlenerek bir optimizasyon çalışması yapılmıştır. Tüm bu modellerin birlikte çalışacağı ve internetten veri girişi yapılabilecek bir coğrafi bilgi sistemi yazılımı yazılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Üstyapı yönetim sistemi, coğrafi bilgi sistemleri, fayda-maliyet analizi, performans tahmini
Fikri Ürün Bildirim Formu Sunuldu mu? Evet ☐ Gerekli Değil ☒ Fikri Ürün Bildirim Formu'nun tesliminden sonra 3 ay içerisinde patent başvurusu yapılmalıdır.
Projeden Yapılan Yayınlar: • Terzi, S., Morova, N., Karaşahin, M., 2009, Determining of Flexible Pavement Condition Rating Deduct Value with Fuzzy Logic Algorithm, International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, pp 161-168, Trabzon • Terzi, S., Morova, N., Karaşahin, M., 2010, Bulanık Mantık Metodu ile Asfalt Üstyapı Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Kayseri • Terzi, S., Morova, N., Gökova, S., Karaşahin, M., Esnek Üstyapılarda Genetik Algoritma Yöntemi ile Fayda Maliyet Analizi, 2. Karayolu Kongresi, Ankara (Basılmamış) • Terzi, S., Morova, N., Karaşahin, M., Güngör, A. G., Ünal, E. N. Pavement Performance Estimation Modeling for Turkey Highways, 5th Eurasphalt & Eurobitume Congress June 2012 Istanbul (Özet Kabul Edildi)

Ekte Bulunan “ARDEB Başarı Öyküsü Formu”, “Kazanımlar” Bölümünde Belirtilen Kriterlere Göre Proje Çıktılarınızın Başarı Öyküsü Niteliği Taşıdığını Düşünüyorsanız “ARDEB Başarı Öyküsü Formu”nu doldurunuz.

