

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ YARDIMIYLA
KARAYOLU ÜSTYAPI BAKIM YÖNETİM
MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

**Serdal TERZİ
DOKTORA TEZİ
İNŞAAT MÜH. ANABİLİM DALI
Isparta-2004**

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMİ YARDIMIYLA KARAYOLU ÜSTYAPI BAKIM
YÖNETİM MODELİ GELİŞTİRİLMESİ**

Serdal TERZİ

Danışman: Prof.Dr. Mustafa KARAŞAHİN

İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Doktora Tezi

ISPARTA 2004

İÇİNDEKİLER LİSTESİ

İÇİNDEKİLER LİSTESİ	1
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol	3
2. LİTERATÜR TARAMASI	5
2.1. Üstyapı Yönetim Sistemi	5
2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri	16
2.3. Bulanık Mantık Yöntemi	18
2.4. Genetik Algoritma Yöntemi	19
3. MATERYAL VE YÖNTEM	21
3.1. MATERYAL	21
3.1.1. Üstyapı Yönetim Sistemi	21
3.1.1.1. Giriş	21
3.1.1.2. Üstyapı Yönetiminin Amacı	23
3.1.1.3. Ağ Düzeyindeki Yönetim	25
3.1.1.3.1. Üstyapı Envanteri ve Mevcut Durumu	25
3.1.1.3.2. Performans Tahmini	26
3.1.1.3.3. Bütçe Tahmini	35
3.1.1.3.4. Sınırlandırılmış B ve R Programı	35
3.1.1.3.5. Yıllık ve Uzun-Sürelili İş Planları	36
3.1.1.4. Proje Düzeyindeki Yönetim	36
3.1.1.4.1. Geçmiş Veri Toplama	37
3.1.1.4.2. Tahribatsız Defleksiyon Testi	39
3.1.1.4.3. Tahribatlı Testler	47
3.1.1.4.4. Düzgünsüzlük (Roughness)	48
3.1.1.4.5. Kayma Direnci	53
3.1.1.5. Asfalt Betonu Kaplamalı Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar... ..	60
3.1.1.5.1. Kırılma	61
3.1.1.5.2. Yama ve Oyuklar	66
3.1.1.5.3. Yüzey Deformasyonu	67
3.1.1.5.4. Yüzey Kusurları	68
3.1.1.5.5. Sökülme/Ayrışma	69
3.1.1.6. Sathi Kaplamalı Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar	70
3.1.1.6.1. Tekerlek izi oturması	71
3.1.1.6.2. Yama ve çukurlar	71
3.1.1.6.3. Yüzey hataları	71
3.1.1.7. Asfalt Üstyapılar için Bakım ve Rehabilitasyon Yöntemleri	72
3.1.1.7.1. Sınırlandırılmış B ve R	74
3.1.1.7.2. Genelleştirilmiş B ve R	75
3.1.1.7.3. Ana B ve R	76

3.1.1.8. Sathi Kaplamalı Üstyapılar için Bakım ve Rehabilitasyon Yöntemleri	77
3.1.1.8.1. Agregalı Yüzey Uygulaması	77
3.1.1.8.2. Yama	77
3.1.1.8.3. Yeniden sathi kaplama	78
3.1.1.9. Ekonomik Değerlendirme ile Bakım Takviminin ve Yönteminin Belirlenmesi	78
3.1.1.9.1. Temel Prensipler	78
3.1.1.9.2. Üstyapı Maliyetleri	79
3.1.1.9.3. Üstyapı Faydalarının Belirlenmesi	80
3.1.1.9.4. Üstyapı Projeleri için Kullanıcı Maliyetlerinin ve Faydalarının Ölçümü	81
3.1.1.9.5. Tasarım veya Analiz Periyodu	82
3.1.1.9.6. İskonto ve Faiz Oranı	82
3.1.1.9.7. Enflasyon	82
3.1.1.9.8. Kurtarılan veya Kalan Değer	83
3.1.1.9.9. Ekonomik Değerlendirme Metotları	83
3.1.1.9.10. Optimal Tasarım Stratejisinin Seçimi	89
3.2. YÖNTEM	92
3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi Kapsam ve Uygulamaları	92
3.2.1.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri	92
3.2.1.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri	93
3.2.1.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Avantajları	96
3.2.2. Bulanık Mantık Yöntemi	96
3.2.2.1. Bulanık Kümeler ve Üyelik Dereceleri	97
3.2.2.2. Üyelik Fonksiyonları	100
3.2.2.3. Bulanıklaştırma	102
3.2.2.4. Durulaştırma	102
3.2.2.5. Bulanık Kurallar ve Sistemler	105
3.2.2.6. Grafik Çıkarım Teknikleri	106
3.2.3. Genetik Algoritma Yöntemi	107
3.2.3.1. Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler	108
4. ARAŞTIRMADA ELDE EDİLEN BULGULAR	111
4.1. Üstyapı Performans Tahmini Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması	111
4.1.1. Üstyapı Performans Tahmini ve Önemi	111
4.1.2. Asfalt Üstyapılar için Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi ve Özellikleri	111
4.1.2.1. Seçilen Değişkenlerin Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları	113
4.1.2.2. Geliştirilen Alt Modeller	120
4.1.2.3. Bozulma etkenlerinin hizmet yeteneğine etkisi	123
4.1.2.4. Geliştirilen Bilgisayar Programı ve Örnek Çözüm	129
4.1.2.5. Sonuçlar ve Karşılaştırma	131
4.1.3. Sathi Kaplamalı Üstyapılar için Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi ve Özellikleri	132
4.1.3.1. Seçilen Değişkenlerin Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları	133
4.1.3.2. Geliştirilen Alt Modeller	135
4.1.3.3. Bozulma Etkenlerinin Hizmet Yeteneğine Etkisi	136
4.1.3.4. Geliştirilen Bilgisayar Programı ve Örnek Çözüm	138

4.1.3.5. Sonuçlar ve Karşılaştırma	139
4.2. Optimizasyon alışması ile nceliklerin Belirlenmesi	139
4.2.1. Faydaların Belirlenmesi	140
4.2.2. Maliyetlerin Belirlenmesi	142
4.2.3. Amaç Fonksiyonu	142
4.2.4. Kısıtlar	143
4.2.5. Sathi Kaplamalı Üstyapılar için Optimizasyon.....	144
4.2.6. Geliştirilen Yazılım	145
4.2.7. Sonuçlar	148
4.3. rnek alışma.....	148
4.3.1. Ağ Tanımı	149
4.3.2. Ağın Kesimlere Ayrılması	150
4.3.3. Veri Tabanı ve Veriler	151
4.3.4. Performans Tahmini.....	152
4.3.5. Optimizasyon alışması ile Bakım ve Onarım Takviminin Belirlenmesi	153
4.3.6. Sorgulamalar	156
4.3.7. Raporlamalar	157
4.3.8. Yardımcı zellikler.....	157
4.3.8.1. Veri tabanına ait istatistiksel bilgiler.....	157
4.3.8.2. Tanımlama.....	158
4.3.8.3. Veri tabanı görüntüleme.....	159
4.3.9. rnek alışmada Elde Edilen Sonuçlar.....	160
5. SONUÇ	161
KAYNAKLAR	163
ÖZGEçMİş	174

ÖZET

Otomotiv teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, ortaya çıkan karayolu ihtiyacını karşılamak amacıyla inşa edilen üstyapıların 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.

Proje düzeyindeki 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. 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 uygulanacağı belirlenmesidir.

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve masaüstü bilgisayar sistemlerinin yaygınlaşması, coğrafi bilgi sistemleri (CBS) teknolojisinde de önemli gelişmeler olmasında etkin rol oynamıştır. CBS' nin kullandığı metodoloji; görüntülemek, çözümlenmek ve çeşitli kontrol noktalarından anında alınan veriyi grafik diliyle sunmaktır. CBS ile, karayolu ağı bilgisayar ekranında görüntülenebilmekte, çözümlenebilmekte ve sonuçlar raporlanabilmektedir.

Yapılan çalışmada bulanık mantık yöntemi ile performans modelleri geliştirilmiştir. Bu modeller, hem üstyapıda oluşabilecek tüm bozulmaları, hem de bu bozulmalara neden olabilecek tüm etkenleri, gerek asfalt betonu kaplamalı üstyapılar gerekse sathi kaplamalı üstyapılar için dikkate almaktadır. Geliştirilen bu modeller için Visual Basic programlama dilinde bir program yazılmıştır. Geliştirilen bu program ile, hem incelenen üstyapının mevcut performansı tahmin edilebilirken, aynı zamanda gelecekte beklenen trafiğe göre performans tahmini de yapılabilmektedir. Böylece program, hem ağ hem de proje düzeyi performans tahmininde kullanılabilir.

Fayda/maliyet oranının belirlenmesinde, kaynaklardan alınan maliyet ve fayda değerleri kullanılmıştır. Genetik algoritma yöntemi kullanılarak Visual Basic programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Geliştirilen modelin uygulanması ile, veri tabanından alınan bilgiler kullanılarak 5 yıllık bakım ve rehabilitasyon programlaması, verilen bütçe sınırı içinde yapılabilmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen modellerin bir Üstyapı Yönetim Sistemine uyarlanması ve bu modellerin çalışabilirliğini göstermek amacıyla bir CBS yazılımı yazılarak geliştirilen modeller bu platformda birleştirilmiştir. Bu amaçla, örnek bir ÜYS oluşturulmuştur. Ağ düzeyinde yapılan bu örnek ile modellerin uygulamasının yanında tüm sistemin denenmesi mümkün olmuştur. Geliştirilen yazılım, Üstyapı Yönetim Sistemi için gerekli olan, verilerin sisteme aktarılmasına, çözümlenmesine ve sonuçların gösterimi için çeşitli senaryoların uygulanmasına olanak sağlamaktadır. Yapılan örnek çalışmada, bu amaçların tamamına ulaşılmıştır.

ANAHTAR KELİMELER: Üstyapı yönetim sistemi, bulanık mantık, genetik algoritma, coğrafi bilgi sistemleri.

ABSTRACT

In order to meet the highway requirements the transfer of more sources to pavement maintenance and rehabilitation has been made necessary by the increase of pavement construction with paralleling the development of automotive technology. The pavement management concept was first conceived in the mid-1960's to organize and coordinate the activities involved in achieving the best value possible for the available funds.

Despite the assessments at the project level were sufficient at first, network level estimations were necessary for planning and determining of available funds at future. In this concept, pavement performance prediction models were developed. After the performance prediction, in order to constitute pavement management system (PMS) it is the most important component to determine which and when pavement maintenance and rehabilitation, and technique will be used.

The developments of computer technology and the widespread of desktop computer systems play an efficient role in important development of geographic information systems (GIS) technology. The methodology used by GIS is to show, analyze, and give graphically the data obtained from various control points. Highway network is visualized at the computer screen, the data base is analyzed, and the results are reported.

In this study, performance models using fuzzy logic approach are developed. These models consider both distresses which can occur in the pavement and all factors which can cause the distresses for both asphalt concrete and surface treatment pavements. Software in Visual Basic programming language was written for the developed models. Using this software, both present condition of pavement is examined and future performance prediction due to expected traffic value can be predicted. So, the software can be used for both network level and project level.

Cost and benefit values taken from the literature were used in determining the cost-benefit ratio. Using genetic algorithm approach, a computer program in Visual Basic programming language was written. Using the model developed, five-years-maintenance and rehabilitation program can be planned for a given database considering budget restraints.

In the study, the developed models were merged by writing GIS software in order to show the effectiveness of models and adopt the models into a GIS. For this purpose a case study of GIS was exposed. The control of overall system can be applied in addition to application of the model for network level. The developed software permit the data transfer to database, analyzes and different scenario applications for showing results for GIS. All purposes were reached in the case study.

KEY WORDS: Pavement management systems, fuzzy logic, genetic algorithm, geographic information systems.

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Ülkemiz gibi özellikle gelişmekte olan ülkeler mevcut kaynaklarını aktaracakları alanları belirlemek için detaylı planlamalar yapmak zorundadır. Milli gelirimizin önemli bir kısmını aktardığımız karayolu inşaat ve onarım planlamasında ülkemiz koşullarını dikkate alan, ülkemize özgü modeller geliştirilmeli ve kullanılmalıdır. Bu modelleri bünyesinde bulunduran bir üstyapı yönetim sistemi geliştirilmeli ve düzenli olarak uygulanmalıdır. Bu çalışmada, ülkemiz koşulları dikkate alınarak bir üstyapı yönetim sistemi geliştirilmiş ve geliştirilen sistem yazılan bir bilgisayar programı kullanılarak coğrafi bilgi sistemi ile birleştirilmiştir. Yapılan örnek uygulama ile, bu sistemin ülkemizde kolaylıkla uygulanabileceği gösterilmiştir.

Bu çalışma konusunu öneren, destek ve görüşlerini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. Mustafa KARAŞAHİN'e şükranlarımı sunarım. Çalışma süresinde görüş ve önerileri ile çalışmaya katkıda bulunan Yrd.Doç.Dr. Mehmet SALTAN'a teşekkürlerimi sunarım. MapObject programlama konusunda yardımcı olan Yusuf İLTER'e şükranlarımı sunarım. Ayrıca çalışmanın her safhasında anlayış gösteren ve manevi katkıda bulunan eşim Arş. Gör. Özlem TERZİ'ye ve bugünlerimi borçlu olduğum aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Çalışmayı maddi olarak destekleyen SDÜ Araştırma Projeleri Yönetim Birimi'ne ayrıca teşekkür ederim.

27/07/2004

Serdal TERZİ

SİMGELER DİZİNİ

$pwf_{i,n}$	Bugünkü değer etkeni
ρ, α, β	Kısıtlar
$\Delta YAŞ$	4 yıl
A ve B	Sabit
a	İlk en büyük değer
A	Üstyapının yaşı (yıl)
$AASHTO$	American Association of State Highway and Transportation
AC	t yılındaki s kesiminin r yönteminin uygulanmasıyla oluşacak yapımçı kuruluş maliyetleri
AL	r yönteminin uygulamasıyla elde edilecek ilave ömür değeri
$ARAN$	Automatic Road Analyser – Otomatik Yol Analiz Cihazı
$AVNS$	Otomatik taşıt navigasyon sistemi
B	t yılında bakım ve onarım işlerine ayrılan yıllık toplam bütçe
b	Son en büyük değer
B ve R	Bakım ve rehabilitasyon
BM	B ve R maliyeti
BPN	British Pendulum Numbers
C	100
CBR	Yerinde Kaliforniya Taşıma Oranı
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemleri
CR	Üstyapı çatlak alanı yüzdesi
d	İndirim oranı
DAD	Düşen Ağırlıklı Deflektometre
DCP	Dinamik Konik Penetrasyon Ölçer
e	Birim şekil değiştirme
$EDYS$	Eşdeğer dingil yükü sayısı
$ESRI$	Environmental Systems Research Institute
f	Sürtünme etkeni
F	Sürtünme kuvveti,
$FHWA$	The Federal Highway Administration
f_{kilit}	Tekerler kilitlendiğinde meydana gelen sürtünme etkeni
f_{max}	Sürtünme etkeni
GA	Genetik Algoritma
GIS	Geographic Information Systems
GPS	Global konum belirleme sistemi
HST	Asfalt tabakanın altındaki yatay gerilme
IRI	International Roughness Index- Uluslararası Düzgünsüzlük İndeksi
i	İskonto oranı
k	hareketli ortalama taban genişliğinin yarısı
KM	Kaza Maliyeti,
KKS	Kaza Kayıt Sistemi
L	Normal yük
M	Eğim katsayısı
N	Yığılımlı tek dingil yükü eşdeğeri
n	Yıl sayısı

N	Yorulma ömrü
NDT	Nondestructive Deflection Testing- Tahribatsız Defleksiyon Testi
p	Bir sabit
$p'(x)$	Bağımlı değişkenleri
PCI	Üstyapı Durum İndeksi
PCR	Üstyapı Durum Oranlaması (0-100)
PI	Profil İndeksi
PQI	Üstyapı kalite indeksi
PSI	Üstyapı Hizmet yeteneği İndeksi
PSR	Present Serviceability Rating
QI	Düzensüzlük
R	Bakım ve onarım seçeneklerinin sayısı
RCI	Sürüş konforu indeksi
RCI_B	Bir önceki RCI
RH	Rehabilitasyon durumu göstergesi
RN	Sürüş Sayısı
$RTRRMS$	Response Type Road Roughness Measurement System
S	Ağdaki kesim sayısı
$SCRIM$	Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine
$SENI$	Asfalt tabakanın altındaki şekil değiştirme enerjisi
SFC	Sideways Force Coefficient
SN	Skid number
SSM	Seyahat Süresi Maliyeti,
ST	Yüzey durumu
T	Planlama periyodunun yıl sayısı
TIM	Taşıt İşletme Maliyeti,
UC	t yılındaki s kesiminin r yönteminin uygulanmasıyla oluşacak kullanıcı faydaları
$ü(x)$	x üyelik fonksiyonunun üyelik derecesi
$ÜYS$	Üstyapı yönetim sistemi
W	Ölçüm zamanında açısız tekerlek hızı
W_0	Serbest yuvarlanmada açısız tekerlek hızı
X	Enlem
Y	Boylam
$YAŞ$	Üstyapının yaşı
$YOGT$	Yıllık ortalama günlük trafik
$y_r(j)$	j örneği için filtrelenmemiş (ham) düşey profil yükselmesi
$y_s(i)$	i örneğinin düzleştirilmiş profil yükselmesi
YSA	Yapay sinir ağları
Z	Yükseklik
z^*	Durulaştırılmış değer

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Mevcut hizmet yeteneği indeksi (PSI) formu	22
Şekil 3.2. Bir ÜYS' nin yapısı	25
Şekil 3.3. Bir üstyapının performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi .	26
Şekil 3.4. Lineer azalan tahmin modeli.....	27
Şekil 3.5. Örnek bir S şekilli eğri.....	32
Şekil 3.6. Üstyapı yaşının farklı noktalarında yığışımlı yoğunluk eğrisi.....	32
Şekil 3.7. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi.....	36
Şekil 3.8. DAD' nin şematik gösterimi (COST 337, 2000).....	41
Şekil 3.9. Dynatest DAD.....	42
Şekil 3.10. KUAB DAD	42
Şekil 3.11. Kararlı tip vibratörün tipik dinamik kuvvet uygulaması.....	44
Şekil 3.12. Dynaflect.....	44
Şekil 3.13. Road Rater	45
Şekil 3.14. Benkelman Kirişi	46
Şekil 3.15. Enine ve boyuna profiller.....	49
Şekil 3.16. Hareketli filtre ortalaması	50
Şekil 3.17. Çeyrek Taşıt Modeli	51
Şekil 3.18. IRI ve Sürüş Sayısı ile Ortalama Panel Oranı (PSI) arasındaki ilişki.....	52
Şekil 3.19. Kayma direncinin mevsimsel değişimi	54
Şekil 3.20. Yol yüzey dokusunu açıklamada kullanılan terimler (Shahin, 2002).....	55
Şekil 3.21. Kilitli tekerlekli kayma treyleri.....	57
Şekil 3.22. Kaymanın bir etkeni olarak sürtünme katsayısı.....	58
Şekil 3.23. Yan kuvvet katsayısı olağan inceleme makinesi	58
Şekil 3.24. Ulaştırma ve Yol Araştırma Laboratuvarının pandüllü sürtünme deneyi	59
Şekil 3.25. Esnek üstyapılarda çatlak genişliği ölçümü (SHRP, 1993)	61
Şekil 3.26. Timsah sırtı çatlak.....	62
Şekil 3.27. Blok kırılması	63
Şekil 3.28. Kenar çatlağı	63
Şekil 3.29. Tekerlek izinde orta önemde boyuna kırılma	64
Şekil 3.30. Yüksek önemde boyuna çatlak	65
Şekil 3.31. Yüksek önemde yansıma çatlağı.....	65
Şekil 3.32. Yüksek önemli enine kırılma	66
Şekil 3.33. Orta önemde yama	67
Şekil 3.34. Oyuklar	67
Şekil 3.35. Ondülasyon ve yığılma	68
Şekil 3.36. Yüksek önemde kumada açıkça görülen tekerlek izleri.....	69
Şekil 3.37. Cıllanmış agrega.....	69
Şekil 3.38. Sökülme örneği	70
Şekil 3.39. Agreganın soyulması	72
Şekil 3.40. Tarak şeklinde boyuna çizgiler	72
Şekil 3.41. Ontario' da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri (Haas vd., 1994)	73
Şekil 3.42. Tam derinlikte yama	74
Şekil 3.43. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği ...	91
Şekil 3.44. Bir CBS çalışmasının bileşenleri	93
Şekil 3.45. Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri.....	94

Şekil 3.46. CBS’ de coğrafi veriler	95
Şekil 3.47. Klasik sistem	98
Şekil 3.48. Bulanık mantığın temel elemanları	99
Şekil 3.49. Bitişik dikdörtgen gösterim	101
Şekil 3.50. Örtüşmeli üçgen gösterimi	101
Şekil 3.51. İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi	102
Şekil 3.52. En büyük üyelik derecesi durulaştırması	103
Şekil 3.53. Sentroid yöntemi durulaştırması	103
Şekil 3.54. Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması	104
Şekil 3.55. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması	104
Şekil 3.56. En büyük alan merkezi ile durulaştırma	105
Şekil 3.57. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması	106
Şekil 3.58. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması..	107
Şekil 3.59. Genetik Algoritmaların temel adımları (Lin ve Lee, 1996)	108
Şekil 3.60. Rulet çarkı	109
Şekil 3.61. Tek kesimli çaprazlama örneği (Man vd., 1997)	110
Şekil 3.62. Örnek mutasyon işlemi (Man vd., 1997)	110
Şekil 3.63. Örnek bir tersleme işlemi	110
Şekil 4.1. Üstyapı performans tahmini modelinin genel yapısı	112
Şekil 4.2. Eşdeğer dingil yükü sayısının bulanık mantık üyelik fonksiyonu	114
Şekil 4.3. İklim girdisinin bulanık mantık üyelik fonksiyonu	114
Şekil 4.4. Banket genişliğinin bulanık mantık üyelik fonksiyonu	114
Şekil 4.5. Üstyapı kalınlığının bulanık mantık üyelik fonksiyonu	114
Şekil 4.7. Kenar çatlağı üyelik fonksiyonu	115
Şekil 4.8. Yansıma çatlağı üyelik fonksiyonu	115
Şekil 4.9. Blok çatlak üyelik fonksiyonu	115
Şekil 4.10. Kayma çatlağı üyelik fonksiyonu	116
Şekil 4.11. Tekerlek izi çatlak üyelik fonksiyonu	116
Şekil 4.12. Ondüle ve yığılma üyelik fonksiyonu	116
Şekil 4.13. Enine çatlak üyelik fonksiyonu	116
Şekil 4.14. Kabarma üyelik fonksiyonu	117
Şekil 4.15. Çökme üyelik fonksiyonu	117
Şekil 4.16. Oyuk üyelik fonksiyonu	117
Şekil 4.17. Sökülme üyelik fonksiyonu	117
Şekil 4.18. Kusma üyelik fonksiyonu	118
Şekil 4.19. Cilalanma üyelik fonksiyonu	118
Şekil 4.20. Boyuna çatlak üyelik fonksiyonu	118
Şekil 4.21. Üstyapı hizmet yeteneği üyelik fonksiyonu	119
Şekil 4.22. Timsah sırtı çatlak alt modeli	120
Şekil 4.23. Kenar çatlağı alt modeli	120
Şekil 4.24. Yansıma çatlağı alt modeli	120
Şekil 4.25. Büzülme çatlağı alt modeli	120
Şekil 4.26. Kayma çatlağı alt modeli	121
Şekil 4.27. Boyuna çatlak alt modeli	121
Şekil 4.28. Enine çatlak alt modeli	121
Şekil 4.29. Tekerlek izi çatlağı alt modeli	121
Şekil 4.30. Ondüle ve yığılma alt modeli	121
Şekil 4.31. Kabarma alt modeli	122

Şekil 4.32. Çökme alt modeli	122
Şekil 4.33. Oyuk alt modeli	122
Şekil 4.34. Sökülme alt modeli	122
Şekil 4.35. Kusma alt modeli	123
Şekil 4.36. Cilalanma alt modeli	123
Şekil 4.37. Drenajın hizmet yeteneğine olan etkisi.....	123
Şekil 4.38. Çeşitli sıcaklık değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi.....	124
Şekil 4.39. Çeşitli üstyapı kalınlık değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi	124
Şekil 4.40. Çeşitli banket genişliği değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi.....	125
Şekil 4.41. Malzeme durumunun hizmet yeteneğine olan etkisi	125
Şekil 4.42. Şişme-büzülme durumunun hizmet yeteneğine olan etkisi	126
Şekil 4.43. Oturma durumunun hizmet yeteneğine olan etkisi	127
Şekil 4.44. Üstyapı tabakaları arasındaki yapışmanın hizmet yeteneğine olan etkisi	127
Şekil 4.45. Sıkıştırmanın hizmet yeteneğine olan etkisi	128
Şekil 4.46. Bitüm oranının hizmet yeteneğine olan etkisi.....	128
Şekil 4.47. Agrega dayanımının hizmet yeteneğine olan etkisi.....	129
Şekil 4.48. Bilgisayar programının algoritması	130
Şekil 4.49. Bilgisayar programının örnek bir çözüme ait kullanıcı ara birimi.....	130
Şekil 4.50. Modelin genel yapısı.....	132
Şekil 4.51. Eşdeğer dingil yükü sayısının bulanık mantık üyelik fonksiyonu.....	134
Şekil 4.52. Soyulmanın bulanık mantık üyelik fonksiyonu	134
Şekil 4.53. Tarak şeklinde çizgi bulanık mantık üyelik fonksiyonu.....	134
Şekil 4.54. Üstyapı hizmet yeteneği üyelik fonksiyonu.....	134
Şekil 4.55. Soyulma alt modeli	135
Şekil 4.56. Çukur alt modeli	135
Şekil 4.57. Tekerlek izi oturma alt modeli.....	136
Şekil 4.58. Çeşitli sıcaklık değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi.....	136
Şekil 4.59. Sıkıştırmanın hizmet yeteneğine olan etkisi	137
Şekil 4.60. Bitüm oranının hizmet yeteneğine etkisi	137
Şekil 4.61. Agrega dayanımının hizmet yeteneğine etkisi.....	138
Şekil 4.62. Bilgisayar programının örnek bir çözüme ait kullanıcı ara birimi.....	138
Şekil 4.63. Bilgisayar programının algoritması	139
Şekil 4.64. Hizmet yeteneği değerine göre taşıt işletme maliyetleri.....	140
Şekil 4.65. PSI değerlerinin önem dereceleri.....	143
Şekil 4.66. PSI değerlerinin önem dereceleri.....	145
Şekil 4.67. Geliştirilen yazılımın akış diyagramı.....	146
Şekil 4.68. Geliştirilen yazılımın kullanıcı arabirimi.....	147
Şekil 4.69. B ve R Yöntemlerinin maliyet ve ilave ömürlerine ait kullanıcı arabirimi	147
Şekil 4.70. Kaza maliyetlerine ait kullanıcı arabirimi.....	148
Şekil 4.71. Örnek çalışmanın yapısı.....	149
Şekil 4.72. Örnek ağın haritası.....	150
Şekil 4.73. Örnek bölgedeki karayollarının kesimlerini gösteren harita.....	150
Şekil 4.74. Performans modeli ekran görüntüsü	152
Şekil 4.75. EDYS ve performans tahmini.....	153
Şekil 4.76. Optimizasyon çözümü	153
Şekil 4.77. Yıllık B ve R yöntemleri ile toplam fayda ve maliyetler.....	154

Şekil 4.78. Farklı bütçe değerlerinin B ve R maliyetlerine etkisi	154
Şekil 4.79. Farklı bütçe değerlerinin kullanıcı faydalarına etkisi	155
Şekil 4.80. Faydalar ile maliyetler arasındaki ilişki	155
Şekil 4.81. Örnek bir sorgulama ekranı kullanıcı ara birimi	157
Şekil 4.82. Örnek bir raporlama ekranı kullanıcı ara birimi	158
Şekil 4.83. İstatistik alt programı ekran görüntüsü	158
Şekil 4.84. Bir tanımlama örneği sonucu	159
Şekil 4.85. Öznitelik görüntüleme kullanıcı ara birimi	159

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Farklı üstyapı tipleri için performans eğrisi örnekleri	30
Çizelge 3.2. Markov modeli için örnek durum ifadeleri.....	33
Çizelge 3.3. Markov modeli için örnek geçiş olasılıklı matris	34
Çizelge 3.4. Taşıt eşdeğerlik katsayıları	38
Çizelge 4.1. Modelde dikkate alınan değişkenler ve özellikleri	113
Çizelge 4.2. Bozulma tiplerinin hizmet yeteneğine etkisi.....	119
Çizelge 4.3. Modelde dikkate alınan değişkenler ve özellikleri	133
Çizelge 4.4. Bozulma tiplerinin hizmet yeteneğine etkisi.....	135
Çizelge 4.5. Kaza maliyetleri (Little vd., 1997).....	141
Çizelge 4.6. Dikkate alınan B ve R yöntemleri ve ilave ömür değerleri	141
Çizelge 4.7. Bakım ve rehabilitasyon maliyetleri	142
Çizelge 4.8. PSI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımları.....	144
Çizelge 4.9. Önem derecelerine göre B ve R seçenekleri	144
Çizelge 4.10. PSI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımları.....	145
Çizelge 4.11. Önem derecelerine göre B ve R seçenekleri	145
Çizelge 4.12. Fayda, maliyet ve fayda/maliyet değerlerinin dağılımı	156

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 düzgünlük 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 zeka 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 zeka yöntemlerinden genetik algoritma yöntemi de eklenmiştir.

Bilgisayar programlarının gelişimi ile sağlanan görselliğin ÜYS'nde 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, çözümlmek 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, coğrafi bilgi sistemlerini kullanan bir üstyapı yönetim sistemi geliştirilmiştir. Visual Basic ve MapObject bilgisayar programları kullanılan bu üstyapı yönetim sisteminde, bulanık mantık yöntemini kullanan bir performans tahmin modeli geliştirilmiştir. Aynı zamanda, genetik algoritma yöntemini kullanan bir optimizasyon modeli de geliştirilerek sisteme adapte edilmiştir. Geliştirilen bu sistem, CBS üzerinde tüm üstyapı yönetim uygulamalarını gerçekleştirebilmektedir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve İzlenen Yol

Ülkemiz karayolu üstyapılarının durumlarını belirlemek için Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından uygulanan düzgünlük ölçümleri, gerek eleman gerekse de donanım azlığı nedeniyle yetersiz kalmaktadır. Aynı zamanda, yakın zamana kadar Karayolları Şube Müdürlüklerinin bir veri tabanının olmaması ve inşaat tarihi, bakım veya onarım tarihleri, kullanılan bakım veya onarım yöntemleri gibi bilgileri tutmaması nedeniyle ağ düzeylerinde değerlendirmeler yapılamamaktadır.

Karayolları ilk hizmete açıldığı zaman, performansı oldukça yüksek düzeydedir. Ancak zamanla, trafik, hava koşulları vb. nedenlerle performansı azalır. Eğer üstyapı performansı belli bir limitin altına inmeden bakım çalışması yapılabilirse, düşük bir maliyet yardımıyla üstyapı performansını yükseltmek mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, hiç bir bakım çalışması yapılmazsa kısa bir süre sonra yol ekonomik ömrünü tamamlamış olacaktır.

Bu olguya karşın ülkemiz verileri dikkate alındığında, fazla uzunlukta yol ağına sahip olan Karayolları Genel Müdürlüğü ile Yerel Yönetimlerin, yolların bakım ve rehabilitasyonuna ayırabilecekleri bütçelerin daima kısıtlı olduğu söylenebilmektedir. Eldeki bütçe ile öncelik sırasını belirleyerek, bakım çalışmasını yapmak gerekir. Bakım ve rehabilitasyon işlerinin öncelik sırasını belirlemede ÜYS kullanılır. Ülkemizde, henüz kullanım alanı bulunmayan ÜYS' nin, ilgili örgütlerimiz tarafından da kullanılması arzu edilmektedir. Zira, ülke olarak hem bakım çalışması yapmakta, hem de kaynaklarımızı verimli olarak kullanmakta yetersiz olduğumuz söylenebilir. Bu nedenle çalışmada, günümüzde yaygın olarak kullanılan Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Üstyapı Bakım İşletim Sistemlerinin modellenmesi, çözümlenmesi, sorgulanması ve raporlanması gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın İkinci Bölümü'nde kaynak taramasına yer verilmiştir. Karmaşıklığa engel olmak amacıyla, kaynak taraması, üstyapı yönetim sistemi, bulanık mantık, genetik algoritma ve coğrafi bilgi sistemleri olmak üzere dört başlık altında toplanmıştır. Üçüncü Bölüm'de, materyal ve yöntemlere yer verilmiştir. Çalışmanın materyal kısmı, üstyapı yönetim sistemini kapsamaktadır. Yöntemler ise, bulanık mantık, genetik algoritma ve coğrafi bilgi sistemlerinden oluşmaktadır. Bu bölümde, genel olarak tüm tanımlar ve açıklamalar yapılarak bu sistem ve yöntemler tanıtılmıştır. Dördüncü Bölüm'de ise, araştırma bulgularına yer verilmiştir. Öncelikle bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen performans tahmin modelleri tanıtılarak üstünlükleri anlatılmıştır. Daha sonra, genetik algoritma yöntemi ile geliştirilen optimizasyon modeli ve yazılan bilgisayar programından bahsedilmiştir. Son olarak, bu modelleri birleştiren coğrafi bilgi sistemi programı tanıtılarak örnek bir uygulamaya yer verilmiştir. Beşinci Bölüm'de de, yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Bu bölümde tez çalışması ile ilgili kaynaklarda yayımlanmış bilgiler özetlenmiştir. Kolay anlaşılabilir olması için bu çalışmalar; Üstyapı Yönetim Sistemi, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Bulanık Mantık Yöntemi ve Genetik Algoritma Yöntemi başlıkları altında gruplandırılmıştır.

2.1. Üstyapı Yönetim Sistemi

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.

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.

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 çalışmalarını, 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.

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.

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 çözümlenme 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 yüzeleştirme önceliklerini belirlemek için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Optimizasyon şemasında, düzgünlük ölçümleri ve trafiği başlıca etkenler olarak dikkate almışlardır. Modelde farklı tip yeniden yüzeleştirme çalışmaları uygulamışlardır. Üstyapı düzgünlüğündeki azalma için yeniden yüzeleştirme stratejileri ile ilişkili bir performans modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca, gelecekteki düzgünlük tahmini için

bir regresyon işlemi kullanmışlardır. Geliştirdikleri optimizasyon modeli, farklı bütçe senaryolarının etkisini çözümleyebilmektedir. Bu model, gelecek 5 yıllık periyotta optimal yeniden yüzeleştirme programını elde edebilmek için üstyapı kesimi ve yeniden yüzeleştirme 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.

Fwa ve Sinha (1986) çalışmalarında, üstyapı performansı ile olağan bakım arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Bu iki parametre arasındaki ilişkiyi belirlemede istatistiksel regresyon ve korelasyon çözümlerini yapmışlardır. Seksen beş karayolu güzergahını çözümlenmişlerdir. Bu güzergahların, altısının rijit üstyapı, on tanesinin takviye tabakalı esnek üstyapı ve elli dokuzunun ise esnek üstyapıdan oluştuğunu belirtmişlerdir. Sonuçlar, yapımçı 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.

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.

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.

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 kullanılabilir 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.

Fwa ve Sinha (1991), farklı üstyapı performans düzeylerinin maliyet ölçümü için iki yaklaşım önermişlerdir. İlk yaklaşım, çeşitli stratejilerin tüm üstyapı performansındaki farklılıklarını karşılaştırmak için, üstyapı performans kalitesi olarak isimlendirilen bir performans ölçümü kullanmışlardır. Diğer yaklaşımda ise, ölçülebilir faydalar ve üstyapı hizmet yeteneği değerleri arasında bir ilişki kurmaya çalışmışlardır. Sayısal bir örnek, ekonomik çözümleme içindeki üstyapı performans

düşüncesinin ömür-döngü maliyet çözümlemesinde önemli miktarda etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Sonuçta, üstyapı performansı ile ekonomik çözümlemenin birleştirilmesinin farklı üstyapı stratejilerinin daha iyi değerlendirilmesini sağlayacağını belirlemişlerdir.

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 yapımcı kuruluşları tarafından kullanılabileceğini göstermiştir.

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.

İyınam (1997) çalışmasında, ÜYS'nin tanımlamasını yapmış, ana hatları ile teknolojik gelişimi üzerinde durmuştur. Ayrıca, Türkiye'de ÜYS planlaması ve örnek çalışma yürütülmesi konusunda bilgi vermiştir. Düzgünsüzlük ölçümü yapılan 18 bölge dikkate alınarak Türkiye koşullarında mevcut parametreler (trafik-sıcaklık) ve ölçülen düzgünsüzlük değerleri kullanılarak, üstyapı performans tahmin modellemesi ve buna bağlı olarak üstyapı iyileştirme programının oluşturulması ile ilgili bir yöntem önermiştir.

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.

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.

Gulen vd. (2001), 1999 ve 2000 yıllarına ait verileri kullanarak farklı üstyapılara sahip şehir içi ve şehirlerarası yollar için regresyon modelleri geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri model düzgünlük 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.

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.

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.

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 linear 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.

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 linear 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 düzgünlük 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 düzgünlüğünü önemli ölçüde etkilediğini belirlemişlerdir.

Chen vd (2004), trafik yükleri altındaki üstyapının tüm tabakalarının tekerlek izi derinliği ve yığılımlı 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.

2.2. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Abkowitz vd. (1989), o tarihlerde yeni gelişmekte olan CBS' lerini tanımlayarak, özellikle veri saklama ve kullanma özelliklerinin karayolu yönetiminde nasıl kullanılabileceğini belirtmişlerdir.

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 Sistemlerini (CBS) birlikte kullanmışlardır. Genel amaçları, yeni bir teknoloji olan CBS' nin özel problem veya problemleri çözmek için nasıl kullanılacağını göstermek için örnek bir çalışma yapmaktır. Kuzey Carolina' nın Kaza Kayıt Sistemi (KKS) 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 KKS için CBS uygulamalarının zorluklarını ve faydalarını göstermiştir.

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.

Contini vd. (2000), önemli kaza risklerinin kontrolü ve yönetiminde, modern bilgi teknolojileri ve özellikle de coğrafi bilgi sistemlerinin kullanımını tartışmışlardır. Tehlike kaynakları haritası, risk değerlendirmesi, risk yönetimi ve acil planlarla ilişkili araçların ana özelliklerini tartışmışlar ve örnekler vermişlerdir. Sonuçta, bu araçların kullanımlarındaki sınırlamalar ve gelecekteki gelişmeleri için olasılıkları değerlendirmişlerdir.

Abouna (2000), San Diego Şehir Planlama Bölümü, ESRI ArcInfo GIS ile entegre edilen trafik modeli süreçlerini kullanarak gelecekteki yolları planlandığını ifade etmiştir. CBS uygulamalarını içeren ulaştırma planlaması çalışmalarını göstermiştir.

Örnekler kullanılarak, trafik girdi ve çıktı modelinin saklama, görüntüleme ve çözümlemesi için CBS' nin nasıl kullanılacağını göstermiştir.

Dueker ve Butler (2000), ulaştırma veri paylaşımı için bir model ve ilkeler geliştirmişlerdir. Bu model, iştirakçiler, veri sağlayıcılar, veri ekleyiciler ve veri kullanıcıları arasında aydınlatıcı bir rol oynamaktadır. Hem bu model hem de bu ilkeler, ulaştırma veri elemanları arasındaki ilişkileri tanımlayan bir coğrafi bilgi sistemi-ulaştırma veri modelini esas almaktadır. Bu modelin iki ana prensibi vardır. İlki, grafik, topoloji, pozisyon ve karakteristik özelliklerin çözümüdür. İkincisi ise, ulaştırma organları ve onların tanımlayıcıları için bir şemanın oluşturulmasıdır. Esas ilke, ilgili nesnelere için grafik sunumlar dışındaki ulaştırma organlarını kapsayan yaygın bir veri modeline gereksinim duyulmasıdır.

Peng ve Huang (2000) çalışmalarında, web sunumu, CBS işlemleri, ağ çözümlemesi 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 düzeyinin rapor edilmesinde 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 çözümlemesi fonksiyonlarını da sağlar.

Akın ve Eryılmaz (2001), Coğrafi Bilgi Sistemi destekli bir trafik kaza çözümlemesinin nasıl yapılabileceğini ve kaza verilerinin coğrafi konum ve saha verileri ile birlikte beraber değerlendirilmesinin mühendisler ve uzmanlar açısından ne gibi bir önem arz ettiğini örneklerle anlatmışlardır. Kaza sayısı yüksek olan yerlerin tespiti, kazaya sebep olan etkenlerin belirlenmesi için kaza noktalarının

detaylı değerlendirilmesi, genel kaza eğiliminin ve sebeplerinin neler olduğuna, kazalarla ilgili çeşitli etkenlere ait genel istatistiksel ölçütlerin geliştirilmesi, çok sayıda kaza meydana gelmeden önce tehlike yaratan yol ve trafik kontrolü elemanlarının tespit edilmesini sağlayacak yöntemlerin geliştirilmesi ve trafik kaza istatistiklerinin CBS ortamında elde edilmesi konusunda örnek bir çalışma yapmışlardır.

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.

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.

2.3. Bulanık Mantık Yöntemi

Juang ve Amirkhanian (1992), çalışmalarında Amerika'da yapılan ÜYS çalışmalarından elde edilen verileri kullanarak bir performans tahmin göstergesi geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri bu göstergelyi Birleştirilmiş Üstyapı Bozukluk İndeksi olarak isimlendirmişlerdir. Bu yeni yaklaşımlarında Bulanık Mantık yöntemini kullanarak altı tip bozulmayı modellemişlerdir. Ayrıca örnek bir uygulama ile modelin uygulanabilirliğini göstermişlerdir.

Shoukry vd. (1997), çalışmalarında, bulanık mantık yöntemi kullanarak bir bulanık bozulma indeksi (Fuzzy Distress Index-FDI) geliştirmişlerdir. Bu indeks için girdi verisi olarak, Timsah Sırtı Çatlak Tipi ve Önemi, Doğrusal Çatlak Tipi, Önemi ve Yoğunluğu, Ortalama Tekerlek İzi Derinliği, Yama, Sökülme/Ayrışma, Banket Durumu, Düzensüzlük ve Kayma Sayısı olarak seçmişlerdir. Geliştirdikleri bu indeks Üstyapı Hizmet yeteneği İndeksi (PSI) ile karşılaştırmışlar ve aralarındaki ilişkiyi göstermişlerdir.

Cheng vd. (1999), bulanık mantık yöntemi kullanarak üstyapı çatlak araştırması yapan bir model geliştirmişlerdir. Bu model üstyapıya ait görüntüleri renklerine göre inceleyerek çatlak varlığını tahmin etmektedir. Bunun için bulanık mantık yöntemini kullanan bir görüntü işleme algoritması geliştirmişlerdir.

Saitoh ve Fukuda (2000), çalışmalarında ağ düzeyinde asfalt üstyapı sistemine uygulanabilecek bir bulanık mantık modeli geliştirmişlerdir. Bu yöntemin amacı, bozulmaların tahmini ile üstyapı onarım programı optimizasyonu yapmaktır.

Bandara ve Gunaratne (2001), bulanık mantık yöntemi ile üstyapı performans tahmin modeli geliştirmiştir. Farklı bozulma tipleri için olası geçiş matrisleri kullanan geleneksel Üstyapı Durum İndeksi (PCI) yaklaşımlarının yetersizliğini aşmak amaçlanmıştır. Bu metodolojinin uygulanabilirliği SriLanka'da test edilmiş ve uygulama kolaylığı gösterilmiştir. Her bir bozulma türü için düşük, orta ve yüksek olarak üç düzey tanımlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan bozulma türleri; Timsah Sırtı Çatlak, Oyuklar, Kenar Kırılması ve Sökülmedir.

2.4. Genetik Algoritma Yöntemi

Fwa vd. (1988), mevcut üstyapı bakım yönetim sisteminde ağ düzeyindeki olağan bakım çalışmaları için matematiksel bir programlama süreci geliştirmişlerdir. Bu yöntem, bütçe sınırı, insan gücü, malzeme ve donanım mevcudiyeti ile üstyapı rehabilitasyon takvimi kısıtları altında çalışmaktadır. Her bir bakım çalışmasına öncelik-ağırlık değerleri atamışlardır. Bu yöntem için bir tamsayı programlamalı optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca sayısal bir örnek çözümü göstermişlerdir.

Chan vd. (1994), genetik algoritma kullanarak yol bakım planlaması yöntemi geliştirmişlerdir. Çalışmalarında daha çok genetik algoritma yöntemi ve üstyapı bakım planlamasında kullanılabilirliğinden bahsetmişlerdir.

Fwa vd. (1994) ise Chan vd. (1994)'de anlatılan genetik algoritma yöntemini kullanarak yol bakım planlaması için bazı parametreleri analiz etmişlerdir. Bu parametreler; üstyapı yaşı gibi ağ parametreleri, uyarı düzeyi gibi bakım

parametreleri, bütçe gibi kaynak parametreleridir. Çeşitli örnekler ile üstyapı yaşının bakım politikasını nasıl etkilediğini ve uzun süreli bakım yatırımlarında bu yöntemin nasıl formüle edilebileceğini göstermişlerdir.

Fwa vd. (1996), ağ düzeyinde üstyapı bakım-rehabilitasyon problemini çözmek için genetik algoritma yöntemini esas alan bir model geliştirmişlerdir. Bu modelin formülasyonunu detaylı bir biçimde tanımlamışlardır. Genetik algoritma modelinde çaprazlama ve mutasyon operatörlerini kullanmışlardır. Farklı bakım ve rehabilitasyon çalışmalarının farklı maliyetleri ile 30 üstyapı kesiminin dört sayısal örneğini analiz ederek, üstyapı bakım ve rehabilitasyon çalışmaları arasındaki ilişkiyi göstermişlerdir.

Chan vd. (2001), ağ düzeyinde üstyapı yönetim sisteminin problemlerinden birinin, mevcut kaynakların optimum kullanımını sağlayarak bakım planlamasının yapılması olduğunu belirtmişlerdir. Önceleri matematiksel programlama ve sezgisel yöntemlerle çözülen bu problemin, günümüzde genetik algoritma yöntemi ile çözülmekte olduğunu ifade etmişlerdir. Genetik algoritma programlamasında farklı yöntemlerin kısıtlı kaynak dağıtımında etkili olmasından dolayı çalışmalarında yeni bir yöntem önermişlerdir. Bu yöntem “öncelikli kaynak dağıtım yöntemi” olarak isimlendirilmiştir. Geliştirdikleri yöntemi, penaltı yöntemi ile karşılaştırarak, kendi yöntemlerinin daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. MATERYAL

Bu çalışmada materyal olarak üstyapı yönetim sistemi kullanılmıştır. Bu bölümde genel olarak üstyapı yönetim sistemi tanımlanarak, ağ düzeyi ve proje düzeyi analiz bileşenleri anlatılmıştır.

3.1.1. Üstyapı Yönetim Sistemi

3.1.1.1. Giriş

Kaplama tabakası içeren karayolu üstyapılarının 1800'lerde otomobilin icadı ile başladığı düşünülür. Ancak bu düşünce yanlıştır, çünkü dünyada karayolları su yollarından 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 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 3.1'de görülmektedir.

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

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

Şekil 3.1. Mevcut hizmet yeteneği indeksi (PSI) formu

Bir sonraki adım bu üstyapılarda gerekli fiziksel ölçümleri yapmaktır. Tekerlek izi, çatlama, oyuk ve sökülme gibi alışılmış bozulmalar ölçüldü. Çünkü hizmet yeteneğinin (sürüş konforu) üstyapı düzgünlüğünün bir fonksiyonu olabileceği varsayıyordu. 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 düzgünsüzlük 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 tartıştılar. 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 yayımlandı 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).

3.1.1.2. Üstyapı Yönetiminin Amacı

Yol ağının uygun bir durumda olmasının ülke ekonomisindeki önemi yaygın olarak kabul edilen bir gerçektir. Karayolu ulaştırması, bir çok 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?

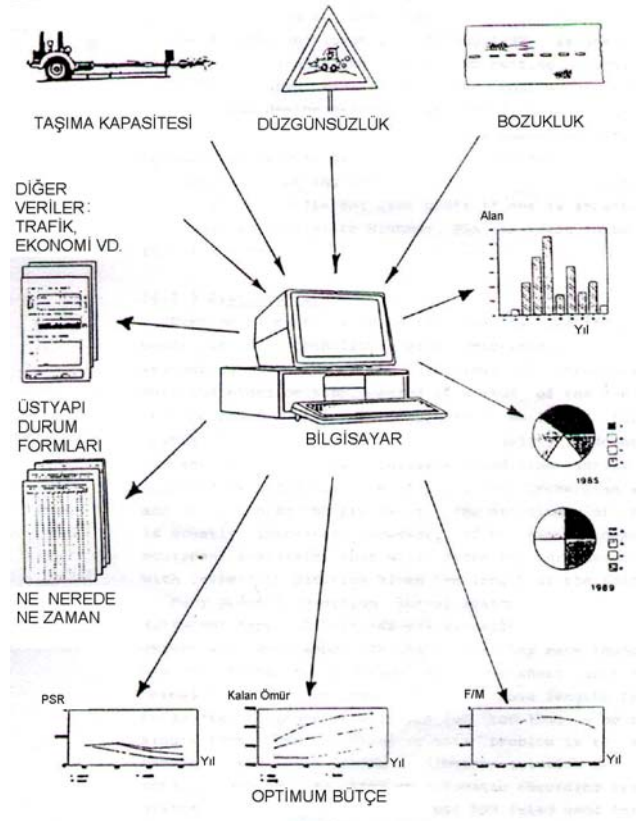
-Hangi B ve R stratejisi, yol üstyapısının korunmasında yapılacak yatırımların topluma en yüksek dönme oranıyla sonuçlanacak?

ÜYS bakım çalışmaları için 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 3.2’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 3.2. Bir ÜYS' nin yapısı

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

3.1.1.3. Ağ Düzeyindeki Yönetim

3.1.1.3.1. 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).

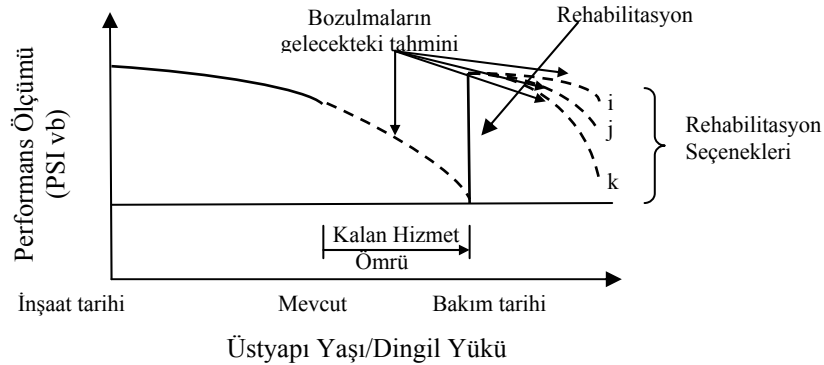
Trafik altında, üstyapı performansı ve yapısal kapasite verilerini toplamak çok pahalıdır ve ÜYS' nin en çok zaman alan kısımlarıdır. Ancak bu verilerin toplanması ve saklanması sistem için çok önemlidir. Hemen kullanılmayacak, fakat gelecekte

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

3.1.1.3.2. 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 3.3, 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 3.3. 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,

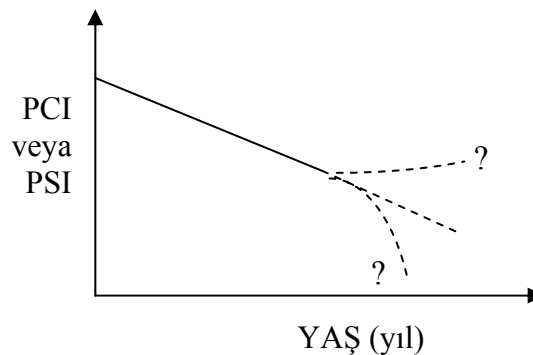
3. Gerçek yol koşullarını kapsayacak şekilde dikkatli bir model seçimi,
4. Kriterlerin belirlenmesi (örneğin PSI değeri 2,5 olduğunda onarım programına alınması).

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 3.4, lineer azalan tahmin modelinin şematik bir gösterimidir (Shahin, 2002).



Şekil 3.4. 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):

$$\text{Log(QI)}=1,297+9,22*10^{-3} \text{ YAŞ}+9,08*10^{-2} \text{ ST} - 7,03*10^{-2} \text{ RH} + 5,57*10^{-4} \text{ SEN1 LogN} \quad (3.1)$$

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=Yığılımlı 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:

$$\text{CR}=-8,70+0,258 \text{ HST}*\text{logN} +1,006 *10^{-7} \text{ HST}*N \quad (3.2)$$

Burada,

CR= Üstyapı çatlak alanı yüzdesi,

HST=Asfalt tabakanın altındaki yatay gerilme

N=Yığılımlı 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;

$$RCI = -5,998 + 6,870 \text{ Log}_e (RCI_B) - 0,162 \text{ Log}_e (YAŞ^2+1) + 0,185 YAŞ - 0,084 YAŞ \text{ Log}_e (RCI_B) - 0,093 \Delta YAŞ \quad (3.3)$$

Burada,

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

RCI_B = Bir önceki RCI

$YAŞ$ = Üstyapının yaşı

$\Delta YAŞ$ = 4 yıl

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

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

$$PCR = C - m * A^p \quad (3.4)$$

Burada,

PCR = Üstyapı Durum Oranlaması (0-100)

C = 100

M = Eğim katsayısı

A = Üstyapının yaşı, yıl

p = Bir sabit (eğrinin şekline göre)

Çizelge 3.1’de farklı üstyapı tipleri için, eşitlik 3.4 kullanılarak oluşturulmuş standart performans eğrisi örnekleri görülmektedir (Haas vd., 1994).

Çizelge 3.1. 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:

$$N = A \left(\frac{1}{e} \right)^B \quad (3.5)$$

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:

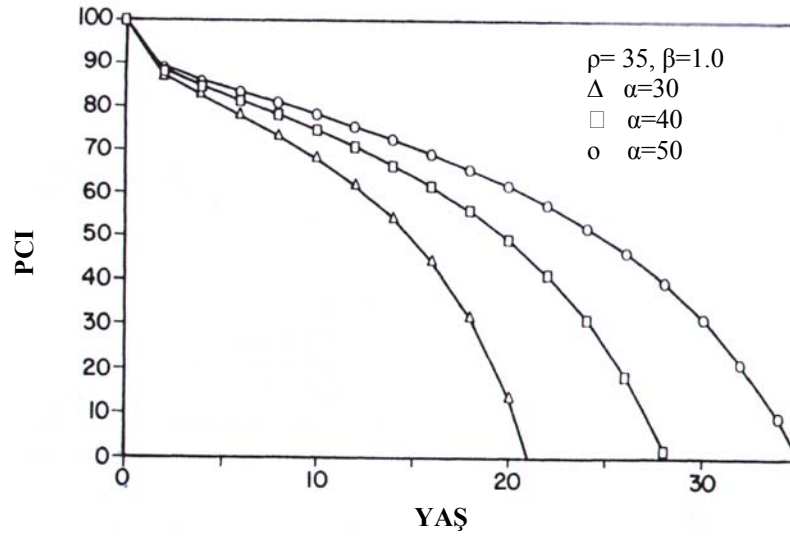
$$p'(x) = a_1 + 2a_2x + 3a_3x^2 + \dots + na_nx^{n-1} \quad (3.6)$$

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:

$$PCI = \left(\frac{100 - \rho}{\ln(\alpha) - \ln(YAŞ)} \right)^{\frac{1}{\beta}} \quad (3.7)$$

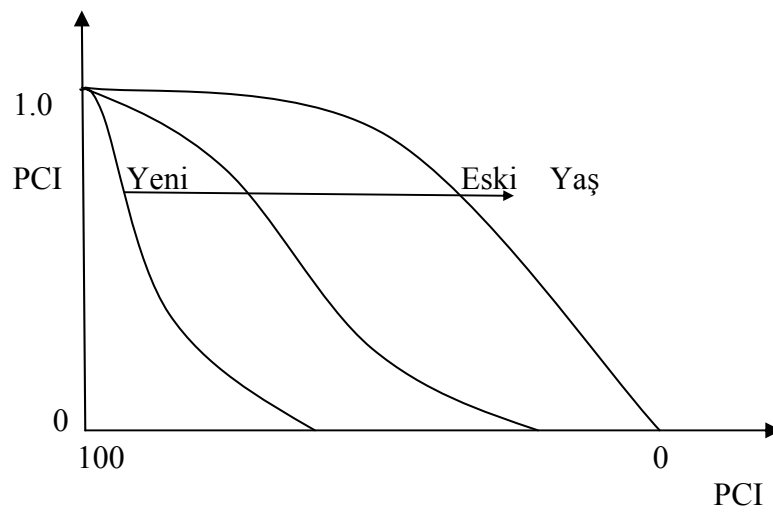
Burada, ρ , α ve β kısıtlardır. α kısıtı Şekil 3.5' de görüldüğü gibi PCI değerleri 0'a ulaşana kadar tüm yaş değerleri için PCI değerini tahmin eder. Bu üç kısıt, regresyon çözümlemesi ile belirlenir (Shahin, 2002).



Şekil 3.5. Örnek bir S şekilli eğri

f- Olasılık Dağılımı

Olasılık dağılımı, bir rasgele değişkenin alabileceği tüm değerleri ile ilişkilendirilme olasılıklarını tanımlar. Örneğin, rasgele değişken PCI olarak seçilirse, olasılık yoğunluk fonksiyonu yığışımlı yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanabilir. Şekil 3.6, 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 3.6. 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. Çizelge 3.2, her biri üç aşamalı iki durum ölçümüne (düzgünsüzlük ve yüzey bozulması) ait dokuz durum ifadesini göstermektedir (Haas vd., 1994).

Çizelge 3.2. 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. Çizelge 3.3, Çizelge 3.2’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.

Çizelge 3.3. 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- Yeni Modeller

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 Attoh-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 verileri kullanarak çatlak genişliğini tahmin eden bir model geliştirmiştir.

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

Attoh-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.

Madanat vd. (2002), AASHO tarafından geliştirilen yol verilerini kullanarak çeşitli regresyon modelleri geliştirmiştir.

3.1.1.3.3. Bütçe Tahmini

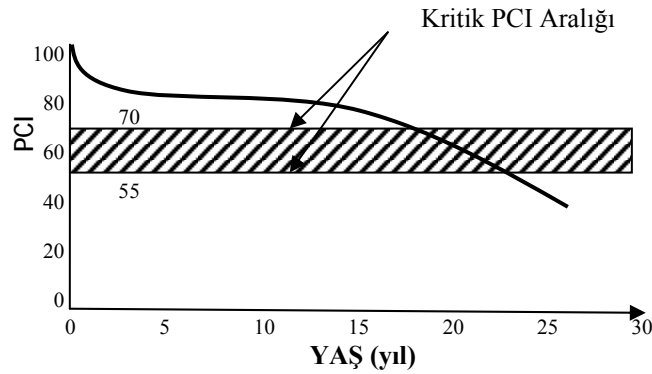
Üstyapıya belirli bir standardın üzerinde bakım ve onarım yapabilmek için gereken yıllık bütçenin tahmin edilmesi gereklidir. Bütçe tahmini yapıldığında, farklı senaryolar analiz edilebilir. Böyle bir rapor, üstyapı performansını belirli bir düzey üzerine getirebilmek için gereksinim duyulan ana Bakım 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.

3.1.1.3.4. 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 ayıramayabilir. 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.

3.1.1.3.5. Yıllık ve Uzun-Sürelî 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 çözümlenmesi sonuçları ve birçok projedeki ömür döngüsü (life-cycle) maliyet analizleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bir kritik PCI, zamanla PCI kaybındaki artış oranı olarak tanımlanır. Şekil 3.7, 55 ile 70 arasındaki alışlagelmiş kritik PCI aralığını gösteren örnek bir bozulma eğrisinin şematik gösterimidir (Shahin, 2002).



Şekil 3.7. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi

Üstyapı davranışı, tepkisi, performansı, bozulması veya gerçek ölçümlerle tahminlerin karşılaştırmasını yapılabilmek 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 düzgünlük için maksimum bir sınır koyabilir. Bu ölçütü koymanın ana sebebi, kaliteyi güvence altına almaktır (Haas vd., 1994).

3.1.1.4. 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

düzeinden 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.

3.1.1.4.1. 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

Çizelge 3.4'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).

Çizelge 3.4. 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.

3.1.1.4.2. 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 simüle eden aygıtlardır. Düşen ağırlıklı defleksiyon ölçer (Falling Weight Deflectometer-DAD) cihazının şematik gösterimi Şekil 3.8’de görülmektedir.



Şekil 3.8. 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 yüklerle 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 3.9), 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 yüklemeye, 30 cm (11,8 inç) çaplı bir yüklemeye plağı ile üst yapıya iletilir ve yükün büyüklüğü transdüserler yardımıyla ölçülür. Ayrıca bu aygıt 45 cm (17,7 inç) çaplı bir yüklemeye plağı da içerir (Shahin, 2002).

Defleksiyonlar, bir çubuğa monte edilmiş transdüserler kullanılarak ve yüklemeye plağı üst yapı yüzeyine otomatik olarak düşürülerek ölçülür. Bir transdüser, yüklemeye

plağının merkezine yerleştirilir. Sensörlerden elde edilen veriler ve tüm işlemler taşıta yerleştirilen bir bilgisayarda toplanır.



Şekil 3.9. 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 3.10' 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 kütleye (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 3.10. 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

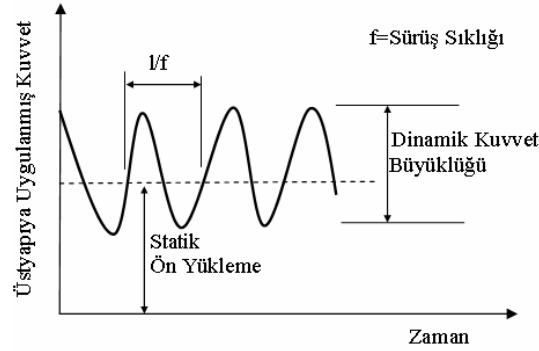
üstyapı yüzeyine düşürülür. Yük ünitesi ve sismometrelerden alınan sinyaller, aygıtın tüm işletimini de kontrol eden, taşıta yerleştirilen bir bilgisayarda toplanır (Shahin, 2002).

Sonuçta, hareket eden bir taşıt tekerleğinin üstyapıya uyguladığı yükü en yakın şekilde simüle eden bir yük darbesi üretecek deney donanımını kullanmak arzu edilir. Yükleme büyüklüğü değiştirilmek suretiyle uçak ve ağır kamyon yüklerine kadar her türlü araç yükü simüle 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 sinüsoidal 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 3.11, tipik yükleme şeklini gösterir. Tepeden tepeye genişlik, statik kuvvetten daha az olmalıdır. Aksi takdirde, 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 3.11. Kararlı tip vibratörün tipik dinamik kuvvet uygulaması

Bu donanımla ilgili temel problem, büyük ön yüklemenin deneyin doğruluğunu etkileyebilecek olmasıdır. Bir çok 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 3.12’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 3.12. 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 3.13’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 strengyeç 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 yüklemidir (Shahin, 2002).



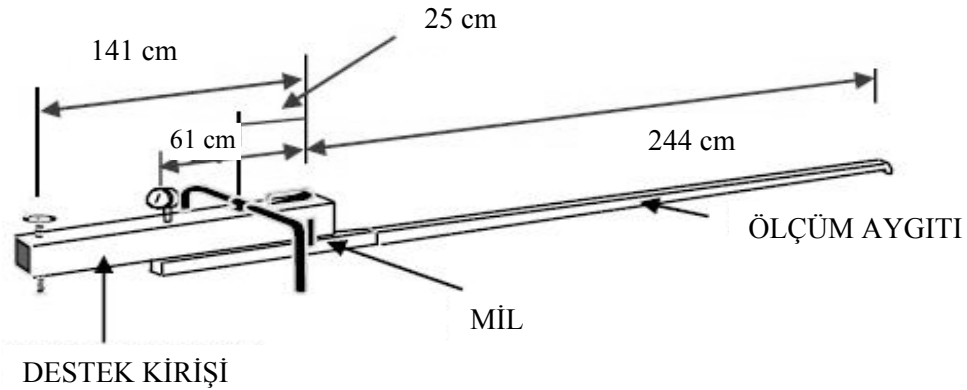
Şekil 3.13. Road Rater

(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 3.14'de görülen Benkelman Kirişi, elle çalışan basit bir defleksiyon aygıtıdır. 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 aygıt ile, defleksiyon eğrisinin şeklini belirlemek mümkün değildir (Shahin, 2002).



Şekil 3.14. Benkelman Kirişi

(b) La Croix Deflektograf, bir çerçeve ile bir kamyonu monte edilmiş iki kiriş tipi aygıtı 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 döner. 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 toplama 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.

3.1.1.4.3. 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 geri 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).

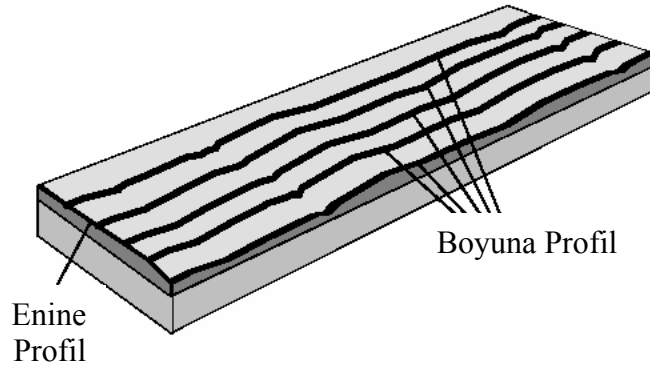
3. Alttemel Reaksiyon Modülü: Bir plak yükleme deneyi kullanılarak belirlenen alttemel reaksiyon modülü (K), beton üstyapının tasarımı ve değerlendirmesinde kullanılır (Shahin, 2002).

3.1.1.4.4. Düzensüzlük (Roughness)

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

Yapılan araştırmalar, yolların hizmet yeteneğinin büyük ölçüde yüzey düzensüzlüğüne bağlı olduğunu ortaya çıkarmıştır. Yolu kullananlar genellikle düzensüzlük veya düzensüzlük kavramlarını konfor açısından memnuniyet veya memnuniyetsizlik olarak tanımlarlar. Düzensüzlük derecelendirmesi taşıt yolcu veya sürücüsünün tahammülü, taşıtın özellikleri ve hıza bağlı olarak değişir (Haas vd., 1994).

Genel olarak düzensüzlük enine, boyuna ve yatay (transverse, longitudinal ve horizontal) olmak üzere üç grupta toplanabilir. Şekil 3.15'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 3.15. Enine ve boyuna profiller

Üstyapı düzgünlüğüne 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 artıracakı doğru değildir (Gillespie, 1992).

Günümüzde düzgünlük 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 düzgünlük 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 düzgünlük ölçüm istemi, profil ölçümü ve çeşitli yöntemler kullanılarak yapılan matematiksel hesaplardan meydana gelir. Bir profil çeşitli dalga uzunluklarından oluşur. Düzgünlük ölçümünde bu dalga uzunluklarının bazılarının gereksinim yoktur. Bunlar normal yol yüzeyinde bulunması istenen miktardaki dalgalardır. Sadece düzgünlüğü 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 3.16’da görüldüğü gibi seçilen bir taban genişliğindeki ortalama

yükselmeler kullanılarak her bir noktada profil düzleştirilir. Eşitlik 3.8’de her bir noktadaki düzleştirilen yükselmelerin hesabı görülmektedir.

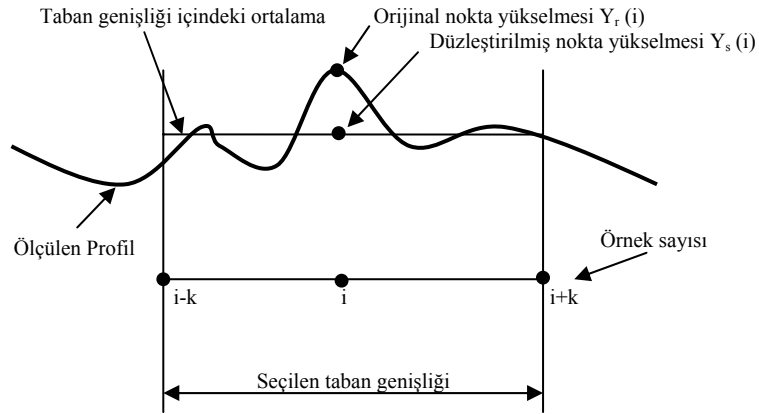
$$y_s(i) = [1/(2k + 1)] \sum_{j=i-k}^{i+k} y_r(j) \quad (3.8.)$$

Burada

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

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

k = hareketli ortalama taban genişliğinin yarısı



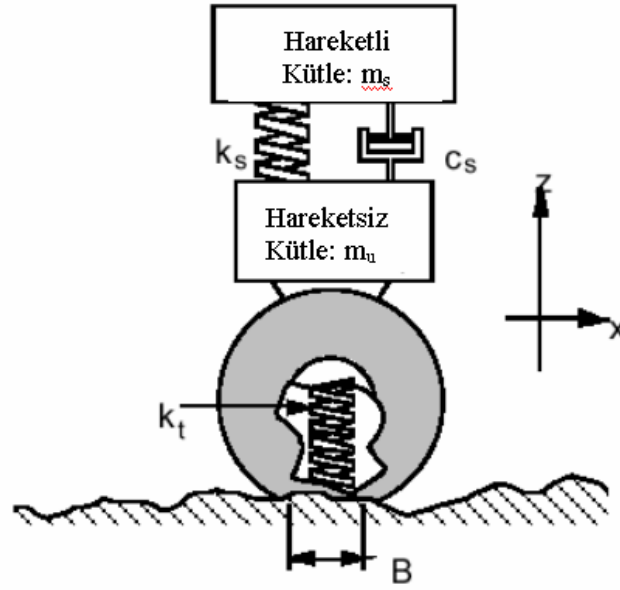
Şekil 3.16. Hareketli filtre ortalaması

Üstyapı düzgünlük değerlendirilmesinde kullanılan deney aygıtları ya üstyapı profilini ya da üstyapı düzgünlüğüne taşıtın verdiği tepkiyi ölçerler. Farklı deney aygıtlarının sonuçlarını değerlendirmek için ortak bir ölçüğe gereksinim vardır (Haas vd., 1994).

1970’lerden sonra dünyanın birçok bölgesinde düzgünlük 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, düzgünlük ölçümleri için ortak bir kalibrasyon standardı ve ilişki geliştirebilmek için Brezilya’da deneysel bir çalışma başlatmıştır. Eğer ortak bir ölçük 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 3.17’de görülen bir çeyrek taşıt sistemini kullanır.



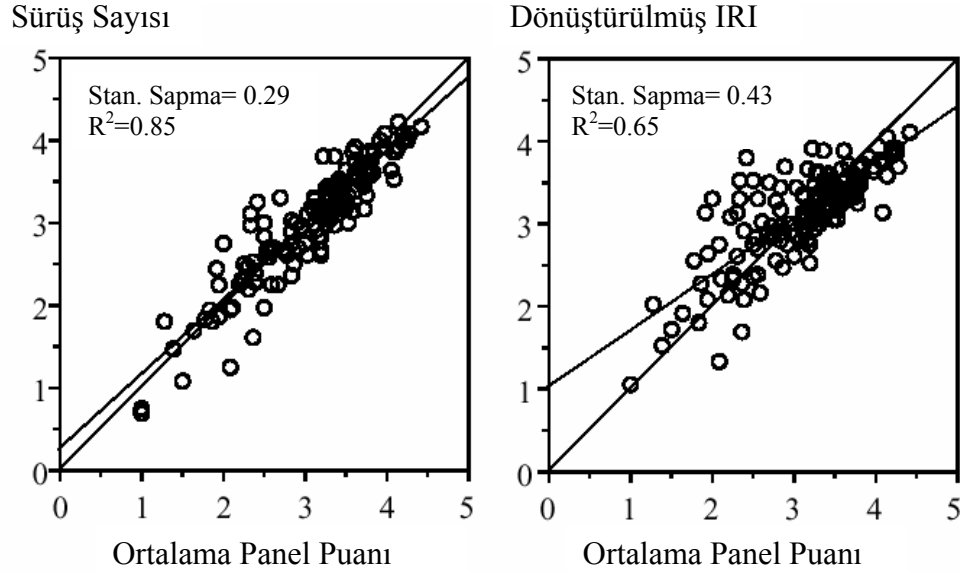
Şekil 3.17. Çeyrek Taşıt Modeli

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

$$PSI = 5,0 e^{-0,18 IRI} \text{ (m/km)} \quad (3.9.)$$

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 3.18’ de bu ilişkiler görülmektedir (Sayers and Karamihas, 1998).



Şekil 3.18. 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 düzgünlüğün tipine göre pozitif değerler alır. Sürüş Sayısı (RN) için bu değer aşağıdaki formül ile 0 (maksimum olası düzgünlük) ile 5 (tamamen düzgün) arasında bir değer alır. Deneysel çalışmalar bu değerlerin 1 ile 4,5 arasında değiştiğini göstermiştir.

$$RN = 5e^{-160(PI)} \quad (3.10)$$

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

$$PI = \sqrt{\frac{PI_L^2 + PI_R^2}{2}} \quad (3.11)$$

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

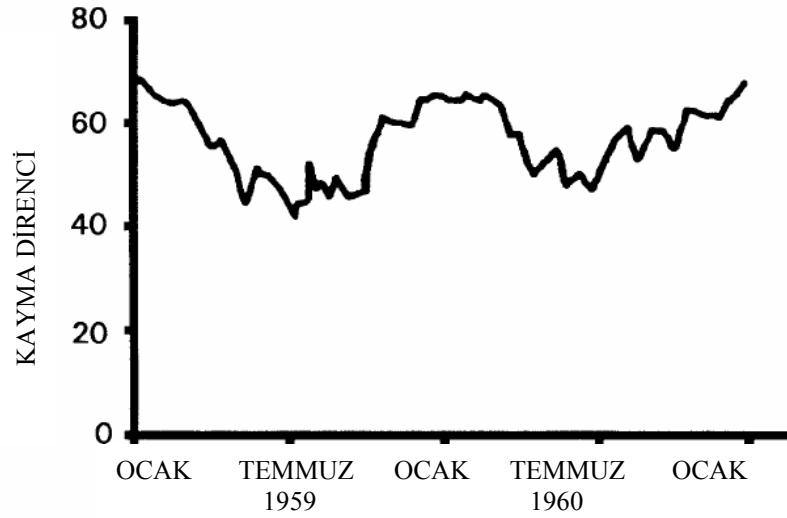
3.1.1.4.5. Kayma Direnci

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 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.

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 değiştiği için (Şekil 3.19), trafik veya yüzey özelliklerinin bir fonksiyonu olarak sadece ortalama bir değer olabilir (Shahin, 2002).







Şekil 3.19. Kayma direncinin mevsimsel değişimi

Taşıt Etkenleri: 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.

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 olacağıdır. Bunun aksine, arka dingil yükü arttığında oluşan sürtünme katsayısında da hafif bir artış oluşur.

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

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

Şekil 3.20. Yol yüzey dokusunu açıklamada kullanılan terimler (Shahin, 2002)

Yüzey dokusu, mikrodoku (microtexture) veya makrodoku (macrotexture) olarak tanımlanabilir (Şekil 3.20). 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 teması izin veren suyun kaçışı için kanallarla sağlanır. Drenaj sisteminin etkisi, sürtünmedeki artışı belirlemek için yüzeye suyun uygulanmasından sonra ve sonraki sürelerde sürtünme etkeninin ölçülmesiyle değerlendirilebilir (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.

$$f = \frac{F}{L} \quad (3.12)$$

burada,

F= Sürtünme kuvveti,

L=Normal yük

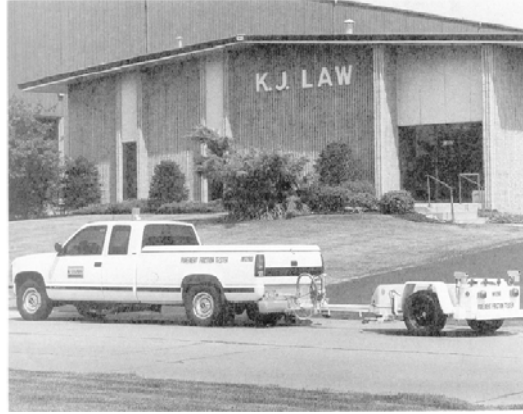
Üstyapının sürtünme etkenini ölçmek için birkaç yöntem aşağıda tartışılmıştır (Shahin, 2002).

-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.

$$SN=100 \times \text{sürtünme etkeni} \quad (3.13)$$

Sonuçların değişkenliğini minimize etmek için, ASTM E 274-90 (1992)'daki standart bir lastik özelliği kullanılır. Şekil 3.21, tipik bir kilitli teker kayma treylerini göstermektedir.



Şekil 3.21. Kilitli tekerlekli kayma treyleri

-Kayma Modu

Kayma (slip) aşağıdaki gibi tanımlanır:

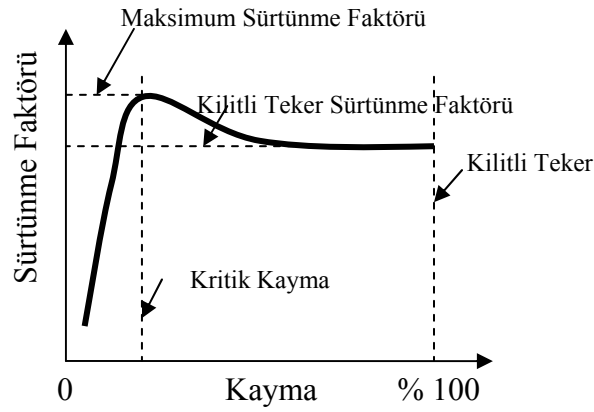
$$S = 100 \frac{W_0 - W}{W_0} \quad (3.14)$$

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 3.22). 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.

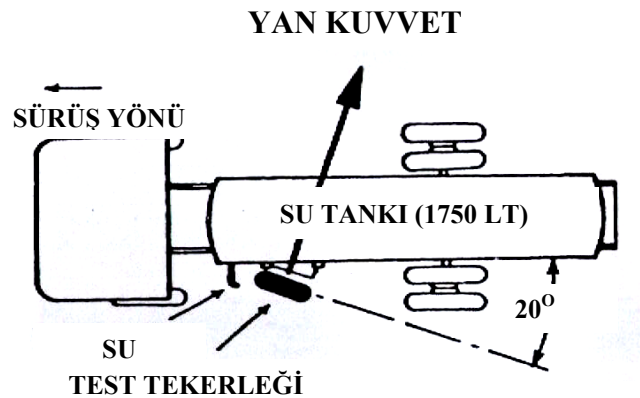


Şekil 3.22. Kaymanın bir etkeni olarak sürtünme katsayısı

-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 değiştiği için, sürtünme etkenini küçük değişimlere duysuz 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 3.23).

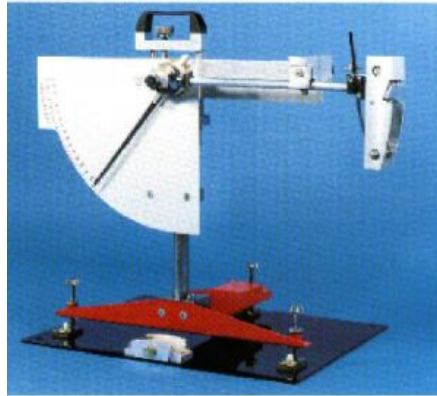


Şekil 3.23. Yan kuvvet katsayısı olağan inceleme makinesi

Bu taşıt, deney tekerleği ilerlerken yola yaymak için gerekli suyu taşır. Bu deney tekerleği, taşıt hareket yönüne 20 derecede monte edilmiştir ve kullanılmadığında yoldan kaldırılabılır. 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 3.24). 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 3.24. 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; kasma, 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).

3.1.1.5. Asfalt Betonlu Kaplamalı Esnek Üstyapılarda Oluşan Bozulmalar

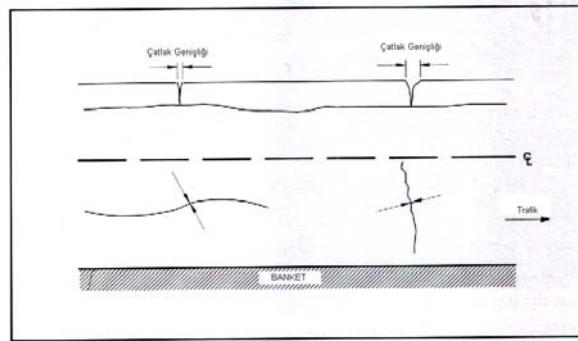
Asfalt betonu kaplamalı esnek üstyapılarda meydana gelen bozulmalar dört ana sınıfta toplanabilir.

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-) Kuma
 - b-) Cilalanmış agrega
 - c-) Sökülme (ayrışma)

3.1.1.5.1. Kırılma

Genel olarak kırılma veya çatlak, çeşitli nedenlerle üstyapı yüzeyinde oluşan çeşitli şekillerdeki kırılmalara denir. Çatlak genişliğinin ölçümü, Şekil 3.25'de gösterilmiştir.



Şekil 3.25. 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 3.26. 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 3.27. 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 3.28. 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 3.29. 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 3.30. 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 3.31. 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 3.32. Yüksek önemli enine kırılma

3.1.1.5.2. Yama ve Oyuklar

a) Yama Bozulması

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



Şekil 3.33. 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 3.34. Oyuklar

3.1.1.5.3. 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 3.35. Ondülasyon ve yığılma

3.1.1.5.4. Yüzey Kusurları

a) Kuma (Terleme)

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



Şekil 3.36. Yüksek önemde kumada 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 3.37. Cilalanmış agrega

3.1.1.5.5. 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 3.38. Sökülme örneği

3.1.1.6. 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-) Kuma (terleme)
 - b-) Cilalanmış agrega

c-) Soyulma

d-) Tarak şeklinde çizgi

3.1.1.6.1. Tekerlek izi oturması

Asfalt üstyapılarda oluşan tekerlek izi oturması ile aynıdır.

3.1.1.6.2.Yama ve çukurlar

a-) Yama bozulması

Asfalt üstyapılarda oluşan yama bozulması ile aynıdır.

b-) Çukurlar

Asfalt üstyapılarda oluşan çukurlar ile aynıdır.

3.1.1.6.3.Yüzey hataları

a-) Kasma (terleme)

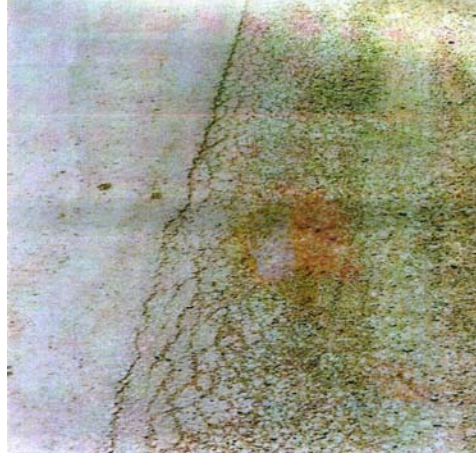
Asfalt üstyapılarda oluşan kasma ile aynıdır.

b-) Cilalanmış agrega

Asfalt üstyapılarda oluşan cilalanma ile aynıdır.

c-) Soyulma

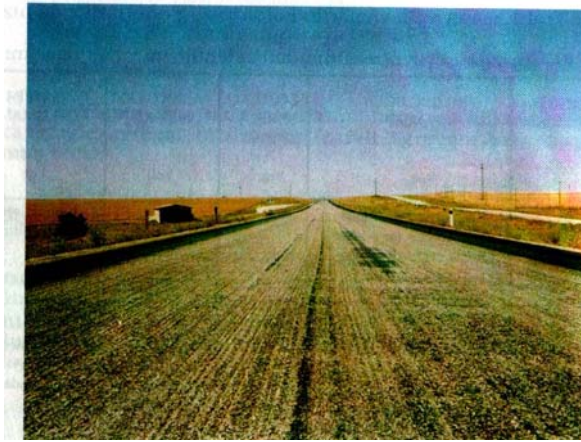
Bu bozulma, sathi kaplamalı yollarda agreganın trafik etkisiyle bitümlü malzemeden ayrılmasıdır (KGM, 1998). Şekil 3.39'da sathi kaplamalarda oluşan soyulma bozulması örneği görülmektedir.



Şekil 3.39. 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 fişkırtma olduğunda meydana gelir (Şekil 3.40).



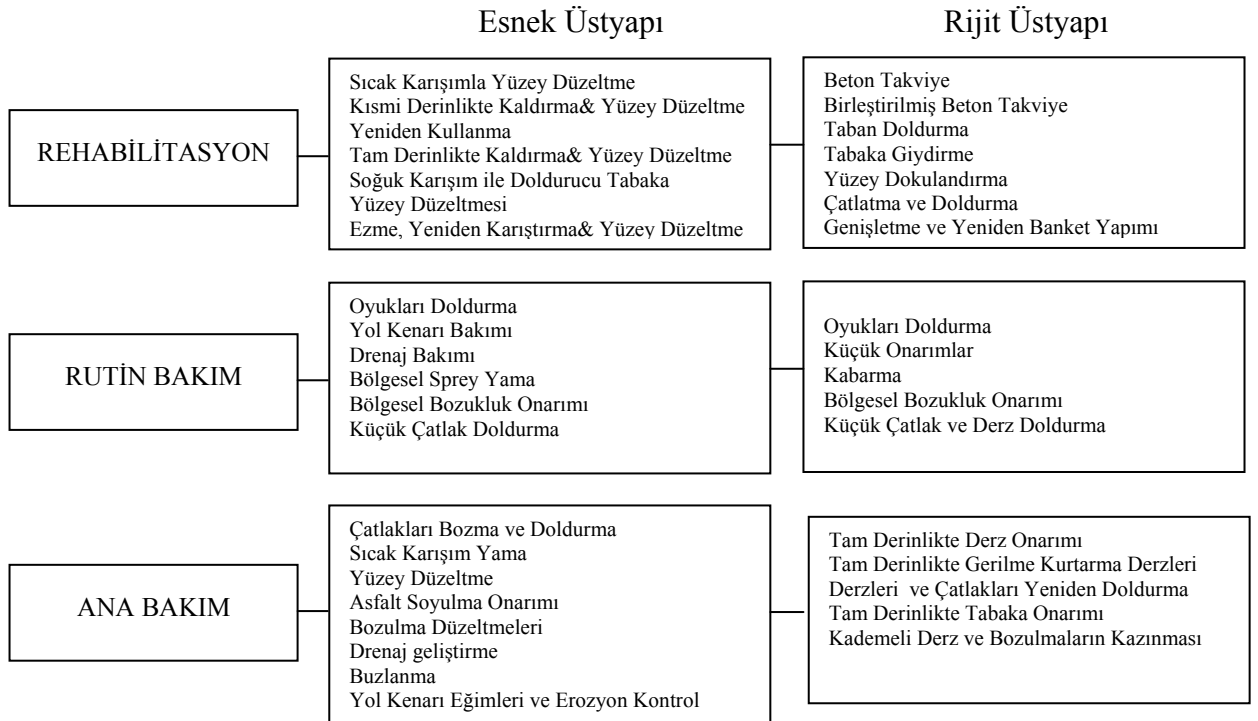
Şekil 3.40. Tarak şeklinde boyuna çizgiler

3.1.1.7. 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 çözümlenmesi 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 3.41, 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 önemlidir. Böylece öncelik programlaması süreci etkili bir biçimde uygulanabilir (Haas vd., 1994).



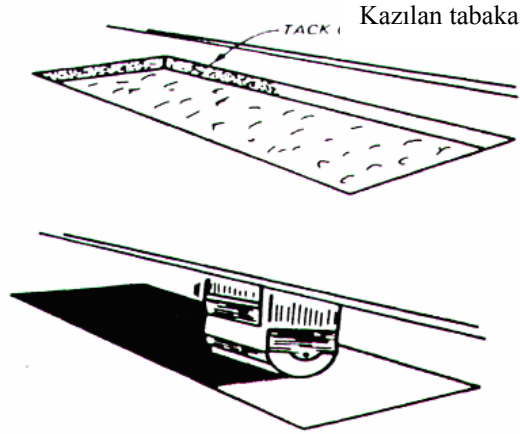
Şekil 3.41. Ontario’ da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri (Haas vd., 1994)

3.1.1.7.1. 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 malzemenin kaynaklanan bozulmaların onarımı için kullanılır. Asfalt betonu tabakasının üstünde sınırlı miktarda küçük çatlaklar olması durumunda, eğer kolayca kaldırılıyorsa, yama derinliği sınırlandırılabilir (Shahin, 2002).



Şekil 3.42. 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.

3.1.1.7.2. 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 yaklaşır. Bazı uygulayıcılar, yüzey uygulaması olarak ince takviye tabakası uygular.

3.1.1.7.3. 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).

3.1.1.8. Sathi Kaplamalı Üstyapılar için Bakım ve Rehabilitasyon Yöntemleri

Sathi kaplamalı üstyapılar için kullanılan bakım ve rehabilitasyon yöntemleri, asfalt üstyapılar için kullanılan yöntemler ile benzerlik gösterir. Fakat asfalt üstyapıların bakım ve rehabilitasyonunda kullanılan tüm yöntemler sathi kaplamalar için kullanılamaz. Ortak olarak kullanılan yöntemler de aynen kullanılamayabilir.

3.1.1.8.1. Agregâ Yüzey Uygulaması

Asfalt betonu kaplamaların onarımında kullanılan agregâ yüzey uygulaması ile aynıdır. Çoğunlukla, kuma türünde bozulmaların onarımında kullanılır.

3.1.1.8.2. Yama

Asfalt betonu kaplamaların onarımında kullanılan agregâ yüzey uygulaması ile aynıdır. Fakat uygulama kalınlığı daha azdır.

3.1.1.8.3. Yeniden sathi kaplama

Bu yöntem, sathi kaplama aşırı derecede bozulduğunda veya diğer onarım yöntemleri ekonomik olmadığında kullanılır. Asfalt betonu yeniden inşa yönteminden farklı olarak eğer yapısal bozulma yoksa eski kaplama kaldırılmayabilir.

3.1.1.9. 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).

3.1.1.9.1. 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 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).

Kullanıcı maliyetinin hizmet yeteneği düzeyi, şartlar, rehabilitasyon büyüklüğü ve zamanı, bakım büyüklüğü ve zamanlaması gibi durumlarla değişmediği kabulü ile sadece sermaye ve bakım maliyetleri düşünülme 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).

3.1.1.9.2. 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)

3.1.1.9.3. 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).

3.1.1.9.4. 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:

$$KM = \text{Kaza Maliyeti} + \text{Taşıt İşletme Maliyeti} + \text{Seyahat Süresi Maliyeti} \quad (3.15)$$

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:

$$\text{Trafik maliyeti} = \text{Mevcut trafik maliyeti} - \text{En iyi durumdaki trafik maliyeti} \quad (3.16)$$

olarak kullanılabilir (RIMES, 1999).

3.1.1.9.5. 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).

3.1.1.9.6. 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 etkendir ve ekonomik çözümlemenin sonuçları üzerinde büyük etkisi olabilir (Haas vd., 1994).

3.1.1.9.7. 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.

3.1.1.9.8. 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 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).

3.1.1.9.9. 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 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).

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:

$$pwf_{i,n} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.17)$$

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):

$$\text{Fayda / Maliyet Oranı} = \frac{\text{TIM} + \text{KM} + \text{SSM}}{\text{BM}} \quad (3.18)$$

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 3.18 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 iskontosu 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 etkiliklere sahip olduğu iddiası sorgulanabilir. Dahası, minimum hizmet yeteneği düzeyi bütün seçenek stratejileri için aynı olmayabilir (Haas vd., 1994).

3.1.1.9.10. 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 yapımçı 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 subjektiftir. Karar için ekonomik analizlerin bir temel oluşturması gerekmesine karşın, tamamen takip edilebilecek kuralları yoktur.

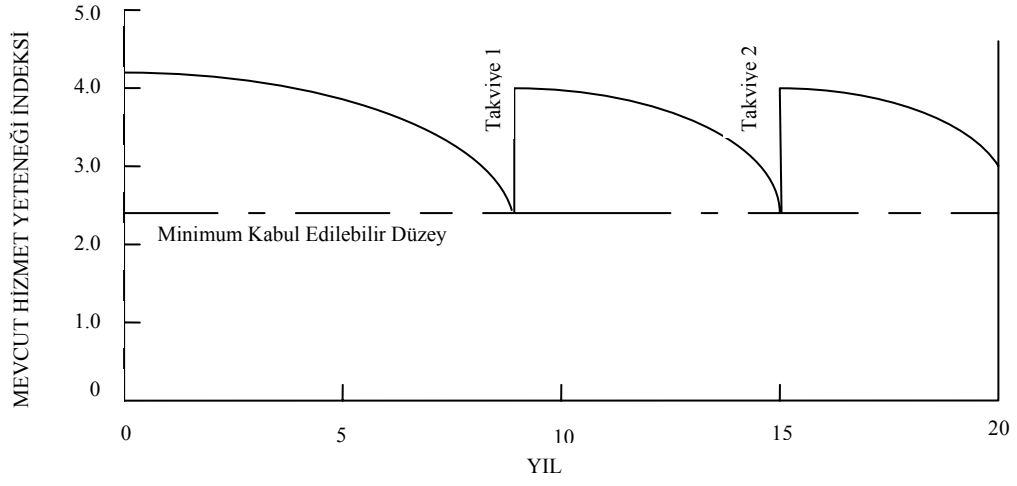
Son seçimi yapmak ve ekonomik analiz sonuçlarının maksimum kullanımını sağlamak için, sadece ekonomik olarak en optimal strateji değil, aynı zamanda birkaç yaklaşık optimal strateji de belirlemelidir.

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 subjektif 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 iletmesinin önemi, özellikle tahmin edilen performans ve inşaat için gelecekteki bakım ve rehabilitasyon gereksinimlerinin belirlenmesidir. Şekil 3.43 optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneğini göstermektedir (Haas vd., 1994).



Şekil 3.43. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği

3.2. YÖNTEM

Çalışmada yöntem olarak, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Bulanık Mantık ve Genetik Algoritma yöntemleri kullanılmıştır. Bu bölümde bahsedilen yöntemler tanımlanmıştır.

3.2.1. Coğrafi Bilgi Sistemi Kapsam ve Uygulamaları

Coğrafi Bilgi Sistemlerinin (CBS) 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. Amerika' da 1993' de, 514 yerel yönetimin % 29'u CBS uygulamalarına geçmiştir ve % 37' si de ya CBS teknolojisi kullanmak için planlama yapmış ya da yatırımını düşünmektedir. Yerel idarelerin planlama ve geliştirme bölümleri, CBS uygulamalarının önemli rol oynadığının farkına varmışlardır. 1998 Suç ve Kargaşa Raporu (Crime and Disorder Act) uzaysal veri türlerinin çözümlemesi ve haritaların hazırlanması için polis ile yerel firmaların işbirliği ile hazırlanmıştır.

Fiziksel planlama çalışmalarında CBS kullanımı her geçen gün artarak devam etmektedir. Analiz yöntemleri planlayıcıların taleplerinin karmaşıklığından farklı olarak, güncelleme, düzeltme, saklama, ilişkilendirme ile uzaysal ve uzaysal olmayan verileri beceri ile kullanmak için veri yönetimi özelliği gerektirir. CBS tüm bu özelliklere sahiptir (Stillwell vd., 1999).

3.2.1.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri

Bir CBS, konuma bağlı olarak bilgileri depolayan, ilişki kuran ve gösterebilen bir karar vermeye yardımcı olan bir sistemdir. CBS, bir çeşit özel dijital veri tabanıdır. Veri tabanında, X, Y, Z (enlem, boylam ve yükseklik) koordinatları, ile birlikte posta kodları veya karayolu vb. isimler kullanılabilir. Bir CBS, aşağıdaki kısımlardan oluşur (Foote ve Lynch,1996):

1. Veri girişi için haritalar, hava fotoğrafları, uydu görüntüleri ve diğer kaynaklar,
2. Veri saklanması, geriye çağırılması ve sorgulama,

3. Veri transformasyonu, çözümlemesi ve modelleme,
4. Veri raporu hazırlama (haritalar, raporlar ve planlar).

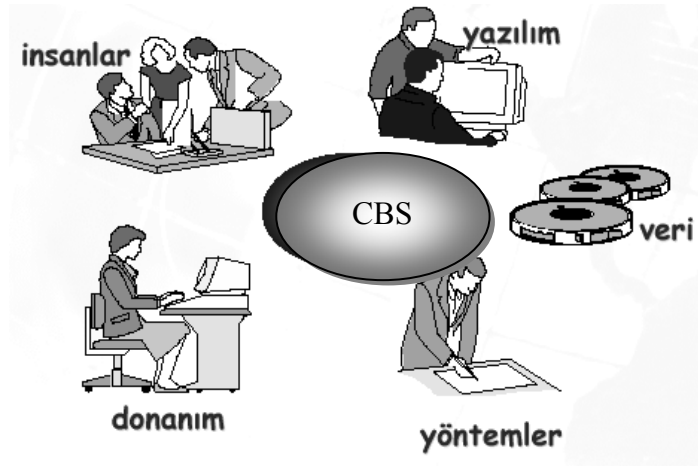
3.2.1.2. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Bileşenleri

Bir CBS çalışmasının beş önemli bileşeni vardır: donanım, yazılım, veri, insan ve yöntemler. Şekil 3.44, bu bileşenleri şematik olarak göstermektedir (ESRI, 2004).

Donanım: CBS işlemlerini yürütecek olan bilgisayardır. Günümüzde, CBS yazılımları, sistemin durumuna göre (ağ ya da tek bilgisayar) çeşitli donanımlarda çalışır.

Yazılım: CBS yazılımları coğrafi bilgiyi saklamak, çözümlemek ve görüntülemek için bazı fonksiyonlara ve araçlara gereksinim duyar. Önemli yazılım bileşenleri:

- Coğrafi bilginin girişi ve işlenmesi için araçlar,
- Bir veri tabanı yönetim sistemi,
- Coğrafi sorgulama, analiz ve gösteri için araçlar,
- Araçlara kolay erişim için bir grafik kullanıcı arabirimi.



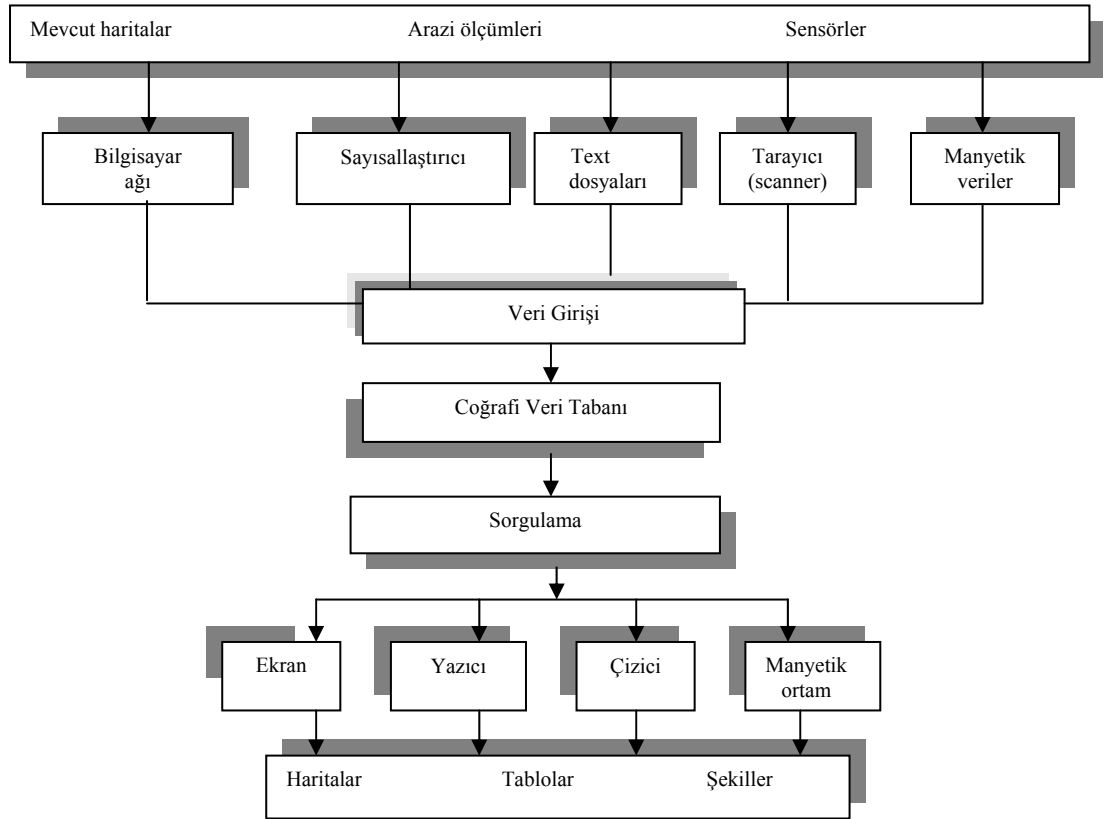
Şekil 3.44. Bir CBS çalışmasının bileşenleri

Veri: CBS' nin en önemli bileşeni verilerdir. Coğrafi veriler ve ilişkili veriler araziden ölçülebilir veya veri sağlayıcı ticari şirketlerden satın alınabilir. Bir CBS uzaysal verileri (konum) dikkate alan veri tabanı yönetim sistemi olarak kullanabilir.

Kullanıcılar (İnsanlar): CBS teknolojisi, sistemi yönetecek, problemleri uygulayacak ve planları geliştirecek kişiler olmadan çalışmaz.

Yöntemler: Bir CBS sisteminin başarısı, problem tipine göre iyi tasarlanmış plana ve iş kurallarına bağlıdır (ESRI, 2004).

Bir CBS geliştirilmesi için gerekli olan aşamalar Şekil 3.45’ te gösterilmiştir. Mevcut haritalar, arazi verileri ve sensör ölçümleri, sayısallaştırıcı (digitizer), bilgisayar dosyaları, tarayıcılar ve diğer manyetik ortamlar vasıtasıyla veri girişi sağlanır. Uygun veriler bir program yardımıyla (genellikle paket programlar ESRI, Netcad ve Intergraph gibi) coğrafi veri tabanı oluşturulur. Oluşturulan veri tabanı sorgulamaya tabi tutulur.



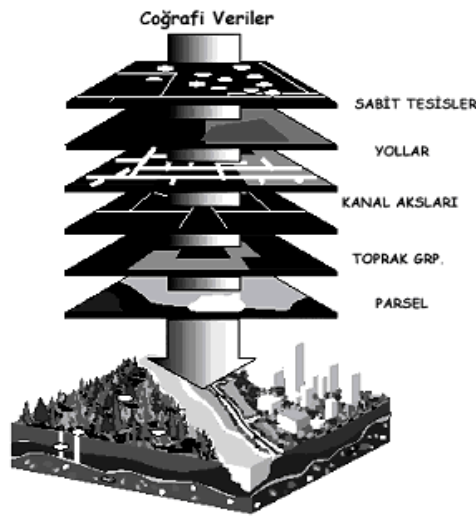
Şekil 3.45. Coğrafi bilgi sisteminin bileşenleri

Bilginin veri tabanında nasıl saklanacağı büyük bir problemdir. Maguire vd.'nin 1993' te yaptıkları bir çalışmada üç muhtemel çözüm önermişlerdir. Bunlardan ilki, öznitelik verilerinde bir değişiklik olduğunda veri tabanında yeni bir düğüm noktası

oluşturulmasıdır. Bu durum, veri tabanı tablolarında gereksiz fazlalık oluşmasına neden olur. İkinci yöntem, her bir farklı tabakada öznitelik değişimi olduğunda düğüm noktası ile birden fazla tabaka üretmektir. Bu coğrafi veritabanında aynı nesne için birden çok kopya oluşturarak gereksiz fazlalığa neden olabilir. Son çözüm ise, dinamik ayrıştırma olarak bilinir ve Fletcher tarafından 1987’ de ortaya atılmıştır. Burada nesnelere için sadece bir kopya saklanır, fakat öznitelik verilerinin farklı setleri haritalanır veya lineer referans sistemi kullanılarak analitik işlemlerde kullanılır (Longley vd., 1999).

CBS ’nin en önemli bileşeni, veri tabanıdır. Belki de en uzun aşama veri tabanının hazırlanmasıdır. CBS’de kullanılan veri tabanını diğer veri tabanlarından ayıran en önemli özellik, konuma bağlı olmasıdır. Veri tabanında iki türlü veri olabilir:

1. **Grafik veriler:** Genellikle katmanlar şeklinde, aynı konumu dikkate alan ve işlevsel olarak ilişkili harita elemanlarıdır. Örneğin bir ulaşım 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. Şekil 3.46’da örnek coğrafi veriler görülmektedir.



Şekil 3.46. CBS’ de coğrafi veriler

2. Grafik olmayan veriler: Konuma bağılı olmayan ve özellikleri gösteren bilgilerdir. Örneğin belli bir karayoluna ait trafik hacmi, şerit sayısı, şerit genişliği gibi.

Konum bilgisi, sayısallaştırılarak veya taranarak alınabilir. CBS için taranan veriler, genellikle vektörize edilmelidir ve bu nedenle tarama detaylı mühendislik işleri yerine genel planlama işlerinde kullanılır. Global Konum Belirleme Sistemi (Global Positioning System-GPS) artan bir biçimde veri koordinatlarını belirlemede kullanılmaktadır. Ayrıca bu sistem otomatik taşıt navigasyon sistemi (AVNS) ve yerleşim sistemi için de günümüzde kullanılmaktadır. Elle sayısallaştırma ve fotogrametrik veri girişleri de yaygın bir biçimde CBS uygulamalarında kullanılır (Longley vd., 1999).

3.2.1.3. Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Avantajları

CBS özellikle karar vermede önemli kolaylıklar sağlamaktadır. Zira, sürekli haritalarla görsel veri elde etmek mümkündür. Çok fazla sayıda senaryo üreterek, önemli olan etkenler belirlenebilir. Ayrıca grafik üzerinde mouse (fare) konumlandırıldığında o coğrafi noktaya ait veri tabanı (mevcutsa) kullanıcıya gösterilebilir.

Veriler sürekli güncellenebilir ve internet ortamında diğer kuruluşlarla paylaşılabilir. Bu nedenle, kuruluşlar arasında aynı işlerin tekrar tekrar yapılması önlenir ve şeffaflık artırılabilir. Bu şekilde hareket ederek, personel sayısı azaltılabilmekte, maliyet azalmakta ve üretim hızı artmaktadır. Bunlara ilave olarak, belki de en önemlisi yapılan işin niteliği artmaktadır.

3.2.2. Bulanık Mantık Yöntemi

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 verilemeyişten 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 alınır, 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).

3.2.2.1. 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.

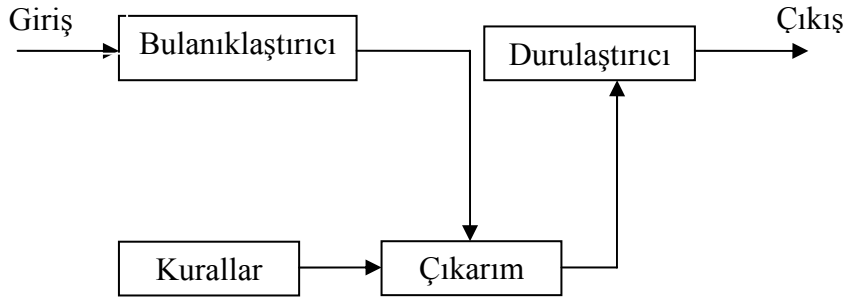
Klasik kümelerle bulanık kümelerin arasındaki önemli farklardan bir tanesi, klasik kümelerin sadece bir tane dikdörtgen üyelik derecesi fonksiyonu bulunmasına karşılık, bulanık kümenin yukarıdaki üç şarttan ilk ikisini mutlaka sağlayacak biçimde değişik üyelik derecesi fonksiyonlarına sahip olmasıdır. Yani bulanık küme üyelik derecesi fonksiyonlarının mutlaka simetrik olması özelliğini sağlamasına gerek yoktur.

Genellikle bilinen matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 3.47'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 3.47. Klasik sistem

Bulanık sistemlerin bu klasik tasarımdan farkı sistem davranışı kısmının dörde ayrılarak Şekil 3.48'de gösterildiği gibi kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır.



Şekil 3.48. 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):

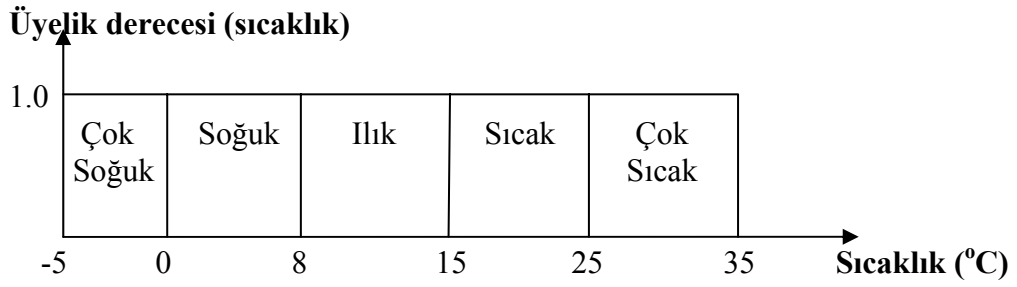
1. **Genel Bilgi Tabanı Birimi:** İncelenecek olayın maruz kaldığı girdi değişkenleri ve bunlar hakkındaki tüm bilgileri içerir. Buna veri tabanı veya

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 bağlamların 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.

3.2.2.2. Üyelik Fonksiyonları

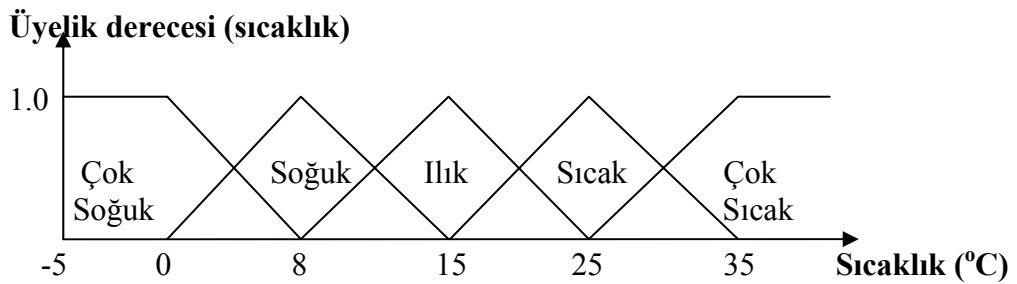
Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilir. Mesela, İstanbul’da sıcaklık derecesinin değişim aralığının yaklaşık olarak $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’den $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar 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 3.49’da görüldüğü gibi bu aralıklar için tahminlerde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şen, 2001).



Şekil 3.49. 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 °C'de sıfır üyelik derecelerine sahip olacağı düşünülemez. Böylece, sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği Şekil 3.50'da gösterilmiştir. Bu fonksiyonların simetrik olması zorunlu değildir. Problemin özelliklerine göre simetrik olmayan üçgen, yamuk veya çan eğrisi şeklinde üyelik fonksiyonları kullanılabilir.



Şekil 3.50. Örtüşmeli üçgen gösterimi

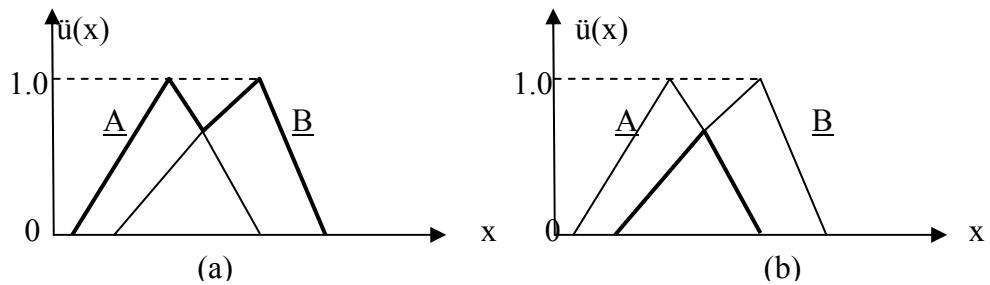
3.2.2.3. Bulanıklaştırma

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).

3.2.2.4. Durulaştırma

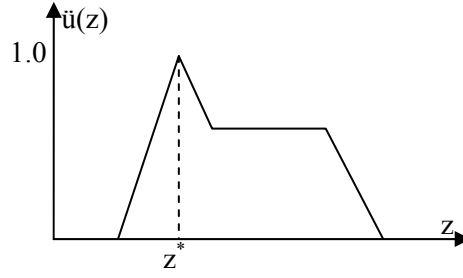
Pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gereksinim duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilmesi için bulanık bilgilerin durulaştırılması (defuzzification) gerekmektedir. Şekil 3.51'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).



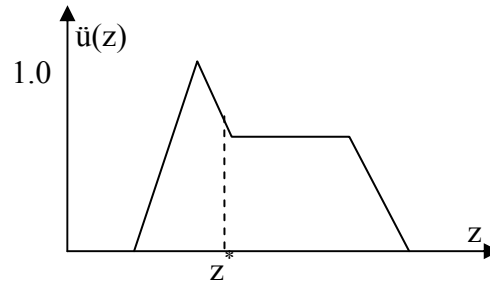
Şekil 3.51. İki bulanık kümenin (a) birleşimi, (b) kesişimi

1. En büyük üyelik ilkesi: Bunun diğer bir adı da yükseklik yöntemidir. Kullanılabilmesi için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gerek vardır. Şekil 3.52, bu durulaştırma işlemini göstermektedir.



Şekil 3.52. En büyük üyelik derecesi durulaştırması

2. Sentroid yöntemi: Diğer bir adı da ağırlık merkezi yöntemidir. Durulaştırma işlemlerinde, en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Şekil 3.53, bu yöntem kullanılarak yapılan durulaştırma işlemini gösterir.

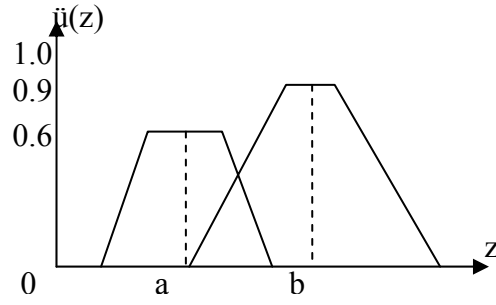


Şekil 3.53. Sentroid yöntemi durulaştırması

3. Ağırlıklı ortalama yöntemi: Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonunun bulunması gerekir. Örnek olarak Şekil 3.54'te görülen bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması (durulaştırılmış değeri):

$$z^* = \frac{a(0,6) + b(0,9)}{0,6 + 0,9} \quad (3.19)$$

şeklinde hesaplanır.

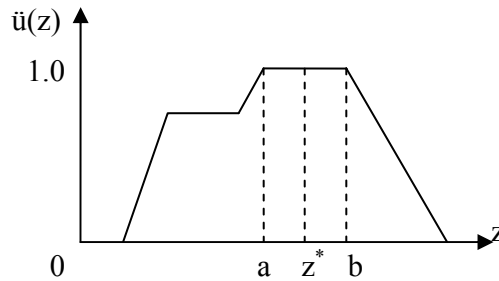


Şekil 3.54. Ağırlıklı ortalama yöntemi durulaştırması

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 3.55'te gösterilen durulaştırma işlemine ait bu yöntemle göre durulaştırılmış değer:

$$z^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.20)$$

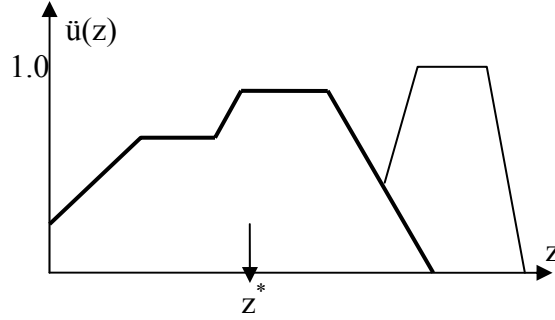
olarak bulunur. Buradaki a ve b değerleri şekilde gösterilmiştir.



Şekil 3.55. Ortalama en büyük üyelik durulaştırması

5. Toplamların merkezi: Durulaştırma işlemleri arasında en hızlı olan yöntemdir. Bu yöntemde iki bulanık kümenin birleşimi yerine onların cebirsel toplamları 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 3.56, örnek bir durulaştırma işlemini gösterir.



Şekil 3.56. 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.

3.2.2.5. 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

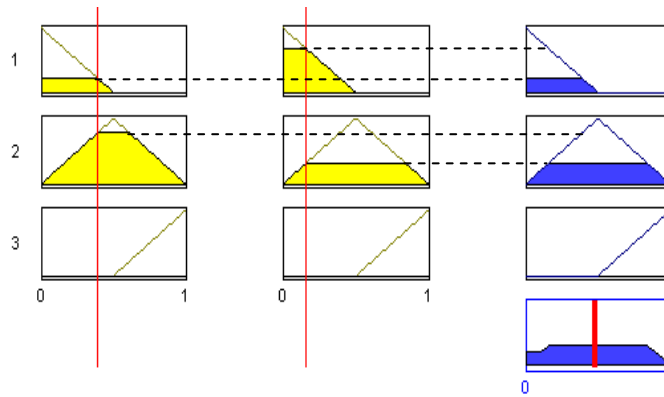
şeklinde yazılır. İşte, bu türlü yapısı olan ifadelere '**EĞER-İSE kural tabanlı biçim** adı verilir. Bu ifade, bilinen bazı bilgilerin kullanılması ile, bunların ışığı altında, faydalı olan diğer bazı bilgilerin çıkarılması anlamına gelir. Bu tür bilgilere **sığ bilgiler** adı verilir. Çünkü bunlar 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).

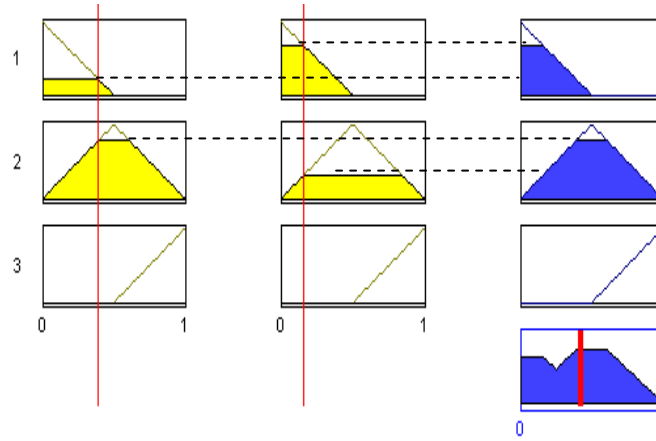
3.2.2.6. Grafik Çıkarım Teknikleri

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 3.57’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 3.58’de kural “VEYA” bağlacı ile bağlanmıştır. Bu durumda EB-EB kuralı gereğince her iki girdinin üyelik derecelerinden büyük olanın üyelik derecesi çıktının üyelik derecesi olacaktır.



Şekil 3.57. “VE” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması



Şekil 3.58. “VEYA” bağlacı ile bağlanan kuralın kullanıldığı model uygulaması

3.2.3. Genetik Algoritma Yöntemi

Evrim mekanizmasını kullanarak, araştırmacılar herhangi bir insanın yapısını anlayamadığı problemleri çözen programları yazabilir. Aslında, Genetik Algoritmalar böyle kompleks sistemlerin tasarımındaki çözüm bulmada geleneksel yöntemlerden üstündürler. Genetik algoritmalar, bir problemin potansiyel çözümünün geleneksel programların yapabileceğinden daha geniş aralıktaki olasılıklarını araştırır (Holland,1992).

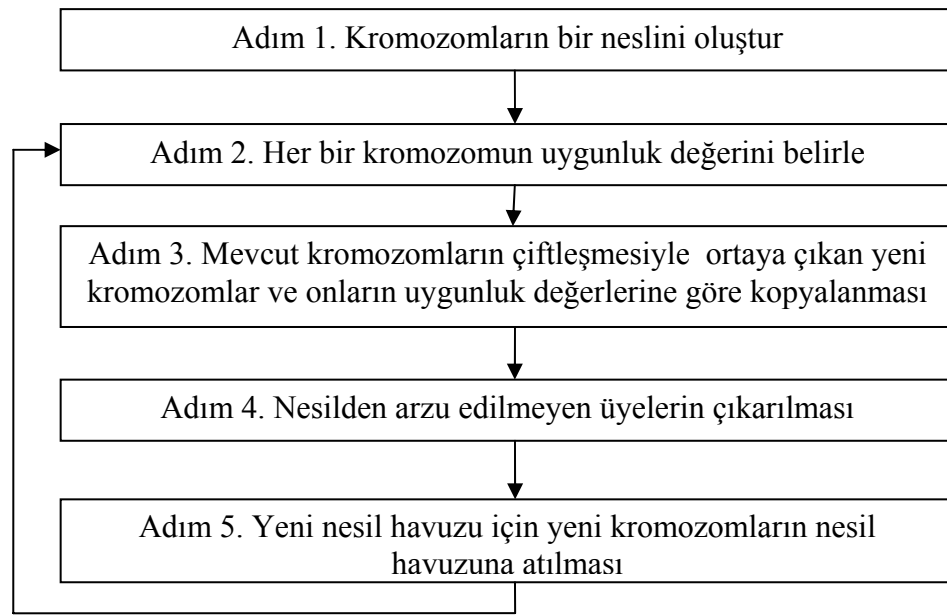
Genellikle bir gen, göz rengi gibi tek bir öznelikle tanımlanan veya etkilenen bir kromozomun parçası olarak tanımlanır ve DNA'nın bir kesimini içerir. Genetik Algoritma (GA) yönteminde, daha güçlü bireylerin kazandığı doğal seçim mekanizmasından esinlenilmiştir. GA böyle bir doğal seçim için doğrudan benzerlik yöntemini kullanır. Genetik evrim yöntemleri ile, genetik oyunun kazananı ile optimal bir çözüm bulunabilir ve gösterilebilir (Man vd., 1997).

GA'ların geleneksel yöntemlerden farkları (Öztopal, 1998):

1. GA'larda parametreler kodlanarak kullanılır. Genelde kodlama biçimi ikilik sayı sistemindedir. Bu sistem bilgisayarların çalışma sistemi ile aynıdır. Eğer istenirse bilgiler daha farklı sayı sistemlerinde de kodlanabilir.
2. GA'larda tek bir nokta yerine noktalar topluluğundan hareket edilir. Bu da genel maksimuma ulaşmayı kolaylaştırır. Yani sistem yerel maksimumlara takılmaz.

3. GA'larda sadece amaç fonksiyonu değerleri kullanılır. Türev ve integral gibi daha farklı bilgilere gerek yoktur. Bu da yöntemi belirli kabul ve şartlardan uzak tutar.
4. GA'lar belirlilik değil, olasılık kuralına dayanır. Seçim işlemi olasılık doğrultusunda gerçekleştirilir.

Genetik Algoritmalar genel olarak Şekil 3.59'da görüldüğü gibi beş temel adımda uygulanır.



Şekil 3.59. Genetik Algoritmaların temel adımları (Lin ve Lee, 1996)

3.2.3.1. Genetik Algoritmalarda Kullanılan Operatörler

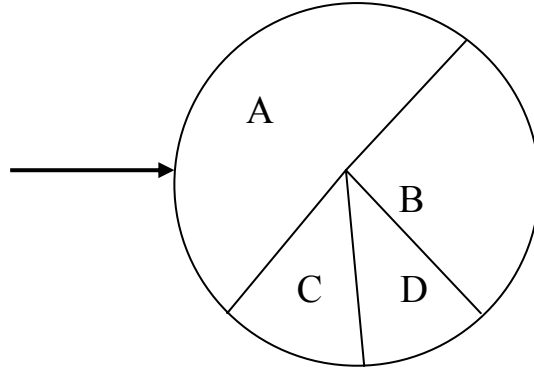
a) Gen Havuzu

Gen havuzu, kromozomların uygunluklarının değerlendirilip seçim işleminin yapıldığı havuzdur. Her bir 0 ve 1 değeri bir geni, her bir 0 ve 1 topluluğu ise bir kromozomu temsil eder. Her bir kromozomun uygunluk değeri hesaplanır. Buradan uygunluk değerleri büyük olan fertler seçilir ve uygunluğu küçük olan fertlerin üzerine kopyalanır. Daha sonraki adımlarda ise fertler çaprazlama ve mutasyondan geçirilirler.

b) Seçim

Seçimde amaç, uygunlukları küçük olan kromozomların elenip uygunlukları büyük olan kromozomların ağırlıklarını hissettirecek yeni bir nesil oluşturmaktır. Seçim işlemi, uygunlukları büyük kromozomlar, uygunlukları küçük kromozomların üzerine tekrar yazılıp ve/veya rulet çarkı kullanılarak yapılabilir (Öztopal, 1998).

Rulet çarkı, kromozomların uygunluk değerlerine bağlı olarak dilimlere ayrılırlar (Şekil 3.60). Buradaki çalışma prensibi, bu çarkın döndürülerek herhangi bir dilimde durmasını beklemektir. Doğal olarak okun en fazla dilime sahip olan kromozomu gösterme olasılığı en büyüktür (Öztopal, 1998).

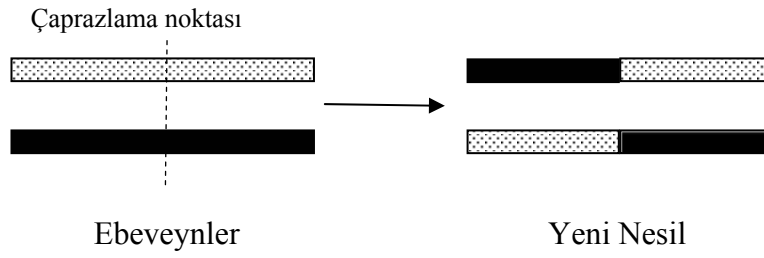


Şekil 3.60. Rulet çarkı

c) Çaprazlama

Kromozomların genlerini birbirleriyle değiştirmelerini sağlayan bir işlemdir. Önce çaprazlama yapılacak kromozom ikilileri rasgele seçilir. Daha sonra bu kromozom ikililerinin hangi genlerden itibaren kesileceği yine rasgele seçim ile belirlenir. Kesilen genler kromozom ikilileri arasında değiştirilir. Burada amaç mevcut nesilden farklı nesiller elde etmektir. Bu çaprazlama işlemi tek kesimli olabildiği gibi birden fazla kesimli de olabilir (Öztopal, 1998).

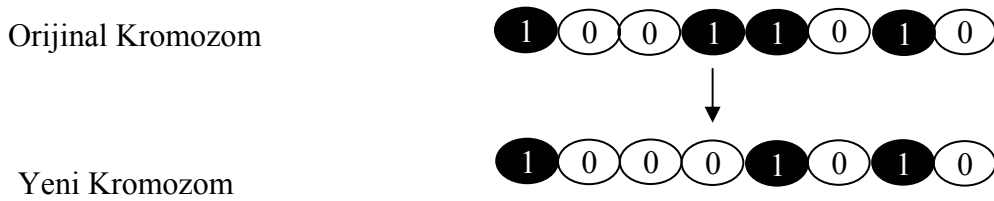
İşlevsel süreci göstermek için, bir noktalı Çaprazlama mekanizması Şekil 3.61’de verilmiştir (Man vd., 1997).



Şekil 3.61. Tek kesimli çaprazlama örneği (Man vd., 1997)

d) Mutasyon

Mutasyon, çaprazlamadan farklı olarak iki kromozomun yerine bir tek kromozom üzerinde rasgele belirlenen genlerin karşıt genlerle yer değiştirilmesi ile yapılan işlemidir. Burada amaç, verilen belli bir mutasyon değeri ile 0 olan genleri 1, 1 olan genleri 0 yaparak yersel en iyilerin dışında mümkün olabilecek en iyileri de araştırmaktır (Öztopal, 1998). Şekil 3.62’de örnek bir mutasyon işlemi görülmektedir.



Şekil 3.62. Örnek mutasyon işlemi (Man vd., 1997)

e) Tersleme

Önceki işlemlerden tamamen farklı olan tersleme, kromozomun soldan sağa okunacak yerde sağdan sola doğru gen dizisi ile okunması durumunda ortaya çıkan kromozomdur. Burada önceki kromozomun temsil ettiği sayıdan tamamen farklı bir sayı elde edilir. Şekil 3.63’ te bir tersleme örneği görülmektedir (Öztopal, 1998).

$$\begin{array}{cccccccc}
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & \rightarrow & 98 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & \rightarrow & 35
 \end{array}$$

Şekil 3.63. Örnek bir tersleme işlemi

4. ARAŞTIRMADA ELDE EDİLEN BULGULAR

4.1. Üstyapı Performans Tahmini Modeli Geliştirilmesi ve Uygulanması

4.1.1. Üstyapı Performans Tahmini ve Önemi

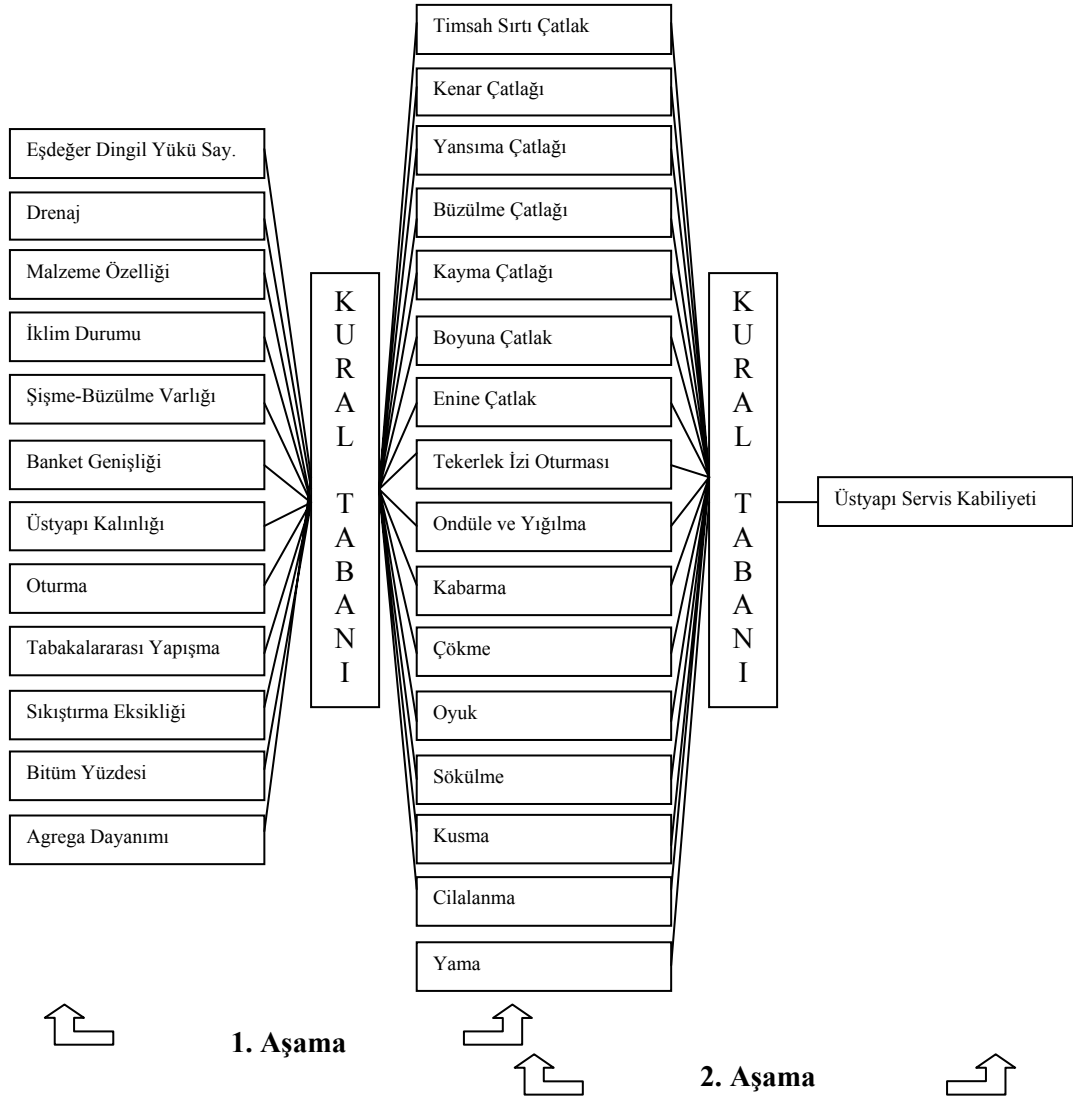
Hizmet yeteneği ve performans kavramı, 1960'lardan günümüze kadar üstyapı teknolojisinin önemli bir parçasıdır. Performans tahmini için kullanılabilir modellerin (Pavement Serviceability Index-PSI ve Ride Comfort Index-RCI) gelişmesi üstyapı mühendisleri için önemli bir değişim olmuştur. Bir üstyapı ağındaki kesimler için gelecek yıllardaki durumu tahmin etmek amacıyla, dikkate alınan ölçütlerdeki değişim oranını tahmin etmek gerekir. Ayrıca, bakım gereksinimlerini tahmin etmek için üstyapıdaki çatlak gibi bozulmaların ölçüm değerlerindeki değişimlerin oranının tahmini de arzu edilir (Haas vd., 1994).

Herhangi bir tahmin modeli için temel gereksinim duyulan bilgiler şunlardır:

1. Bir veri tabanı,
2. Bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi,
3. Gerçek yol koşullarını kapsayacak şekilde dikkatli bir model seçimi,
4. Kriterlerin belirlenmesi.

4.1.2. Asfalt Üstyapılar için Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi ve Özellikleri

Üstyapı performans tahmini için geliştirilen modelin genel yapısı Şekil 4.1'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi, iki aşamalı bir Bulanık Mantık Modeli geliştirilmiştir. Üstyapıda bozulmalara neden olan ve mekanistik ölçüm gerektirmeyen tüm etkenler ilk modelin girdisi olarak dikkate alınmıştır. Bir asfalt üstyapıda oluşabilecek tüm bozulmalar ilk modelin çıktısı ve aynı zamanda ikinci modelin de girdisi olarak düşünülmüştür. Bu modelin çıktısı ise, üstyapının hizmet yeteneği indeksi değeridir.



Şekil 4.1. Üstyapı performans tahmini modelinin genel yapısı

Modellemede böyle bir tekniğin kullanılmasının sebebi, üstyapıda bozulmalara neden olan etkenler ile üstyapı hizmet yeteneği değeri arasında doğrudan bir ilişki kurulamamasıdır. Ayrıca, geliştirilen bu model ile sadece ikinci aşama kullanılarak incelenen kesimin mevcut durumu (Proje Seviyesi Tahmin), ilk ve ikinci modelin bir arada kullanılmasıyla da gelecekteki üstyapı performansı (Ağ Seviyesi Tahmin) tahmin edilebilir.

Burada, yansıma çatlağı türündeki bozulmanın sadece daha önce inşa edilen bir üstyapı üzerine takviye tabakası uygulanması durumunda oluştuğuna ve yama türünde bozulma ile bozulmaya neden olan etkenler arasında bir ilişki bulunmadığına dikkat edilmelidir.

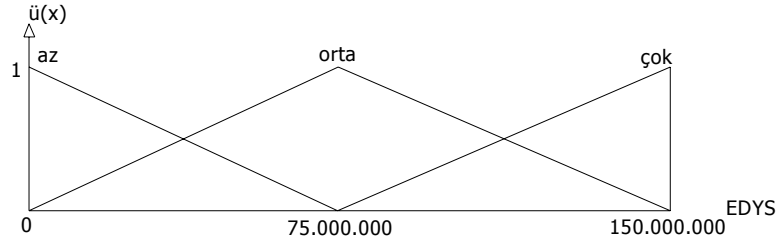
Modelde dikkate alınan tüm değişkenler ve özellikleri Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1. Modelde dikkate alınan değişkenler ve özellikleri

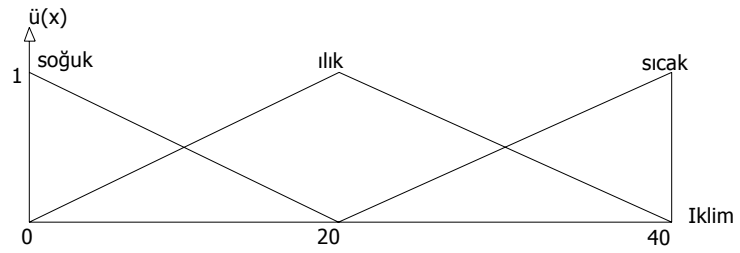
Değişken	Değerlendirme	Aralık (maks-min)	Birim
Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı	Sayısal	0-150.000.000	Adet
Drenaj	Sözel	Yeterli-Yetersiz	
Malzeme Özelliğı	Sözel	Kötü-Orta-İyi	
İklim Durumu	Sayısal	0-40	°C
Şişme-Büzülme Varlığı	Sözel	Az-Orta-Çok	
Banket Genişliğı	Sayısal	50-300	cm
Üstyapı Kalınlıkları Toplamı	Sayısal	19-27	cm
Oturma	Sözel	Az-Orta-Çok	
Tabakalararası Yapışma	Sözel	Az-Orta-Çok	
Sıkıştırma Eksikliği	Sözel	Kötü-Orta-İyi	
Bitüm Yüzdesi	Sözel	Az-Orta-Çok	
Agrega Dayanımı	Sözel	Az-Orta-Çok	
Timsah Sırtı Çatlak	Sayısal	0-60	m ²
Kenar Çatlağı	Sayısal	0-20	mm
Yansıma Çatlağı	Sayısal	0-20	mm
Büzülme Çatlağı	Sayısal	0-20	mm
Kayma Çatlağı	Sayısal	0-20	mm
Boyuna Çatlak	Sayısal	0-20	mm
Enine Çatlak	Sayısal	0-20	mm
Tekerlek İzi Oturması	Sayısal	0-50	mm
Ondüle ve Yığılma	Sayısal	0-10	mm
Kabarma	Sayısal	0-20	mm
Çökme	Sayısal	0-50	mm
Oyuk	Sayısal	0-50	mm
Sökülme	Sayısal	0-10	m ²
Kusma	Sayısal	0-100	m ²
Cıalanma	Sayısal	0-100	m ²
Yama	Sayısal	0-100	m ²
Hizmet yeteneğı Değeri	Sayısal	1,25 – 4,14	

4.1.2.1. Seçilen Değişkenlerin Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

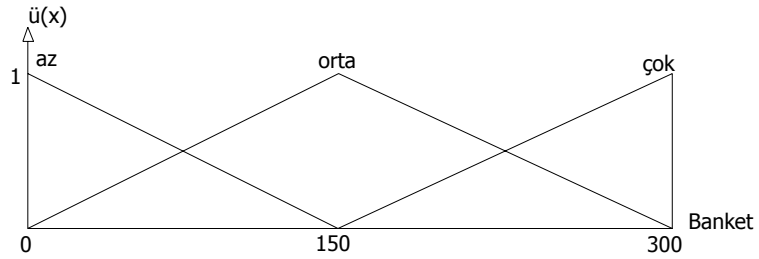
Bulanık mantık modellerinde sayısal olarak dikkate alınan değişkenler üyelik fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Ancak kural yazımında sözel değişkenler de kullanılmıştır. Şekil 4.2, 4.3, 4.4, ve 4.5 üstyapı bozulma nedenlerinden sadece sayısal olarak ifade edilenlere ait bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



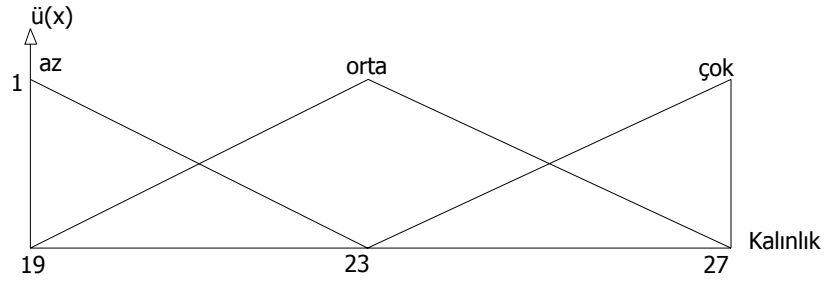
Şekil 4.2. Eşdeğer dingil yükü sayısının bulanık mantık üyelik fonksiyonu



Şekil 4.3. İklim girdisinin bulanık mantık üyelik fonksiyonu

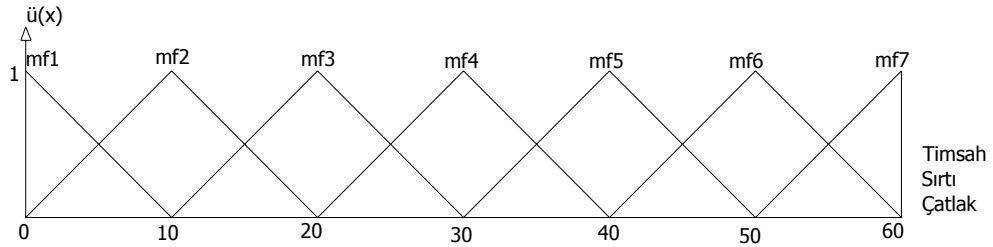


Şekil 4.4. Banket genişliğinin bulanık mantık üyelik fonksiyonu

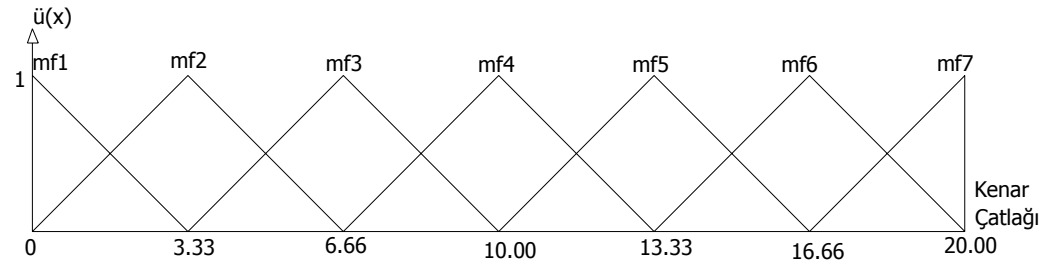


Şekil 4.5. Üstyapı kalınlığının bulanık mantık üyelik fonksiyonu

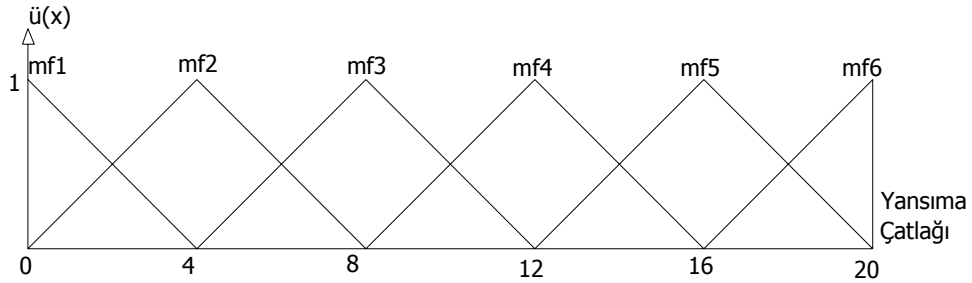
Şekil 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 ve 4.20 ise üstyapı bozulmalarına ait bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



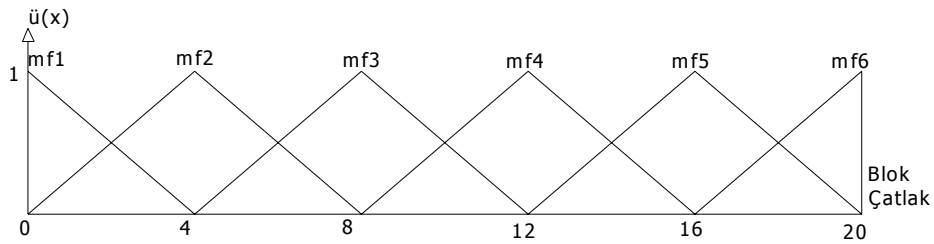
Şekil 4.6. Timsah sırtı çatlak üyelik fonksiyonu



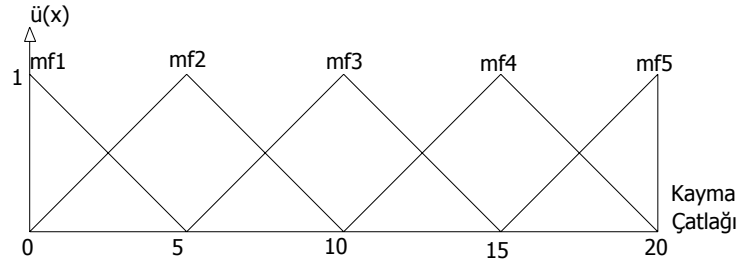
Şekil 4.7. Kenar çatlağı üyelik fonksiyonu



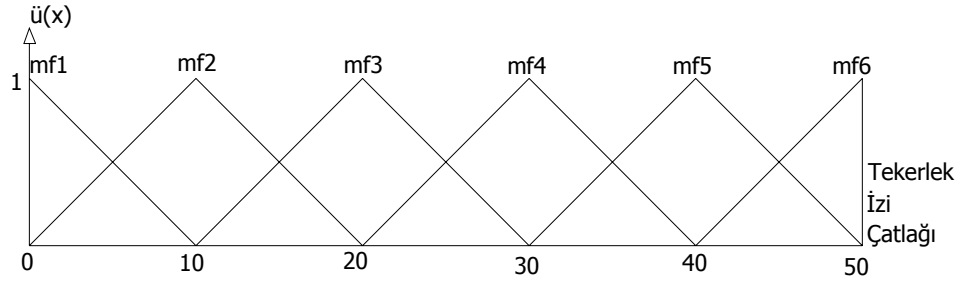
Şekil 4.8. Yansıma çatlağı üyelik fonksiyonu



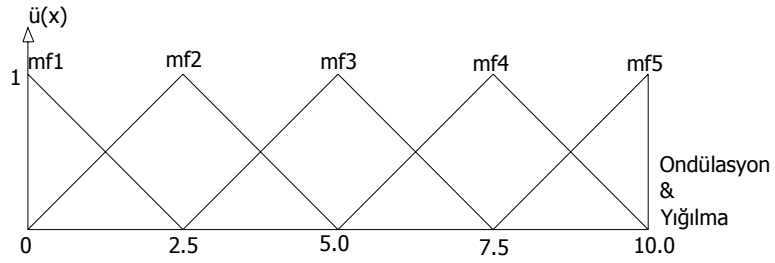
Şekil 4.9. Blok çatlak üyelik fonksiyonu



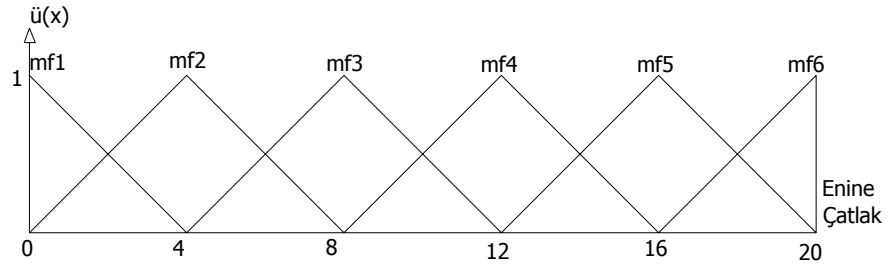
Şekil 4.10. Kayma çatlakı üyelik fonksiyonu



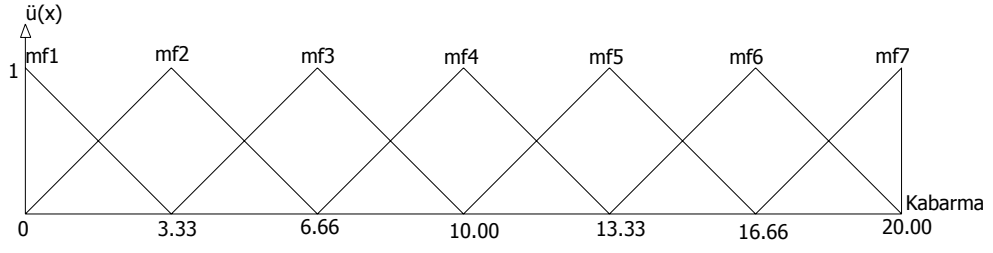
Şekil 4.11. Tekerlek izi çatlak üyelik fonksiyonu



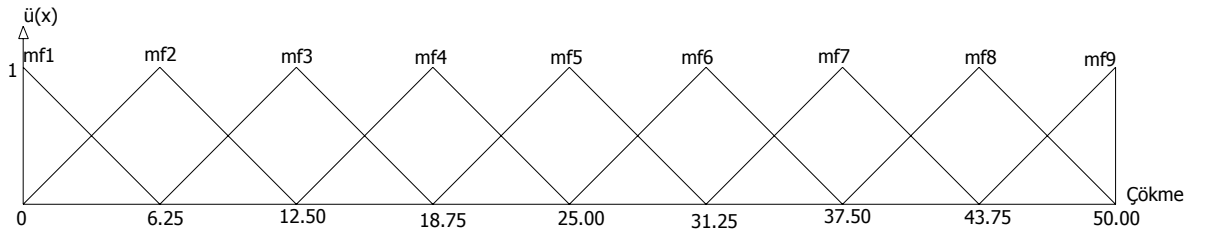
Şekil 4.12. Ondüle ve yığılma üyelik fonksiyonu



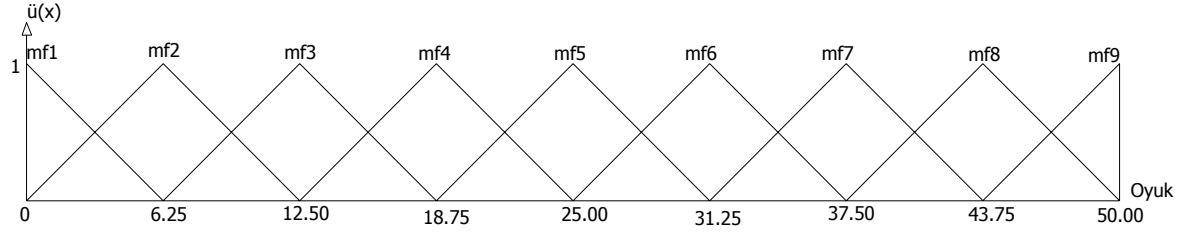
Şekil 4.13. Enine çatlak üyelik fonksiyonu



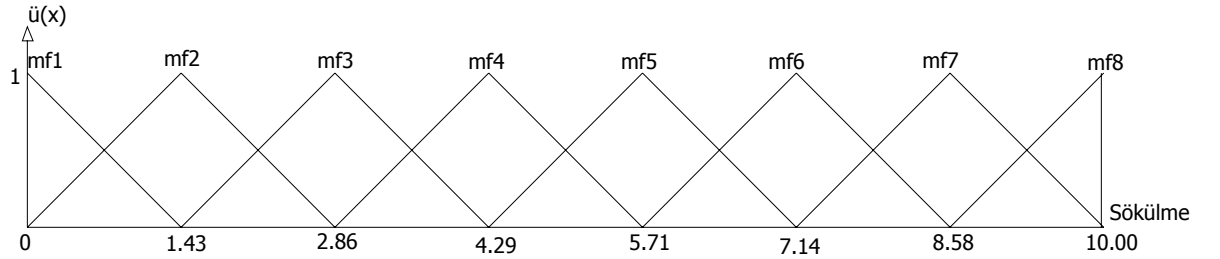
Şekil 4.14. Kabarma üyelik fonksiyonu



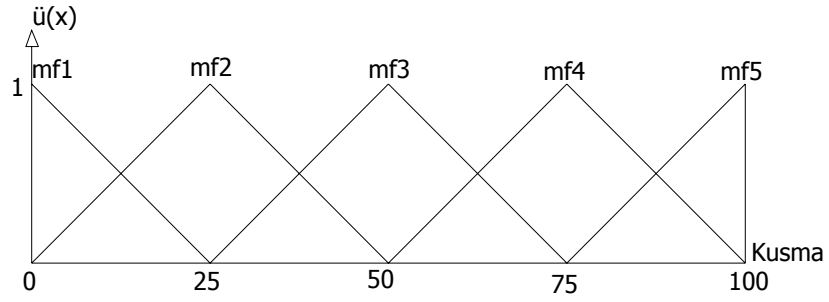
Şekil 4.15. Çökme üyelik fonksiyonu



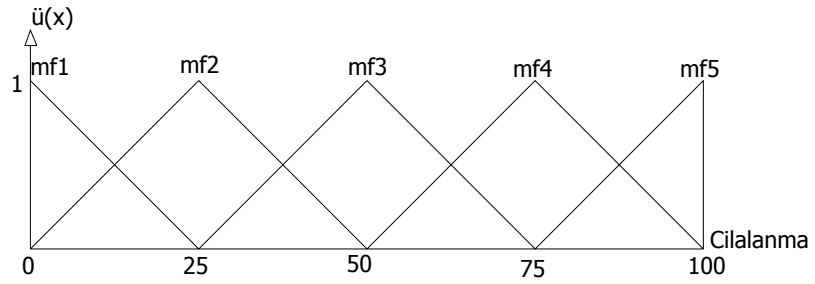
Şekil 4.16. Oyuk üyelik fonksiyonu



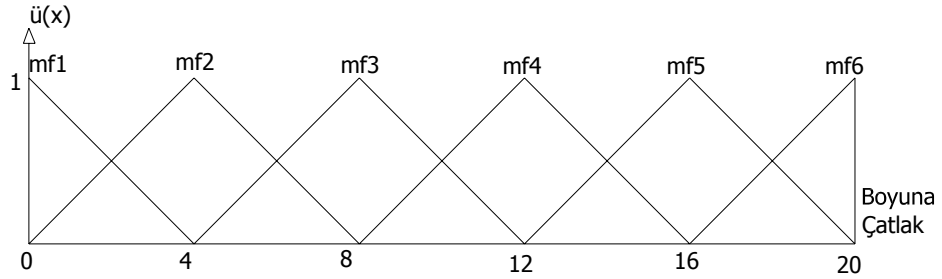
Şekil 4.17. Sökülme üyelik fonksiyonu



Şekil 4.18. Kuma üyelik fonksiyonu

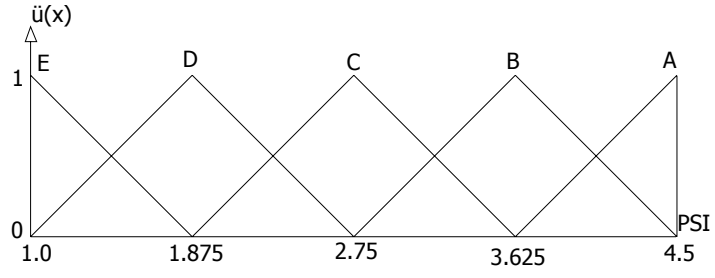


Şekil 4.19. Cilalanma üyelik fonksiyonu



Şekil 4.20. Boyuna çatlak üyelik fonksiyonu

Şekil 4.21 ise üstyapı hizmet yeteneğine ait bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Juang ve Amirkhanian (1992)'dan alınarak yeniden düzenlenen bozulma tiplerinin hizmet yeteneğine etkisi Çizelge 4.2'de görülmektedir. Bulanık mantık modelinde, her bir gruptaki bozulmalardan en yüksek üyelik derecesine sahip olan dikkate alınmıştır.



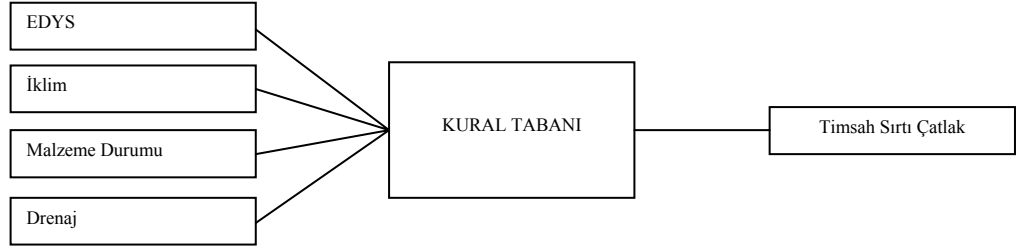
Şekil 4.21. Üstyapı hizmet yeteneği üyelik fonksiyonu

Çizelge 4.2. Bozulma tiplerinin hizmet yeteneğine etkisi

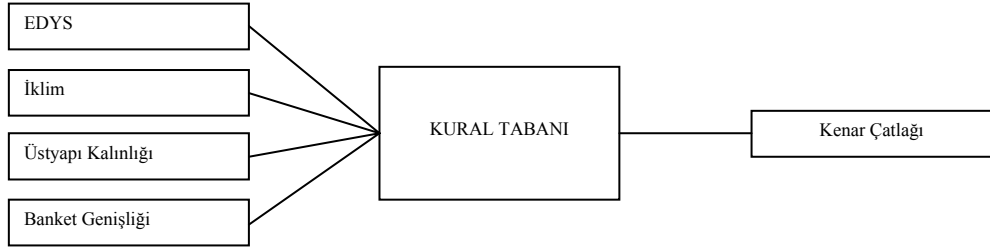
Bozulma Tipi	Ağırlık	
	Tanım	Üyelik Derecesi
Timsah Sırtı Çatlak	En Önemli	E
Tekerlek İzi Oturması	Çok Önemli	D
Oyuk		
Çökme	Önemli	C
Yama		
Blok Çatlağı		
Boyuna Çatlak	Az Önemli	B
Kenar Çatlağı		
Yansıma Çatlağı		
Kayma Çatlağı		
Enine Çaylak		
Ondüle	Çok Az Önemli	A
Kusma		
Sökülme		
Cilalanma		
Şişme-Büzülme		

4.1.2.2. Geliştirilen Alt Modeller

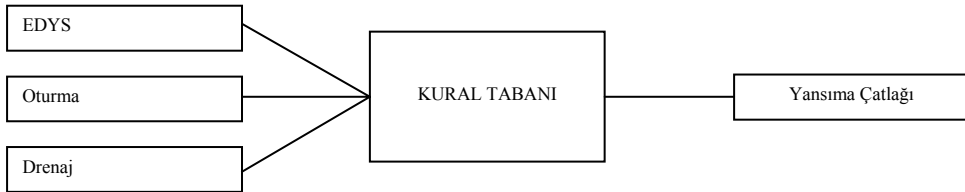
İlk modelin girdisi olan bozulma nedenlerinin tümünün her bir bozulma türünün oluşumuna neden olmayacağı açıktır. Bu nedenle, her bir bozulma için ayrı ayrı alt modeller geliştirilmiştir. Bu modeller, Şekil 4.22, 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31, 4.32, 4.33, 4.34, 4.35 ve 4.36’da görülmektedir.



Şekil 4.22. Timsah sırtı çatlak alt modeli



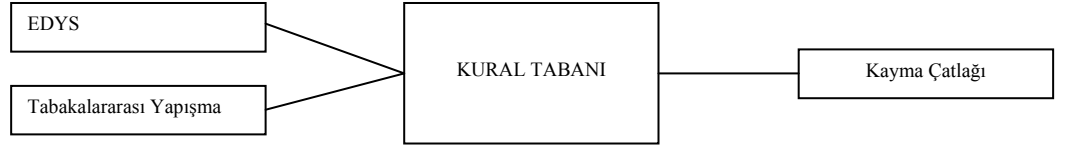
Şekil 4.23. Kenar çatlağı alt modeli



Şekil 4.24. Yansıma çatlağı alt modeli



Şekil 4.25. Büzülme çatlağı alt modeli



Şekil 4.26. Kayma çatlağı alt modeli



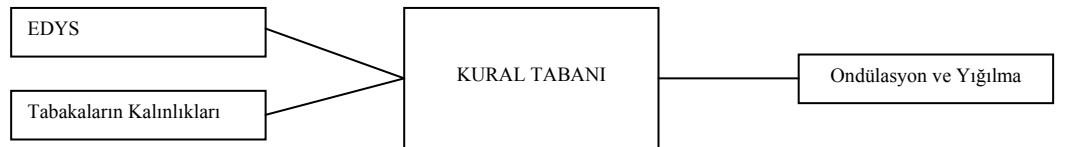
Şekil 4.27. Boyuna çatlak alt modeli



Şekil 4.28. Enine çatlak alt modeli



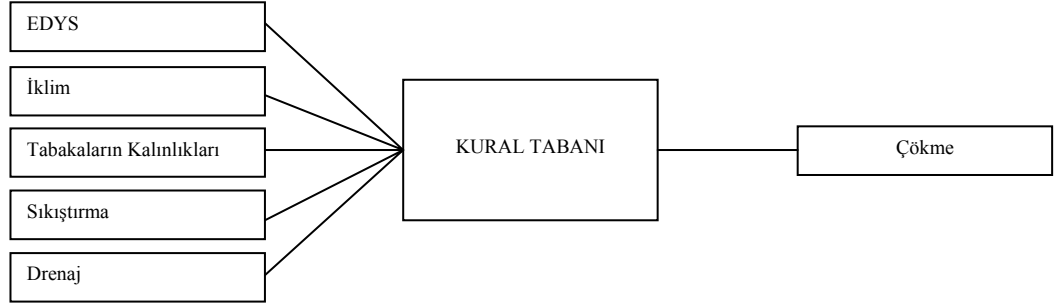
Şekil 4.29. Tekerlek izi çatlağı alt modeli



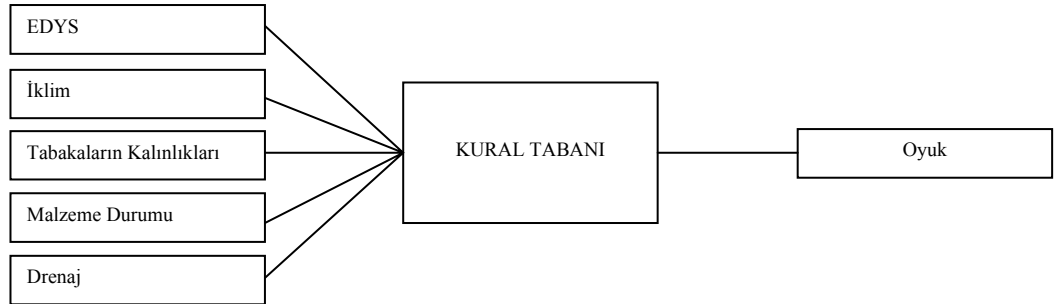
Şekil 4.30. Ondüle ve yığılma alt modeli



Şekil 4.31. Kabarma alt modeli



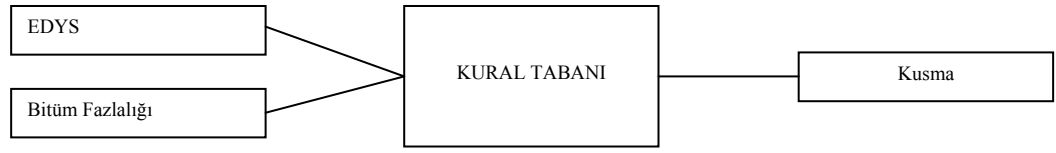
Şekil 4.32. Çökme alt modeli



Şekil 4.33. Oyuk alt modeli



Şekil 4.34. Sökülme alt modeli



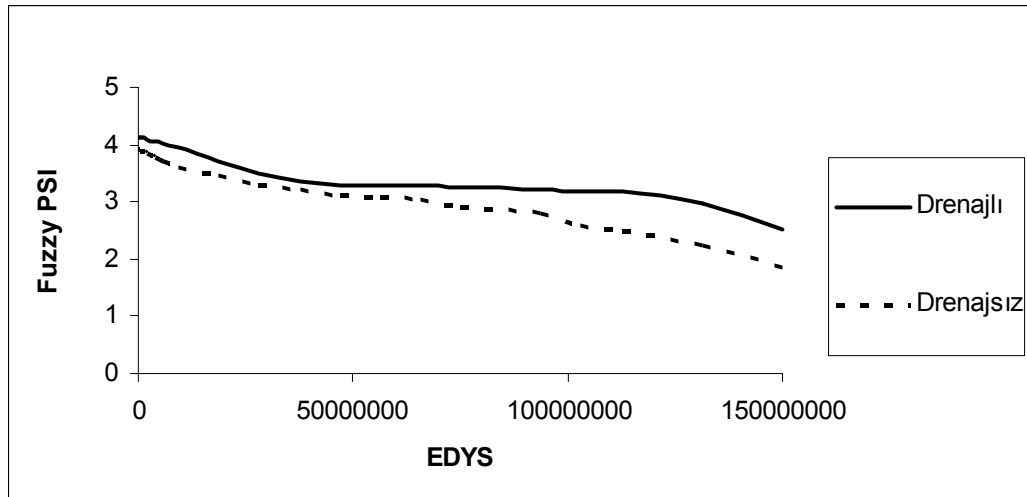
Şekil 4.35. Kusma alt modeli



Şekil 4.36. Cilalanma alt modeli

4.1.2.3. Bozulma etkenlerinin hizmet yeteneğine etkisi

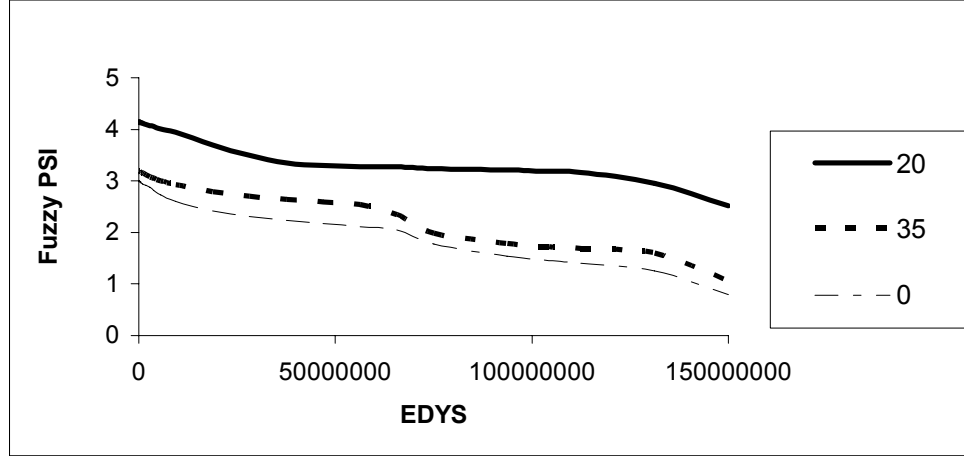
Modellemeden sonra, bozulmalara neden olan etkenlerin hizmet yeteneğine olan etkisini incelemek amacıyla eşdeğer dingil yükü değerine bağlı olarak her biri için grafikler oluşturulmuştur. Şekil 4.37, drenajın hizmet yeteneğine olan etkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi drenajın olmaması hizmet yeteneği değerinin özellikle yüksek EDYS değerlerinde aşırı kaybına neden olmaktadır.



Şekil 4.37. Drenajın hizmet yeteneğine olan etkisi

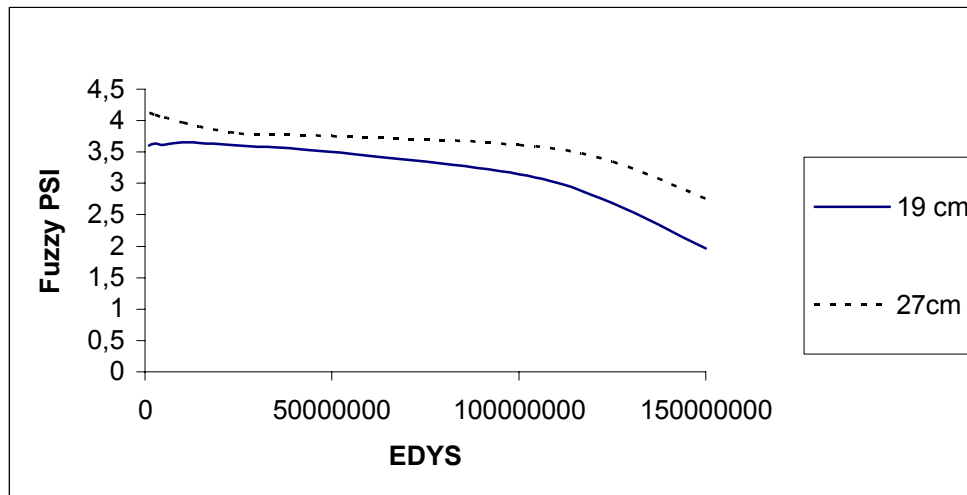
Şekil 4.38 ise, çeşitli sıcaklık değerlerinin (0, 20 ve 35 °C) hizmet yeteneğine olan etkisini göstermektedir. Şekilde, normal sıcaklık olarak kabul edilen 20 °C'de yüksek

olan hizmet yeteneğinin, daha yüksek ve daha düşük sıcaklıklarda (don ve aşırı sıcak nedeniyle) düştüğü görülmektedir. Özellikle aşırı düşük sıcaklıklarda don oluşumu üstyapıya daha fazla zarar verdiği için grafikte de görüldüğü gibi aşırı sıcak değerden daha fazla performans kaybına neden olmuştur.



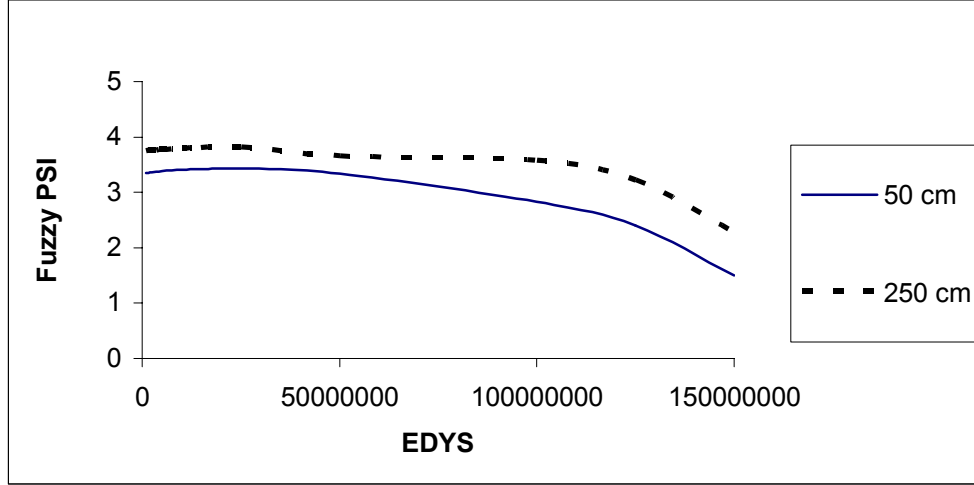
Şekil 4.38. Çeşitli sıcaklık değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi

Üstyapı bozulmalarına neden olan başlıca etkenlerden biri de üstyapının kalınlık değeridir. Üstyapı tabakalarının kalınlıkları toplamı ile hizmet yeteneği arasındaki ilişki Şekil 4.39'da verilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi üstyapı tabakalarının kalınlıkları toplamı arttıkça hizmet yeteneği değeri de artmaktadır.



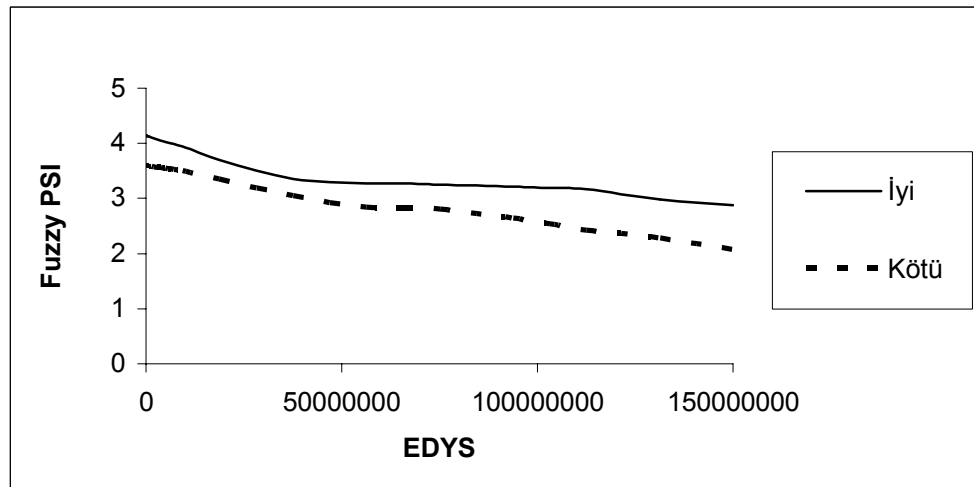
Şekil 4.39. Çeşitli üstyapı kalınlık değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi

Üstyapı bozulmalarından özellikle kenar çatlağının oluşmasında çok önemli bir etken olan banket genişliğinin hizmet yeteneği ile olan ilişkisi Şekil 4.40'da görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi banket genişliğinin artması hizmet yeteneğinin de artmasına neden olmaktadır.



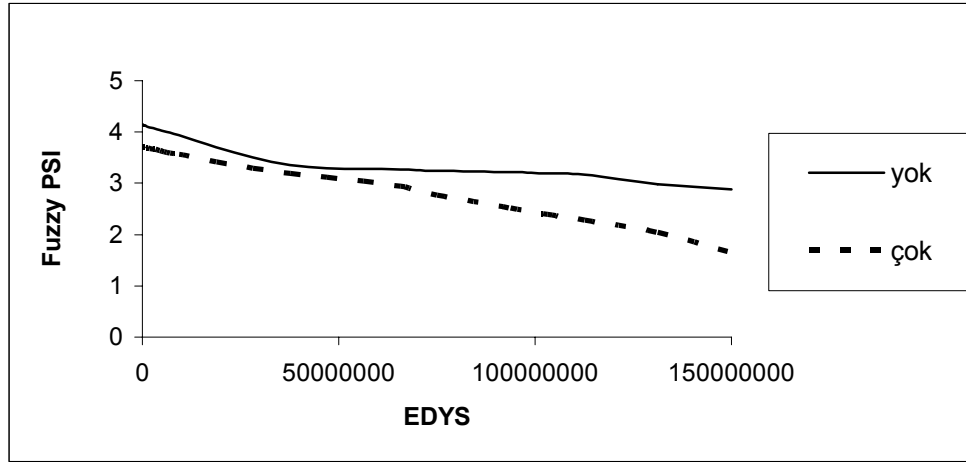
Şekil 4.40. Çeşitli banket genişliği değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi

Üstyapı malzemelerinin kalitesi de hizmet yeteneği değerinin değişiminde etken etkenlerden biridir. Şekil 4.41, iyi ve kötü (dayanım ve aşınma açısından) malzemelerin hizmet yeteneğine olan etkisini göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, kötü durumdaki malzemenin kullanılması hizmet yeteneğinin daha kötü durumda olmasına neden olmaktadır.



Şekil 4.41. Malzeme durumunun hizmet yeteneğine olan etkisi

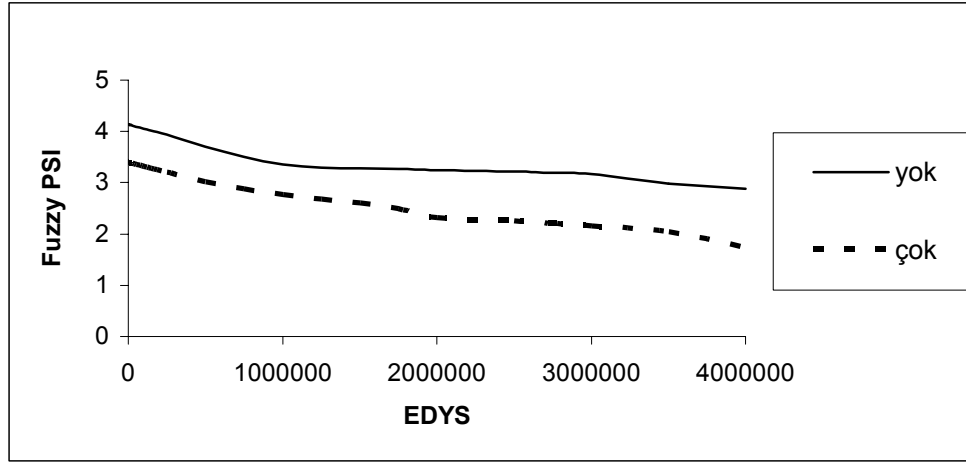
Üstyapının inşa edildiği zeminde meydana gelebilecek olan şişme-büzülme varlığı, üstyapının hizmet yeteneği değerini de etkilemektedir. Şekil 4.42, üstyapı zemininde şişme-büzülme durumunun var olmaması ve çok olması durumunda hizmet yeteneği değerinin eşdeğer dingil yüküne göre alacağı değeri göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi şişme-büzülme varlığı özellikle eşdeğer dingil yükü sayısının çok olması durumunda hizmet yeteneğini aşırı derecede etkilemektedir.



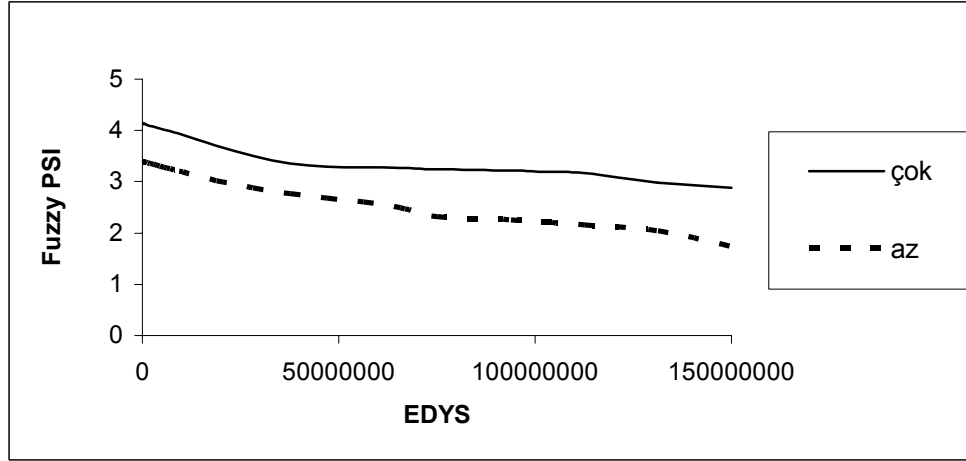
Şekil 4.42. Şişme-büzülme durumunun hizmet yeteneğine olan etkisi

Üstyapı zemininden dolayı meydana gelebilecek bir oturma, hizmet yeteneğini önemli ölçüde etkiler. Şekil 4.43, üstyapıda oturmanın olmaması ve çok olması durumunda hizmet yeteneğinin eşdeğer dingil yükü sayısına göre alacağı değerleri göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, oturma hizmet yeteneğini olumsuz olarak etkilemektedir.

Özellikle kış aylarında veya yağmurlu havalarda inşa edilen üstyapılarda, tabakalar arasında yapışma problemi meydana gelmektedir. Bu durum, beraberinde birçok üstyapı bozulmasını ve bunun doğal bir sonucu olarak da hizmet yeteneğinin düşmesini getirmektedir. Şekil 4.44, yapışmanın az ve çok olması durumunda eşdeğer dingil yükü sayısına bağlı olarak hizmet yeteneğinin alacağı değeri göstermektedir.

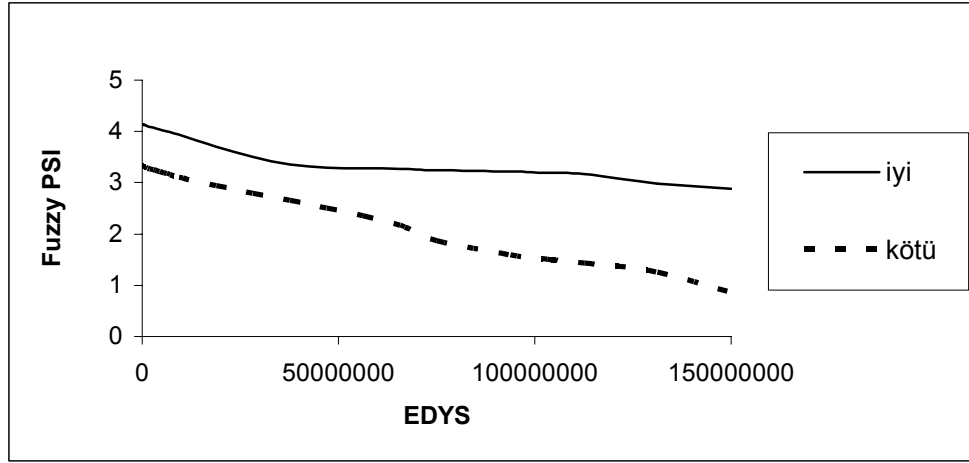


Şekil 4.43. Oturma durumunun hizmet yeteneğine olan etkisi



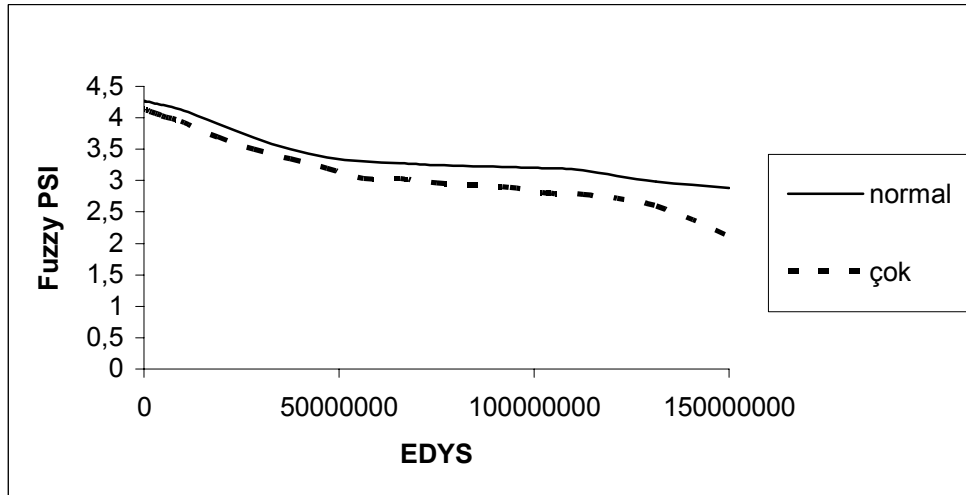
Şekil 4.44. Üstyapı tabakaları arasındaki yapışmanın hizmet yeteneğine olan etkisi

Üstyapı tabakaları arasındaki yapışmayı sağlayan en önemli etken sıkıştırımadır. Yeterince sıkışmamış bir üstyapı kısa zamanda bozulabilir. Şekil 4.45, iyi ve kötü sıkıştırılmış üstyapıların eşdeğer dingil yükü sayısına göre hizmet yeteneğinin alacağı değeri göstermektedir.



Şekil 4.45. Sıkıştırmanın hizmet yeteneğine olan etkisi

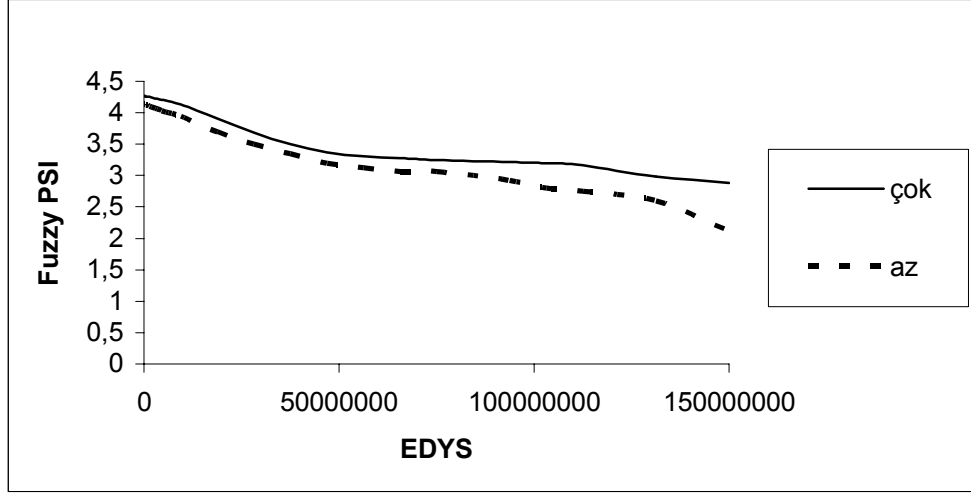
Esnek üstyapılarda bağlayıcı olarak kullanılması zorunlu olan bitüm, fazla kullanıldığında ise çeşitli bozulmalara neden olmaktadır. Şekil 4.46, normal ve aşırı miktarda kullanılan bitümün hizmet yeteneğine olan etkisini eşdeğer dingil yükü sayısına göre göstermektedir. Şekilden de görüldüğü gibi özellikle eşdeğer dingil yükü sayısının az ve çok olduğu durumlarda hizmet yeteneğinin bitüm oranının fazla kullanılması durumunda düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.46. Bitüm oranının hizmet yeteneğine olan etkisi

Üstyapıda kullanılan agreganın dayanımı, hizmet yeteneğinin düşmesinde önemli etkenlerden biridir. Özellikle cilalanmaya neden olan agrega dayanımının hizmet

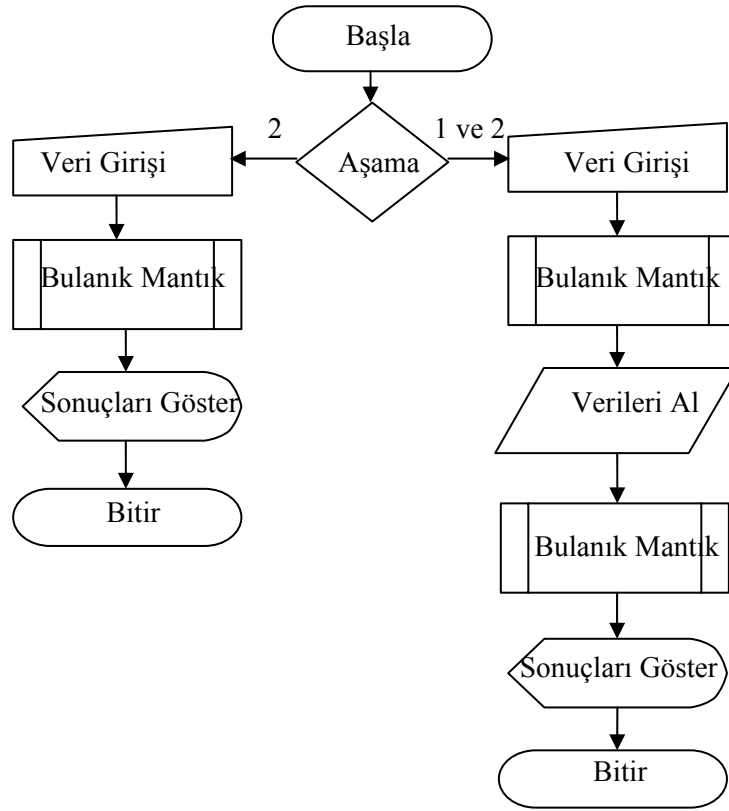
yeteneğine olan etkisi, eşdeğer dingil yükü sayısına bağlı olarak Şekil 4.47’de görülmektedir.



Şekil 4.47. Agrega dayanımının hizmet yeteneğine olan etkisi

4.1.2.4. Geliştirilen Bilgisayar Programı ve Örnek Çözüm

Yukarıda bahsedilen alt modelleri tek bir model olarak birleştirmek amacıyla bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bilgisayar programı için kullanılan programlama dili Visual Basic’dir. Yazılan bu bilgisayar programında, hesaplamalarda bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Bilgisayar programına ait algoritma Şekil 4.48’de verilmiştir. Şekil 4.49, ise bu bilgisayar programının örnek bir çözümüne ait kullanıcı ara birimini göstermektedir.



Şekil 4.48. Bilgisayar programının algoritması

Bulanık Mantık Yöntemiyle PSI Tahmini

Yol Bilgileri
 Yol Adı= D100 Yola Daha Önce Takviye Tabakası Yapılmış mı?
 Kesim= 1 Evet Hayır

Bozulma Nedenleri

Eşdeğer Dingil Yükü Sayısı	Drenaj	Malzeme	İklim	Sisme-Buzulma	Banket Genişliği	Üstyapı Kalınlığı	Oturma	Tabakalararası Yapışma	Sıkıştırma	Bitüm Yüzdesi	Agrega Dayanımı
10000	Yeterli	Orta	20	Az	150	6.25	Az	Çok	İyi	Az	Çok

Bozulmalar

Timsah Sırtı Çatlak	Kenar Çatlağı	Yansıma Çatlağı	Büzülme Çatlağı	Kayma Çatlağı	Boyuna Çatlak	Enine Çatlak	Tekerlek İzi Bozulması	Ondüle ve Yığılma	Kabarma	Çökme	Dyuk	Sökülme	Kusma	Cıltalanma	Yama
1.09026	6.6	5.9633	5.9633	8.39178	9.99986	5.9633	24.9996	3.74991	4.94989	9.37479	12.499	1.43	19.907	19.907	10

Bozulmaları Hesapla **PSI Hesapla** Çıkış **PSI = 3.29777%** Sonuçları Kaydet Değerleri Sıfırla

Şekil 4.49. Bilgisayar programının örnek bir çözümüne ait kullanıcı ara birimi

4.1.2.5. Sonuçlar ve Karşılaştırma

Literatürde bir çok performans tahmin modeli bulunmaktadır. Bu modeller genel olarak şunlardır: Lineer azalan tahmin modeli, Regresyon (Ampirik) Modeli, Mekanistik-Ampirik Model, En Küçük Kareler Yöntemi ile Polinom Modeli, S-Şekilli Eğiriler, Olasılık Dağılımı, Markov Modeli ve Yapay Zeka Modelleridir.

Yukarıda bahsedilen modellerden lineer azalan tahmin modeli dışındakilerin neredeyse hepsi mekanistik ölçüm gerektiren en az bir değişkene bağlıdır. Olasılık dağılımı, Markov Modeli ve Yapay Zeka Modellerinden Yapay Sinir Ağları Modelleri ise uzun yıllar düzenli ölçüm gerektiren bir veri tabanına gereksinim duyar. Ayrıca bu yöntemlerle geliştirilen bir model de, veri tabanına ait kesime özgü olacağından farklı kesimlerde veya ağlarda hatalı sonuçlar vermesi kaçınılmazdır.

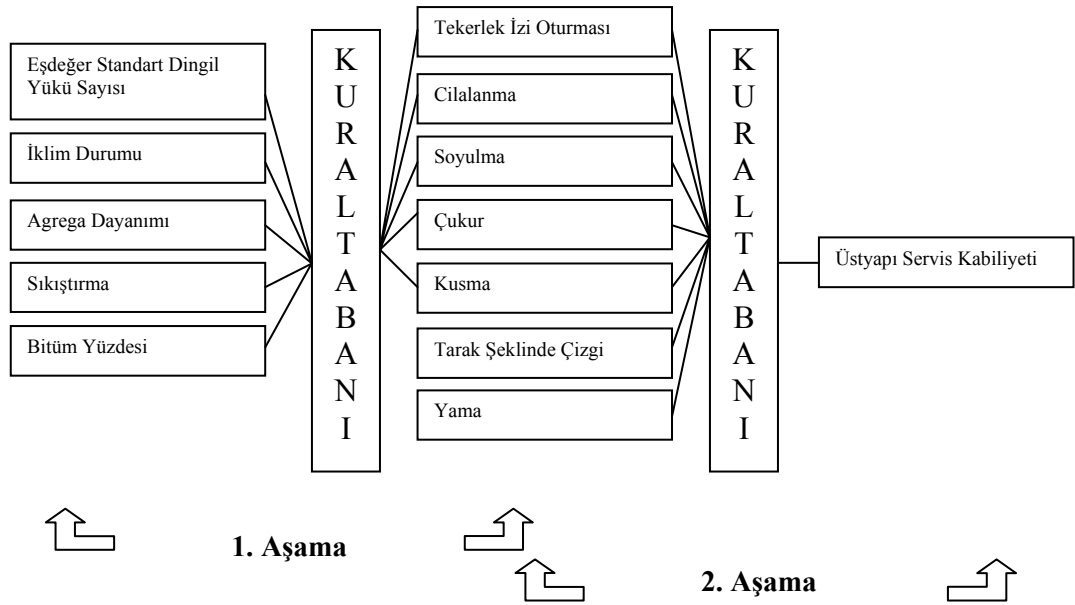
Bir diğer önemli husus ta, yukarıda verilen modellerin (yapay zeka modelleri hariç) hizmet yeteneğini etkileyen tüm etkenleri dikkate almamasıdır. Bu modeller, sadece bazı etkenleri dikkate alarak (örneğin sadece düzgünsüzlük), bu etkenler arasında bir katsayı geliştirmişlerdir. Oysa, üstyapıda oluşan tüm bozulmalar hizmet yeteneğini etkiler ve bu bozulmalara da bir çok etken etki eder. Kullanılacak gerçekçi bir modelin tüm bu etkenleri dikkate alması gerekir.

Bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen model ise, hem üstyapıda oluşabilecek tüm bozulmaları, hem de bu bozulmalara neden olabilecek tüm etkenleri dikkate almaktadır. Böylece incelenen üstyapının mevcut performansı tahmin edilebilirken, aynı zamanda gelecekte beklenen trafiğe göre performans tahmini de yapılabilmektedir.

Geliştirilen model, daha önce bahsedilen modellerden farklı olarak hem bir çok etkeni dikkate aldığı, hem de mekanistik ölçüm sonuçları kullanmadığı için doğrudan karşılaştırma yapılamamıştır. Özellikle ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde mekanistik ölçüm yapabilecek cihazların az bulunması veya bulunmaması nedeniyle, geliştirilen modelin oldukça kullanışlı olacağı düşünölmektedir. Fakat modelin, her ülkenin gereksinimlerine bağlı olarak kalibre edilmesi gerekebilir.

4.1.3. Sathi Kaplamalı Üstyapılar için Performans Tahmin Modeli Geliştirilmesi ve Özellikleri

Üstyapı Durum Tahmini için geliştirilen modelin genel yapısı Şekil 4.50’de görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, asfalt üstyapılar için geliştirilen modelde olduğu gibi iki aşamalı bir Bulanık Mantık Modeli geliştirilmiştir. Üstyapıda bozulmalara neden olan ve mekanistik ölçüm gerektirmeyen tüm etkenler ilk modelin girdisi olarak dikkate alınmıştır. Bir asfalt üstyapıda oluşabilecek tüm bozulmalar ilk modelin çıktısı ve aynı zamanda ikinci modelin de girdisi olarak düşünülmüştür. Bu modelin çıktısı ise, üstyapının hizmet yeteneği indeksi değeridir.



Şekil 4.50. Modelin genel yapısı

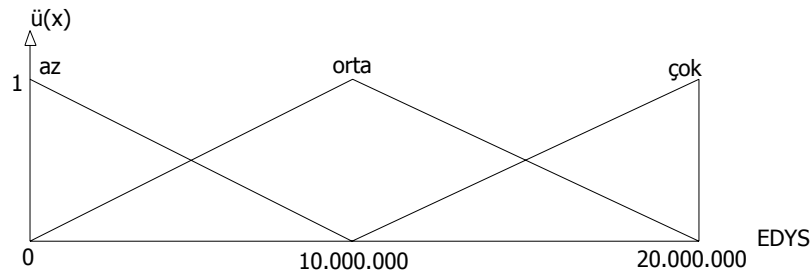
Çizelge 4.3, Sathi Kaplamalı üstyapılar için dikkate alınan değişkenleri ve özelliklerini göstermektedir.

Çizelge 4.3. Modelde dikkate alınan değişkenler ve özellikleri

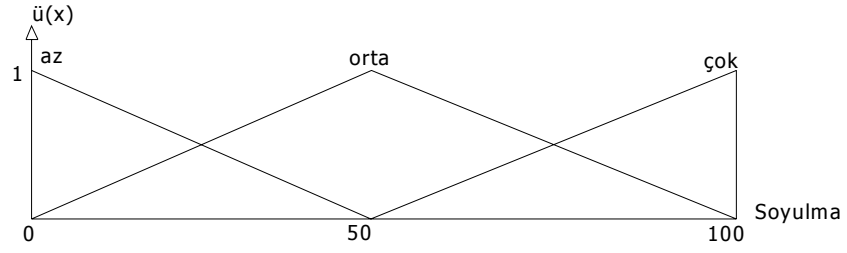
Değişken	Değerlendirme	Aralık (maks-min)	Birim
Eşdeğer Standart Dingil Yüğü Sayısı	Sayısal	0-20.000.000	Adet
İklim Durumu	Sayısal	0-40	°C
Sıkıştırma Eksikliği	Sözel	Kötü-Orta-İyi	
Bitüm Yüzdesi	Sözel	Az-Orta-Çok	
Agrega Dayanımı	Sözel	Az-Orta-Çok	
Tekerlek İzi Oturması	Sayısal	0-50	mm
Çukur	Sayısal	0-50	mm
Tarak Şeklinde Çizgi	Sayısal	0-100	m ²
Soyulma	Sayısal	0-100	m ²
Kusma	Sayısal	0-100	m ²
Cilalanma	Sayısal	0-100	m ²
Yama	Sayısal	0-100	m ²
Hizmet yeteneği Değeri	Sayısal	1,25 – 4,14	

4.1.3.1. Seçilen Değişkenlerin Bulanık Mantık Üyelik Fonksiyonları

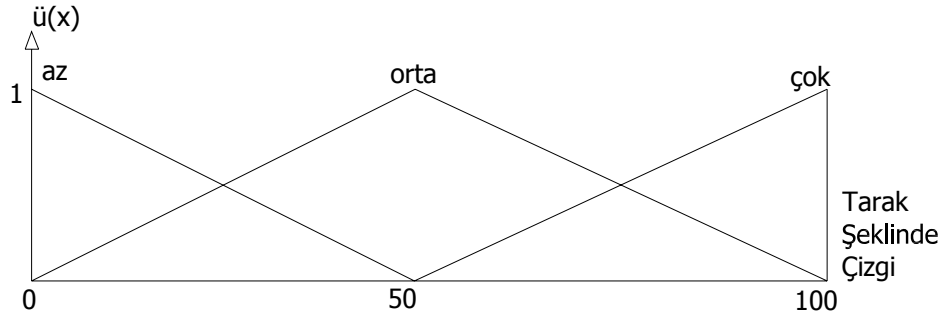
Bu modelde dikkate alınan değişkenlerin bazılarının üyelik fonksiyonları daha önce anlatılan asfalt üstyapı modelinde kullanılanlar ile aynıdır. Üyelik fonksiyonu farklı olan değişkenler, Eşdeğer Dingil Yüğü Sayısı, Soyulma ve Tarak şeklinde çizgidir. Şekil 4.51, 4.52 ve 4.53 bu değişkenlere ait bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını göstermektedir.



Şekil 4.51. Eşdeğer dingil yükü sayısının bulanık mantık üyelik fonksiyonu

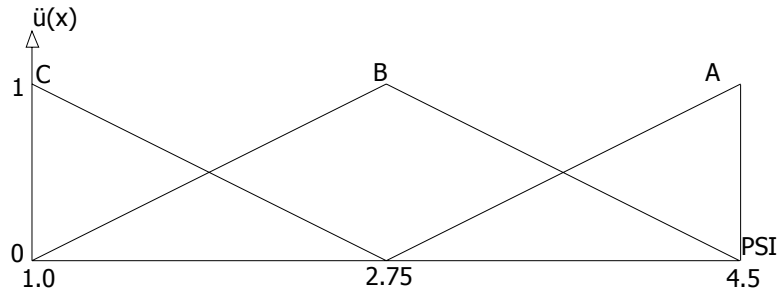


Şekil 4.52. Soyulmanın bulanık mantık üyelik fonksiyonu



Şekil 4.53. Tarak şeklinde çizgi bulanık mantık üyelik fonksiyonu

Şekil 4.54, üstyapı hizmet yeteneğine ait bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Çizelge 4.4 ise, bozulma tiplerinin hizmet yeteneğine etkisini göstermektedir. Bulanık mantık modelinde, her bir gruptaki bozulmalardan en yüksek üyelik derecesine sahip olanı dikkate alınmıştır.



Şekil 4.54. Üstyapı hizmet yeteneği üyelik fonksiyonu

Çizelge 4.4. Bozulma tiplerinin hizmet yeteneğine etkisi

Bozulma Tipi	Ağırlık	
	Tanım	Üyelik Derecesi
Tekerlek İzi Oturması	Çok Önemli	C
Tarak Şeklinde Çizgi		
Çukur		
Yama	Önemli	B
Kusma	Çok Az Önemli	A
Soyulma		
Cıllanma		

4.1.3.2. Geliştirilen Alt Modeller

Cıllanma ve Kusma alt modelleri asfalt üstyapılar bölümünde anlatılanlar ile aynıdır. Soyulma, Çukur ve Tekerlek İzi Oturma alt modelleri Şekil 4.55, 4.56, ve 4.57'de görülmektedir.



Şekil 4.55. Soyulma alt modeli



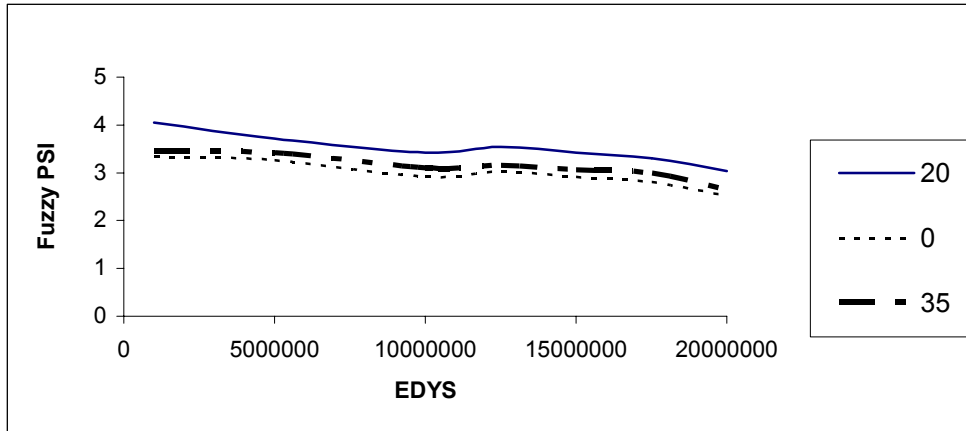
Şekil 4.56. Çukur alt modeli



Şekil 4.57. Tekerlek izi oturma alt modeli

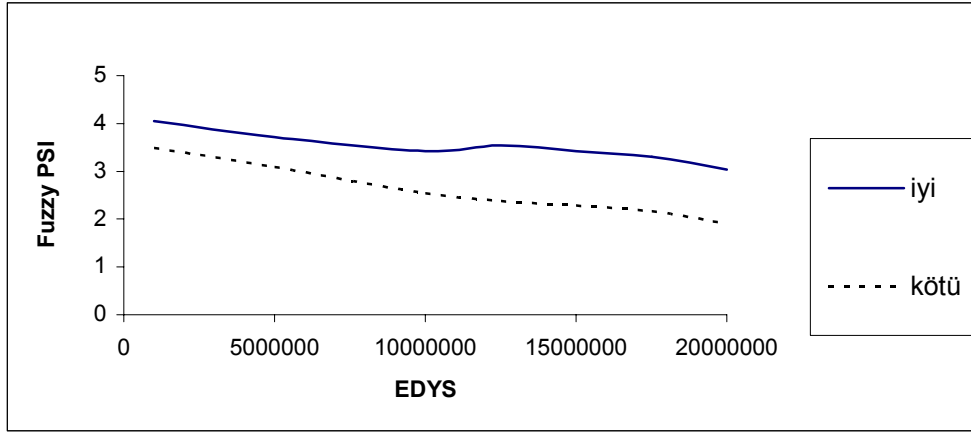
4.1.3.3. Bozulma Etkenlerinin Hizmet Yeteneğine Etkisi

Asfalt üstyapılarda olduğu gibi, sathi kaplamalarda da bozulmalara neden olan etkenler ile hizmet yeteneği arasında eşdeğer dingil yükü sayısına göre grafikler oluşturulmuştur. Şekil 4.58, çeşitli sıcaklık değerlerinin (0, 20 ve 35 °C) hizmet yeteneğine olan etkisini göstermektedir. Grafikten de görüldüğü gibi, normal olarak kabul edilen 20 °C dışındaki soğuk ve sıcak hava koşullarına maruz üstyapılarda hizmet yeteneği daha düşük değerler almaktadır.



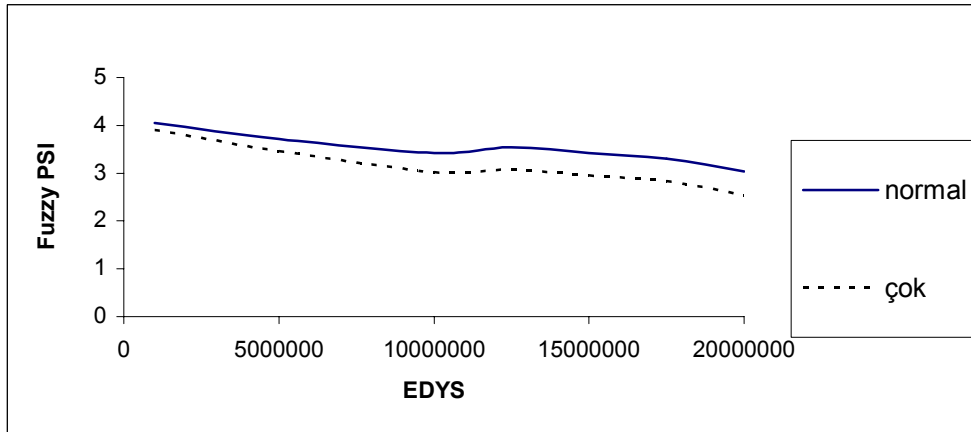
Şekil 4.58. Çeşitli sıcaklık değerlerinin hizmet yeteneğine olan etkisi

Sıkıştırmanın iyi veya kötü olması durumunda oluşacak hizmet yeteneği değerlerinin eşdeğer dingil yükü sayısına bağlı olarak grafiği Şekil 4.59'da görülmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, sıkıştırmanın kötü olması durumunda, hizmet yeteneğinde aşırı derecede düşme meydana gelmektedir.



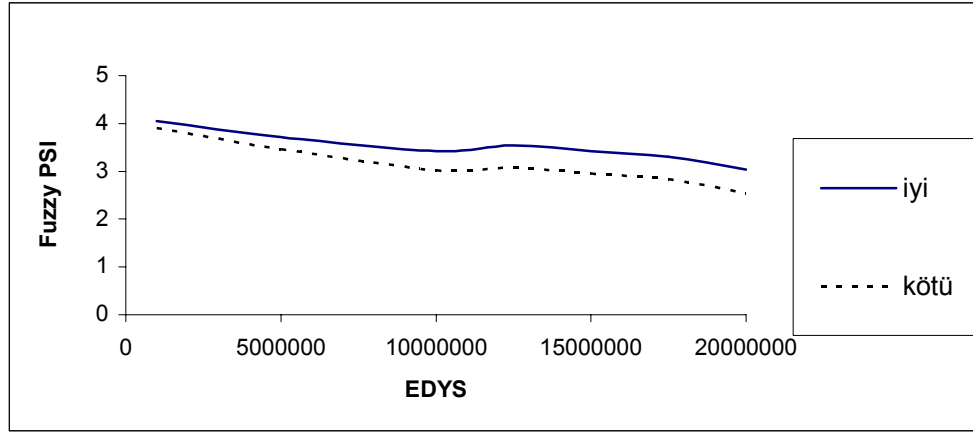
Şekil 4.59. Sıkıştırmanın hizmet yeteneğine olan etkisi

Asfalt üstyapılarda olduğu gibi, bitüm miktarının fazla olması hizmet yeteneğini olumsuz yönde etkilemektedir. Şekil 4.60' ta görüldüğü gibi fazla bitüm miktarı hizmet yeteneğinde olumsuz etkiye neden olmaktadır.



Şekil 4.60. Bitüm oranının hizmet yeteneğine etkisi

Agrega dayanımının hizmet yeteneğine olan etkisi, eşdeğer dingil yükü sayısına bağlı olarak Şekil 4.61'de görülmektedir.



Şekil 4.61. Agrega dayanımının hizmet yeteneğine etkisi

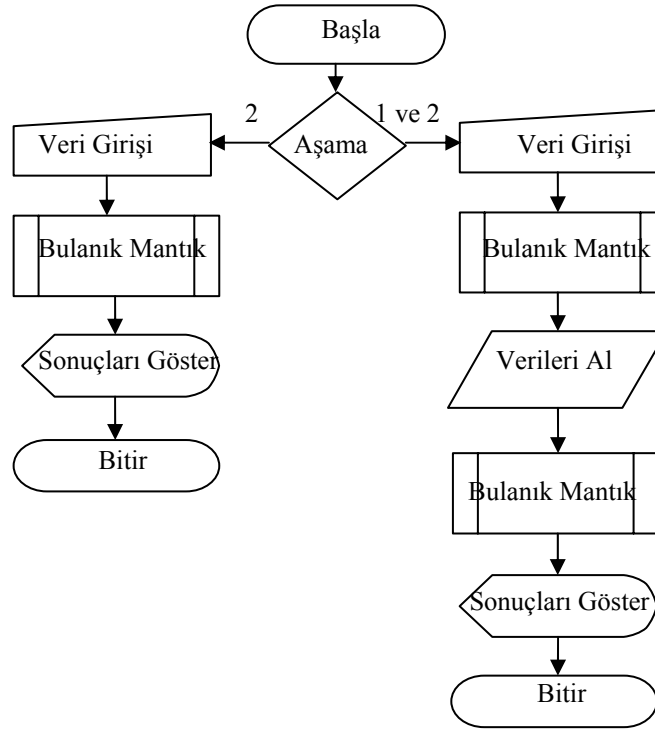
4.1.3.4. Geliştirilen Bilgisayar Programı ve Örnek Çözüm

Yukarıda sözü edilen alt modelleri, tek bir model olarak birleştirmek amacıyla bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bilgisayar programı için kullanılan programlama dili Visual Basic'dir. Yazılan bu bilgisayar programında hesaplamalarda bulanık mantık yöntemi kullanılmıştır. Şekil 4.62, bu bilgisayar programının örnek bir çözümüne ait kullanıcı ara birimini göstermektedir. Bilgisayar programına ait algoritma Şekil 4.63'te verilmiştir.

The screenshot shows the 'Bulanık Mantık Yöntemiyle PSI Tahmini' software interface. It includes input fields for road name and section, and dropdown menus for climate, compaction, bitumen percentage, and aggregate strength. Below these are input fields for various distress types and their frequencies. The interface also features buttons for 'Bozulmaları Hesapla', 'PSI Hesapla', 'Çıkış', 'Sonuçları Kaydet', and 'Değerleri Sıfırla'. The calculated PSI value is displayed as 3,7193.

Yol Bilgileri						
Yol Adı=	D100 Kesim= 1					
Bozulma Nedenleri						
Eşdeğer Dingil Yüklü Sayısı	İklim	Sıkıştırma	Bitüm Yüzdesi	Agrega Dayanımı		
10000000	20	İyi	Az	Çok		
Bozulmalar						
Tekerlek İzi Bozulması	Soyulma	Çukur	Kusma	Cıllanma	Yama	Tarak Şeklinde Çizgi
3,88888	19,444	3,88888	19,907	19,907	0	0
Bozulmaları Hesapla		PSI Hesapla		Çıkış		
Sonuçları Kaydet		PSI = 3,7193		Değerleri Sıfırla		

Şekil 4.62. Bilgisayar programının örnek bir çözümüne ait kullanıcı ara birimi



Şekil 4.63. Bilgisayar programının algoritması

4.1.3.5. Sonuçlar ve Karşılaştırma

Literatürde sathi kaplamalı üstyapılar için tasarlanmış veya uygulanan herhangi bir performans tahmin modeli olmadığından, model sonuçları karşılaştırılamamıştır. Bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen model, hem üstyapıda oluşabilecek tüm bozulmaları, hem de bu bozulmalara neden olabilecek tüm etkenleri dikkate almaktadır. Böylece hem incelenen üstyapının mevcut performansı tahmin edilebilirken, aynı zamanda gelecekte beklenen trafiğe göre performans tahmini de yapılabilmektedir.

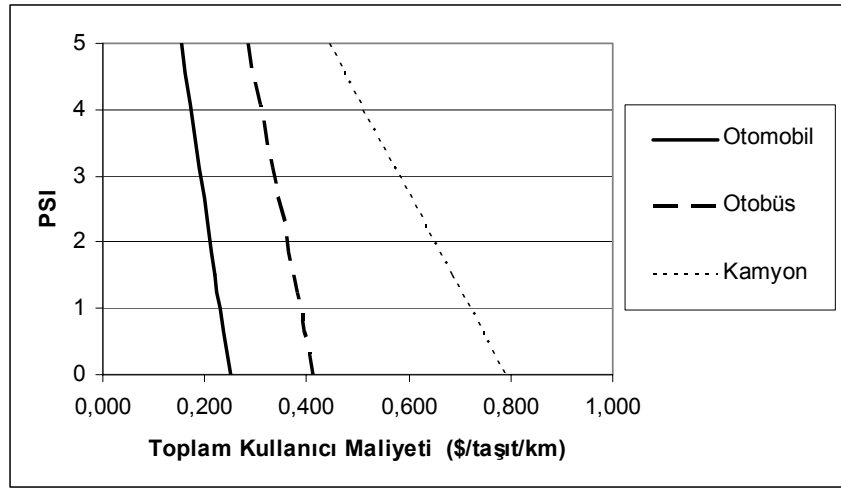
4.2. Optimizasyon Çalışması ile Önceliklerin Belirlenmesi

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.

4.2.1. 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 4.64, kaza maliyeti dışındaki kullanıcı faydalarını göstermektedir.



Şekil 4.64. Hizmet yeteneği değerine göre taşıt işletme maliyetleri

Kaza maliyetleri ise, Little vd. (1997)'den alınmıştır. Çizelge 4.5, 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 değer daha yüksek olduğu düşünülmektedir. Buna karşın çalışmada KGM (2002)'de belirtilen şehirlerarası yollar için üstyapıdan kaynaklanan kusur oranı olan % 0,69 kullanılmıştır.

Çizelge 4.5. Kaza maliyetleri (Little vd., 1997)

Kaza Tipi	Kaza başına maliyet (\$)
Ölümlü kazalar	2,709,000
Yaralanmalı kazalar	24,800
Maddi hasarlı kazalar	2,100

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. Çizelge 4.6, çalışmada dikkate alınan B ve R yöntemleri ve bu yöntemlerin uygulanmasıyla elde edilecek ilave ömür değerlerini göstermektedir.

Çizelge 4.6. 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

4.2.2. Maliyetlerin Belirlenmesi

Optimizasyon araştırmasında, 15 farklı bakım ve rehabilitasyon yöntemi dikkate alınmıştır. Bu yöntemler ve birim maliyetleri, Çizelge 4.7’de verilmiştir. Bu yöntemlere ait maliyetler de kaynaklardan alınmıştır.

Çizelge 4.7. 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

4.2.3. 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:

$$\text{Max} \sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \left(\frac{1}{(1+d)^t} \right) * (UC_{rst} * AL_r) \quad (4.1)$$

Burada, R bakım ve onarım seçeneklerinin sayısını, S ağdaki 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.

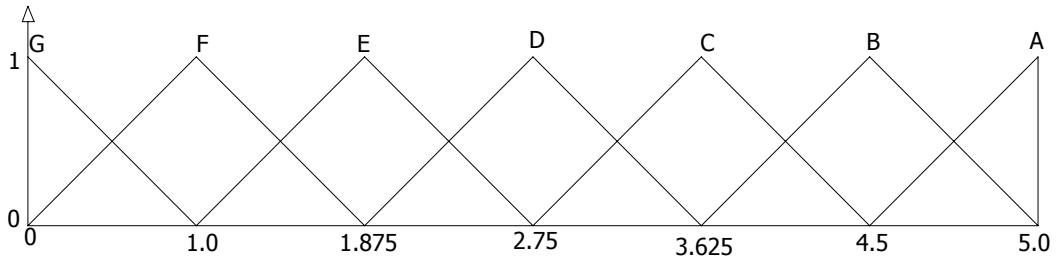
4.2.4. Kısıtlar

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 4.2'de görülmektedir.

$$\sum_{r=1}^R \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T AC_{rst} \leq B_t \quad (4.2)$$

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 4.65 ve Çizelge 4.8, PSI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımlarını göstermektedir. Çizelge 4.9 ise, önem derecelerine göre seçilebilecek B ve R seçeneklerini göstermektedir.



Şekil 4.65. PSI değerlerinin önem dereceleri

Çizelge 4.8. PSI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımları

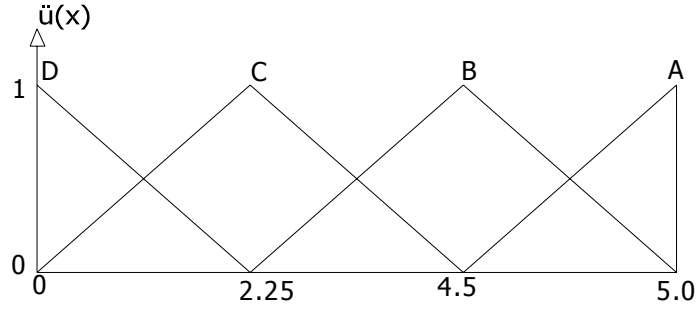
Ağırlık		PSI Değeri
Tanım	Önem Derecesi	
Aşırı derecede önemli	G	0,000 – 1,000
Çok önemli	F	0,000 – 1,875
Biraz önemli	E	1,000 – 2,750
Önemli	D	1,875 – 3,625
Az önemli	C	2,750 – 4,500
Çok az önemli	B	3,625 – 5,000
Önemsiz	A	4,500 – 5,000

Çizelge 4.9. Önem derecelerine göre B ve R seçenekleri

Önem Derecesi	Seçilebilecek B ve R Yöntemleri
A	1
B	1 – 2 – 3 – 4
C	1 – 2 – 3 – 4 – 5
D	1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 6 – 7
E	1 – 5 – 6 – 7 – 8 – 9
F	1 – 10 – 11 – 12 – 13
G	1 – 13

4.2.5. Sathi Kaplamalı Üstyapılar için Optimizasyon

Sathi kaplamalı üstyapılarda, asfalt üstyapılarda kullanılan amaç fonksiyonu ve bütçe kısıtı aynen kullanılır. Üstyapı hizmet yeteneği değerine göre uygulanacak yöntemin seçiminde kullanılan PSI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımları, Şekil 4.66 ve Çizelge 4.10.'da görülmektedir. Çizelge 4.11 ise, önem derecelerine göre seçilebilecek B ve R seçeneklerini göstermektedir.



Şekil 4.66. PSI değerlerinin önem dereceleri

Çizelge 4.10. PSI değerlerine göre önem dereceleri ve tanımları

Ağırlık		PSI Değeri
Tanım	Önem Derecesi	
Aşırı derecede önemli	D	0,000 – 2,250
Önemli	C	0,000 – 4,500
Az önemli	B	2,250 – 4,500
Önemsiz	A	4,500 – 5,000

Çizelge 4.11. Önem derecelerine göre B ve R seçenekleri

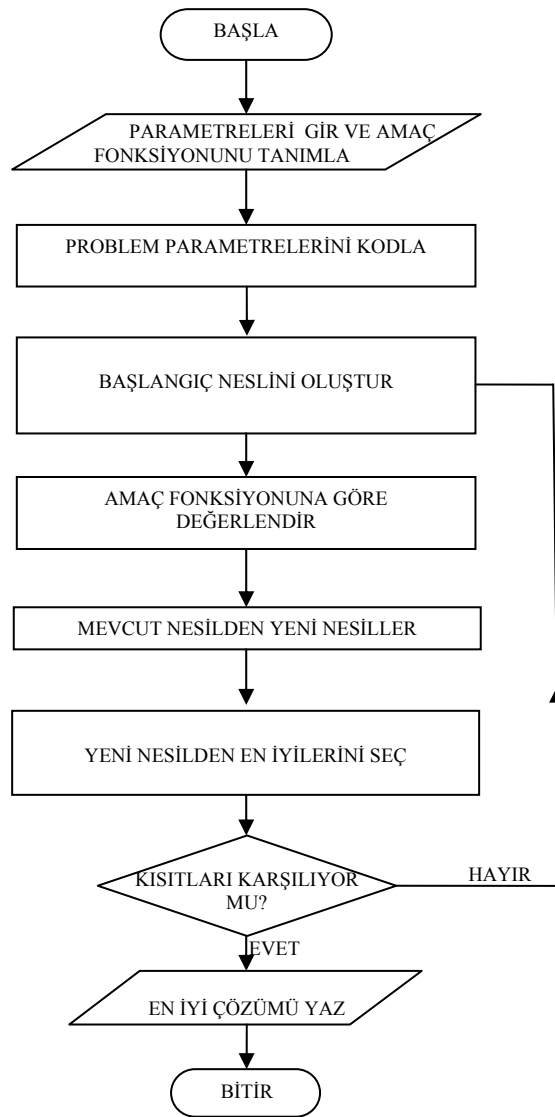
Önem Derecesi	Seçilebilecek B ve R Yöntemleri
A	1
B	1 – 4
C	1 – 4 – 8
D	1 – 8

4.2.6. Geliştirilen Yazılım

Yukarıda bahsedilen değerler ve modellerin çözümü için bir bilgisayar programı yazılmıştır. Bilgisayar programı için kullanılan programlama dili Visual Basic'dir.

Yazılan bu bilgisayar programında hesaplamalarda genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. Bilgisayar programına ait algoritma Şekil 4.67’de verilmiştir.

Şekil 4.68, bu bilgisayar programının örnek bir çözümüne ait kullanıcı ara birimini göstermektedir. Ayrıca kullanıcı, isterse kaza maliyetlerini ve B ve R yöntemi maliyet ve ilave ömür değerlerini değiştirebilmektedir. Şekil 4.69, B ve R maliyet ve ilave ömür değerlerine, Şekil 4.70 ise kaza maliyetlerine ait kullanıcı arabirimlerini göstermektedir.



Şekil 4.67. Geliştirilen yazılımın akış diyagramı

Fayda Maliyet Oranına Göre Optimizasyon

Dosyadan Veri Al

Kesim Uzunluğu	Otomobil	Otobüs	Kamyon	Treyler	Maddi	Yaralanmalı	Ökümü	PSI
4	1766	1921	211	210	2	2	1	3.45626
4	212	188	14	16	4	3	3	3.40532
4	979	382	100	8	4	0	4	3.00828
6	1766	1921	211	210	0	3	0	2.87799
30	3105	3802	253	205	3	1	4	2.53768
2	212	188	14	16	0	2	5	3.08166
5	2375	1652	459	145	3	0	3	1.80587
35	3105	3802	253	205	3	4	0	2.60392
35	3105	3802	253	205	2	2	0	2.64003

Kısıtlar

Bütçe Kısıtı: 5000000 Nesil Sayısı: 500 Mutasyon: 50 Çaprazlama: 50

Sonuçlar

Toplam Maliyet	Bakım Yöntemi	Fayda	Maliyet	Fayda / Maliyet	Bakım Maliyetleri
1,039864E+07	4	493895	3360	17,53585	
	11	6326058	192000	11,7463	
	11	8412718	192000	99,86356	
	9	39513,7	67200	36,18343	
	10	5799970	852000	37,01112	
	1	0	0		
	1	0	0		
	1	0	0		
18,96069					

Yıl: 2004
Tabaka Adı: ankara_yollar
Enflasyon Oranı: 0.02

Tabaka Ekle Göster
Optimizasyon Veri Tabanına Yaz

Nesil Çaprazlama Mutasyon

1 2

Sonuçları Göster Çıkış

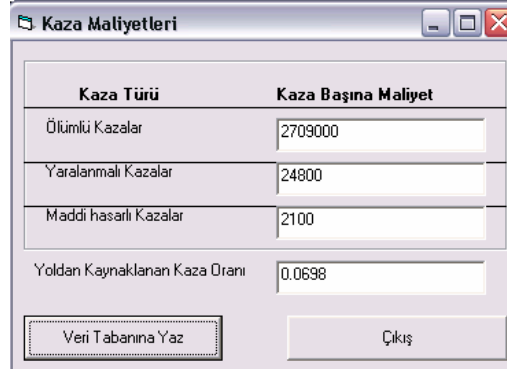
Şekil 4.68. Geliştirilen yazılımın kullanıcı arabirimi

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	Yüzeysel 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

Kaydet Çık

Şekil 4.69. B ve R Yöntemlerinin maliyet ve ilave ömürlerine ait kullanıcı arabirimi



Kaza Türü	Kaza Başına Maliyet
Ölümlü Kazalar	2709000
Yaralanmalı Kazalar	24800
Maddi hasarlı Kazalar	2100

Yoldan Kaynaklanan Kaza Oranı: 0,0698

Veri Tabanına Yaz Çıkış

Şekil 4.70. Kaza maliyetlerine ait kullanıcı arabirimi

4.2.7. Sonuçlar

Herhangi bir ülkenin karayolu ağının etkin bir şekilde bakımı ve onarımı, ekonomik büyümesi için zorunludur. Karayolunun bir bölümünün bakımı için kaynakların ve gereksinimlere göre formüle edilen bir Üstyapı Yönetim Sistemi kullanılarak, minimum bakım maliyetlerine sahip tatmin edici bir üstyapı performansı sağlanması mümkündür.

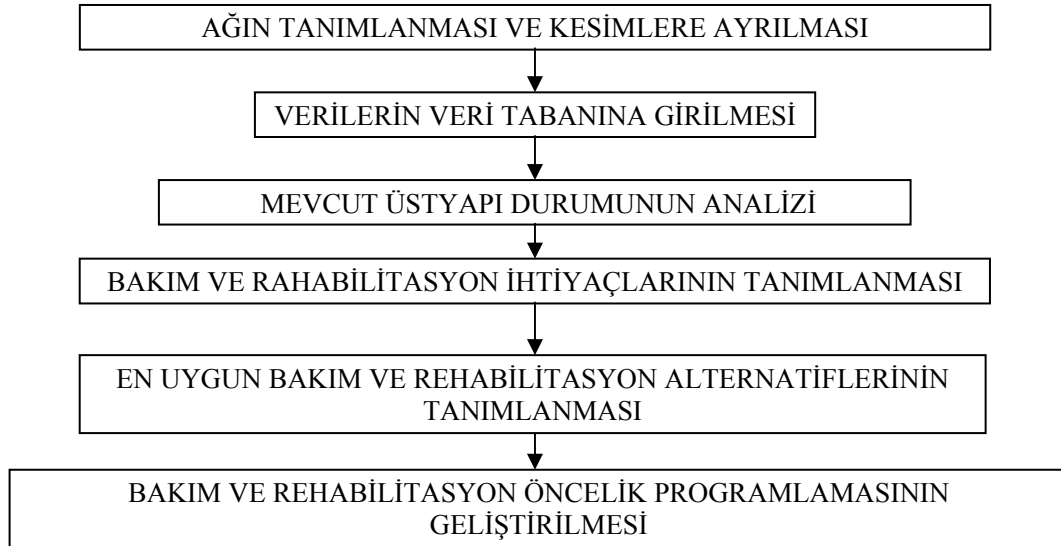
Genellikle, planlanma aşamasında analiz periyodu boyunca esnek üstyapılar için bir onarım bütçe programına karar vermek zordur. Bunun yanında, projelerin sayısındaki artışla birlikte, ömür-döngü maliyetindeki değişim bütçedeki değişime duyarlıdır. Bu çalışmada üstyapı onarım programındaki bu belirsizlikleri 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.

4.3. 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,

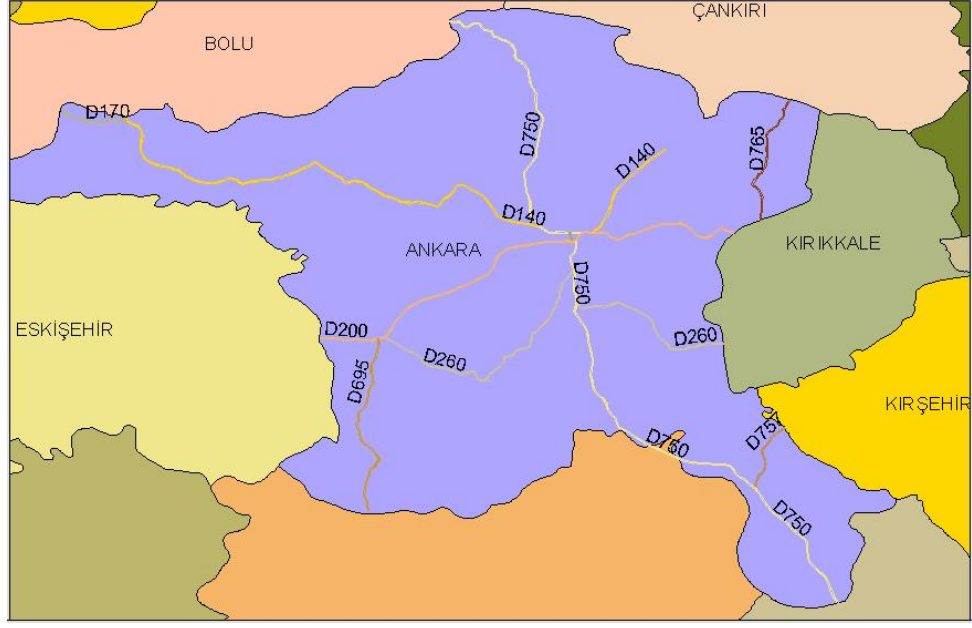
- Beş (5) yıllık programlama periyodunda pilot ağın bakım ve rehabilitasyon gereksinimlerini tahmin etmek,
- Çeşitli fon senaryoları için ağın beş yıllık bakım ve rehabilitasyon programlarını geliştirmek,
- Beş (5) yıllık programlama periyodunda üstyapı performansında bu potansiyel programların etkisini belirlemek,
- Geliştirilen yazılım ile Üstyapı Yönetim Sistemi için gerekli olan verilerin sisteme aktarılması, çözümlenmesi ve sonuçların gösterimi için pilot ağdaki senaryoların uygulanmasına olanak sağlamaktır. Şekil 4.71, örnek çalışmanın yapısını göstermektedir.



Şekil 4.71. Örnek çalışmanın yapısı

4.3.1. Ağ Tanımı

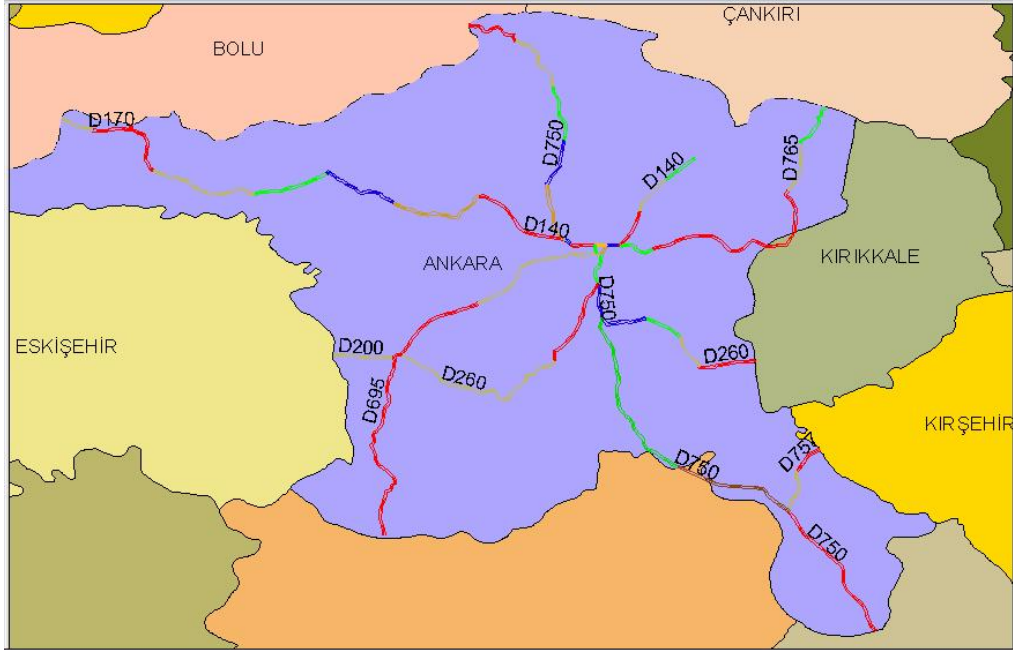
Ağ olarak Ankara merkezli Karayolları 4. Bölge seçilmiştir. 1994 yılında Türkiye'deki ilk ÜYS uygulaması da Pavement Management Systems Limited tarafından bu bölgede yapılmıştır. Belirtilen ağ üzerindeki karayolları, sayısallaştırılarak bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Ayrıca altlık olması bakımından, Türkiye il sınırları da sayısallaştırılarak bilgisayar ortamında bu tabakalar üst üste görüntülenmiştir. Şekil 4.72, seçilen bölgeyi ve bu bölgedeki karayollarını göstermektedir.



Şekil 4.72. Örnek ağın haritası

4.3.2. Ağın Kesimlere Ayrılması

Seçilen ağ, Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından tanımlanan kesimlere bölünmüştür. Şekil 4.73, bu ağı ve kesimleri göstermektedir.



Şekil 4.73. Örnek bölgedeki karayollarının kesimlerini gösteren harita

4.3.3. 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. Çalışmada daha önceden elde edilmiş veriler bulunmadığı için sentetik veriler kullanılmıştır. 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
- Agrega 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
- PSI (mevcut değer)
- PSI2 (gelecek yıl oluşacak değer)
- PSI3 (iki yıl sonra oluşacak değer)
- PSI4 (iki yıl sonra oluşacak değer)
- PSI5 (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)

Veri tabanına bilgilerin girilmesinden sonra, bir sonraki adım karayolunun gelecekteki performansını tahmin etmektir.

4.3.4. Performans Tahmini

Daha önce performans tahmini bölümünde anlatılan modeller kullanılarak analiz edilmiştir. Analiz amacıyla Şekil 4.74'te görülen alt program kullanılmıştır. Bu alt program asfalt ve sathi kaplamalı üstyapılar için geliştirilen modelleri birleştirmiştir. Verilerin bulunduğu katman seçilerek, model için gereken veriler bu katmandan alınarak analiz edilmektedir. Aynı zamanda program gelecek 5 (beş) yıl için eşdeğer dingil yükü sayısı ve hizmet yeteneği sayısı tahmin edilmektedir (Şekil 4.75). Model sonucunda elde edilen sonuçlar veri tabanına yazılabilmektedir.

Performans Tahmini

Kontrol: Layer Adı= ankara_yollar, Yıl= 2004, Büyüme Faktörü= 1.2

Sonuçlar: Yol Kodu, Kesim, Yol Tipi, PSI

Veri Tabanı: Mevcut ESAL, Drenaj, Malzeme, İklim, Şişme/Büzülme, Banket, Kalınlık, Oturma, Yapışma, Sıkıştırma, Bitüm, Agregat

Timsah Sırtı Çatlak	Kenar Çatlak	Yansıma Çatlak	Büzülme Çatlak	Kayma Çatlak	Boyuna Çatlak	Enine Çatlak	Tekerlek İz/Öndüle Çatlak	Kabarma Yığılma	Çökme	Dyuk	Sökülme	Kusma	Cılatırma	Yama	Soyulma	Çukur	Tarak Şeklinde Çizgi
0.991	7.681	5.080	6.884	3.745	3.31	6.81	10.1	3.175	7.511	10.75	10.75	1.097	15.57	15.57	0	0	0
1.026	7.681	5.260	7.097	4.095	4.00	7.00	11.1	3.287	7.671	11.05	11.05	1.097	16.53	16.53	0	0	0
0.946	7.681	4.875	6.615	3.405	3.7	6.6	10.1	3.046	7.343	10.34	10.34	1.097	14.41	14.41	0	0	0
0.933	7.147	5.025	6.155	3.655	3.1	6.1	9.0	3.143	7.475	9.614	9.614	1.195	15.25	15.25	0	0	0
1.723	7.147	10.10	6.895	6.174	5.8	6.8	17.1	3.815	8.393	23.27	17.02	1.660	20.32	20.32	0	0	0
1.675	7.147	9.865	6.705	5.585	5.4	6.7	16.1	3.665	8.185	22.97	16.72	1.660	19.35	19.35	0	0	0
1.630	7.147	9.615	6.521	4.935	5.0	6.5	15.1	3.510	7.974	22.65	16.43	1.660	18.25	18.25	0	0	0
1.594	7.147	9.340	6.335	4.271	4.5	6.3	15.1	3.337	7.735	22.40	16.15	1.660	16.93	16.93	0	0	0
1.463	7.147	8.590	5.852	3.027	3.7	5.8	14.1	2.865	7.102	21.64	15.35	1.660	12.65	12.65	0	0	0

Şekil 4.74. Performans modeli ekran görüntüsü

İnşaat Yılı	ESAL					PSI				
	2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
2000	11972210	2563873	3155536	3747199	4338862	3,42688	3,40667	3,38846	3,37141	3,35628
1999	2465262	3056925	3648588	4240252	4831915	3,40974	3,39145	3,37413	3,35865	3,34533
2001	1479157	2070820	2662483	3254146	3845809	3,44806	3,42317	3,40361	3,38551	3,36875
2000	1844080	2397304	2950529	3503753	4056977	3,55832	3,55956	3,53443	3,51062	3,48942
1998	5399772	6479726	7559681	8639635	9719590	2,44033	2,37472	1,43410	1,37010	1,97010
1999	4499810	5579764	6659719	7739673	8819628	2,48979	2,43001	2,36271	1,61968	1,97010
2000	3599848	4679802	5759757	6839711	7919666	2,53771	2,48010	2,41947	2,35029	1,77142
2001	2699886	3779840	4859795	5939749	7019704	2,58682	2,52812	2,47034	2,40871	2,33741
2003	8999620	1979916	3059871	4139825	5219779	2,70920	2,62890	2,56685	2,50899	2,45048
1995	8099658	9179613	1025956	1133952	1241947	1,89777	1,97010	1,88948	1,66308	1,55628
1996	7199696	8279650	9359605	1043955	1151951	2,62054	2,26620	2,13030	2,13030	1,93946
1994	1167953	1307996	1448138	1588281	1728423	2,13457	2,02570	1,94879	1,32484	1,32484
2000	4671415	6072840	7474285	8875689	1027711	2,81002	2,77962	2,73655	2,38172	2,45851
1995	7812274	8853911	9895548	1093718	1197882	2,55319	2,55819	2,55919	2,27669	2,08924
2001	2604091	3645728	4687364	5729001	6770638	2,96856	2,90974	2,86916	2,83371	2,79236
2001	2604091	3645728	4687364	5729001	6770638	2,66892	2,61245	2,57214	2,53691	2,48577
2001	2604091	3645728	4687364	5729001	6770638	2,66892	2,61245	2,57214	2,53691	2,48577
2001	2604091	3645728	4687364	5729001	6770638	2,66892	2,61245	2,57214	2,53691	2,48577

Şekil 4.75. EDYS ve performans tahmini

4.3.5. 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 4.76 ve Şekil 4.77, bu çözümlere ait ekran görüntüsünü vermektedir.

Dosyadan Veri Al		Kesim Uzunluğu								Maddi			Yaralanmalı		Ölümlü	PSI
Kesim	Otomobil	Otobüs	Kamyon	Treyler	Maddi	Yaralanmalı	Ölümlü	PSI	Maddi	Yaralanmalı	Ölümlü	PSI	Maddi	Yaralanmalı	Ölümlü	PSI
4	1766	1921	211	210	2	2	1	3,45628								
4	212	188	14	16	4	3	3	3,40532								
4	979	382	100	8	4	0	4	3,00828								
6	1766	1921	211	210	0	3	0	2,87799								
30	3105	3802	253	205	3	1	4	2,53768								
2	212	188	14	16	0	2	5	3,08166								
5	2376	1652	459	145	3	0	3	1,80887								
35	3105	3802	253	205	3	4	0	2,60392								
35	3105	3802	253	205	2	2	0	2,64003								

Kısıtlar			
Yıllık Bütçe Kısıtı	5000000	Nesil Sayısı	500
Mutasyon	50	Çaprazlama	50

Sonauçlar			
Toplam Maliyet	1,039864E+07	Bakım Yöntemi	Fayda
Toplam Fayda	1,971654E+08	Maliyet	Fayda / Maliyet
Toplam Fayda/Maliyet	18,96069	4	493895,1
		11	6326058
		11	8412718
		9	39513,72
		10	5799970
		1	0
		1	0
		1	0
		1	0

Nesil			
Çaprazlama			
Mutasyon			

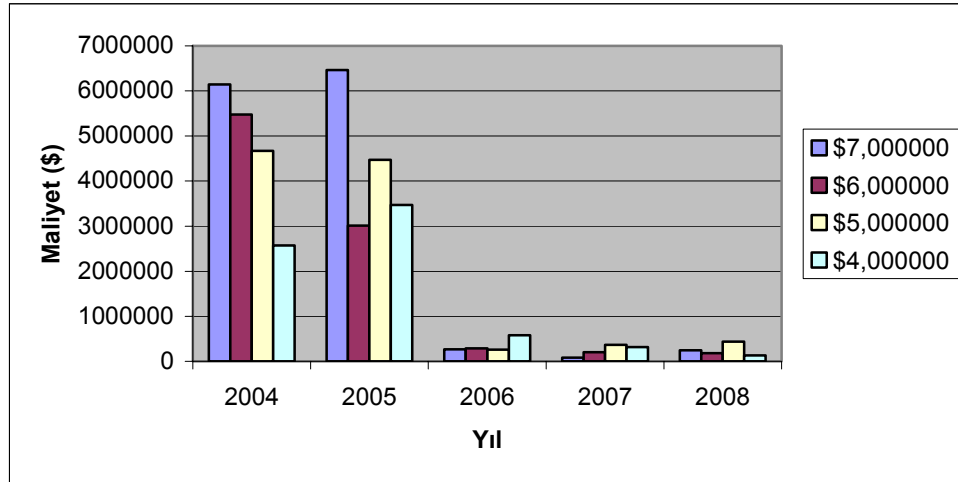
Şekil 4.76. Optimizasyon çözümü

Yol Kodu		PSI					Bakım Yöntemi				
Kesim		2004	2005	2006	2007	2008	2004	2005	2006	2007	2008
D140	1	3,456267	3,437576	3,421953	3,408702	3,396462	5	1	1	5	1
D140	2	3,405325	3,385848	3,368649	3,353456	3,339084	11	1	3	1	1
D140	3	3,008284	2,996849	2,985908	2,975435	2,965399	10	1	7	1	1
D170	2	2,877994	2,848362	2,823225	2,801722	2,783184	1	10	1	1	1
D200	1	2,537687	2,493376	2,460437	2,419433	2,374669	1	9	1	2	1
D200	2	3,081684	3,013384	2,954516	2,903243	2,858189	9	1	2	1	4
D200	3	1,805875	1,680824	1,424097	1,337123	1,337123	12	1	7	1	1
D260	1	2,603922	2,563558	2,524903	2,486535	2,447075	1	11	1	1	1
D260	2	2,640031	2,597013	2,557034	2,51852	2,480073	1	1	6	1	1
D260	3	2,570126	2,531284	2,492967	2,45379	2,412283	10	1	3	1	1
D695	1	2,83382	2,820709	2,804137	2,783581	2,757814	1	1	1	7	1
D750	1	3,553127	3,556803	3,558852	3,559563	3,549607	11	1	1	5	1
D750	2	3,033146	2,978162	2,93561	2,902	2,875036	10	1	1	1	3
D750	3	3,033146	2,978162	2,93561	2,902	2,875036	1	9	1	1	3
D750	4	2,795114	2,746384	2,707242	2,673983	2,645844	1	11	1	1	1
D750	5	2,44029	2,397641	2,350222	1,435373	1,970101	1	1	7	1	5
D750	6	3,033146	2,978162	2,93561	2,902	2,875036	9	1	1	3	1
D750	7	2,735119	2,680453	2,638158	2,604757	2,577973	1	10	1	1	3
D750	8	2,735119	2,680453	2,638158	2,604757	2,577973	9	1	6	1	1
D750	9	2,735119	2,680453	2,638158	2,604757	2,577973	1	1	7	1	1
D750	10	2,735119	2,680453	2,638158	2,604757	2,577973	12	1	1	4	1
D750	11	2,132648	2,951686	2,905596	2,855559	2,815386	9	1	1	1	4
D750	12	3,015245	2,983394	2,946786	2,90399	2,559196	11	1	2	1	5
D750	13	2,456861	2,438352	2,420518	2,40148	2,382114	1	11	1	1	1
D755	1	2,495862	2,482848	2,477461	2,471897	2,466121	10	1	6	1	2
D757	1	2,77057	2,730263	2,686815	2,638241	1,859331	1	1	1	1	2
D757	2	2,760383	2,671335	2,625245	2,583432	2,544106	10	1	1	1	1
D760	1	3,033146	2,978162	2,93561	2,902	2,875036	11	1	7	1	4
D760	2	3,033146	2,978162	2,93561	2,902	2,875036	12	1	1	1	2
D760	3	2,672417	2,561675	2,502863	2,459861	2,418677	10	1	6	1	1
D765	1	3,474893	3,452897	3,434781	3,419596	3,406661	12	1	2	1	1
D765	2	3,126903	3,117056	3,107451	3,098084	3,083143	1	11	1	5	1
D765	3	3,524395	3,492378	3,467053	3,446482	3,429432	10	1	1	7	1
D765	4	3,524401	3,492385	3,467063	3,446488	3,42944	1	9	1	4	1
D800	1	2,244606	2,181154	2,125674	2,076767	2,033351	1	11	1	1	1

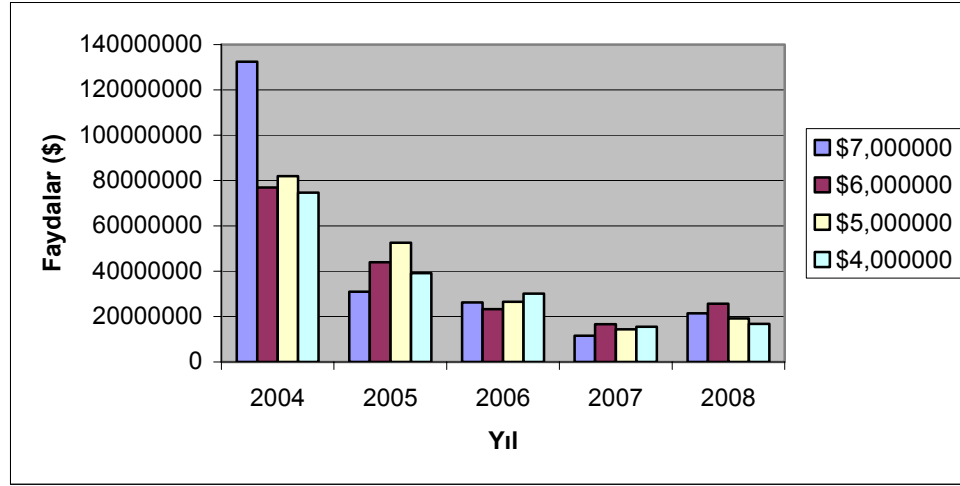
Maliyetler	Faydalar	Fayda/Maliyet
4895120	4473200	407280
9,993393E+07	2,787641E+07	1,676109E+07
20,41501	6,231873	69,04153
		100,3658
		98,72021

Şekil 4.77. Yıllık B ve R yöntemleri ile toplam fayda ve maliyetler

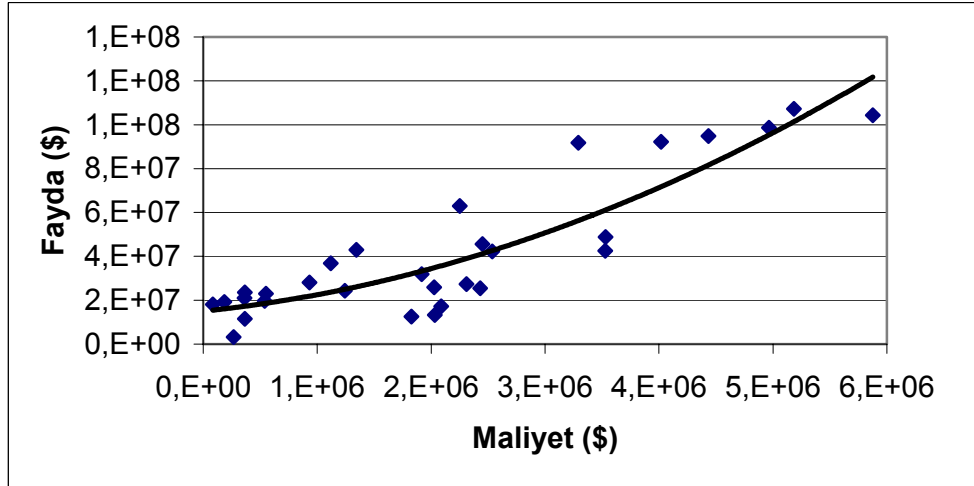
Örnek çalışmada, 4 farklı yıllık bütçe için 5 yıllık B ve R maliyetleri, bu yöntemlerin uygulanmasıyla oluşacağı düşünülen B ve R maliyetleri, kullanıcı faydaları ve maliyetler arasındaki ilişki sırasıyla Şekil 4.78, 4.79 ve 4.80'da görülmektedir.



Şekil 4.78. Farklı bütçe değerlerinin B ve R maliyetlerine etkisi



Şekil 4.79. Farklı bütçe değerlerinin kullanıcı faydalarına etkisi



Şekil 4.80. Faydalar ile maliyetler arasındaki ilişki

Grafiklerden de görüldüğü gibi, faydalar maliyetlere oranla oldukça yüksek çıkmıştır. Bunun nedenini daha iyi anlamak amacıyla en iyi çözüme ait fayda, maliyet ve fayda/maliyet oranı değerlerinin dağılımı Çizelge 4.12’de verilmiştir. Çizelgeden de görüldüğü gibi 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 verdiği için, istenirse bu değerleri değiştirilerek farklı senaryolar üretilebilir.

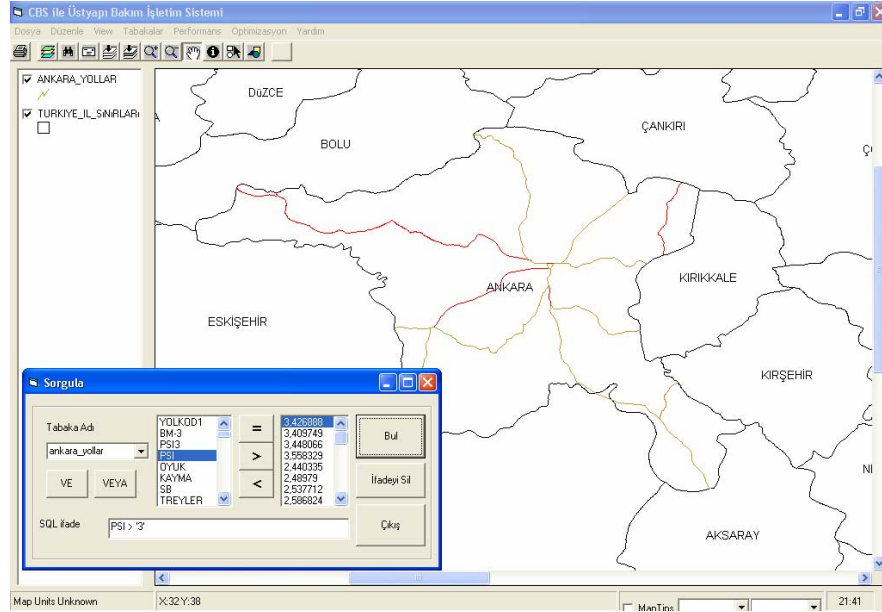
Çizelge 4.12. Fayda, maliyet ve fayda/maliyet değerlerinin dağılımı

PSI	B ve R Yöntemi	İlave Ömür	Kaza Maliyeti	Taşıt İşletme Maliyeti	Onarım Maliyeti	Toplam Fayda	F/M	F/M (Kaza Hariç)
3,45	5	3	192843,4	4714,6	5920	592674	100,11	2,39
3,40	11	11	574628,5	467,7	192000	6326058,2	32,95	0,03
3,00	10	7	763276,9	1515,6	113600	5353547,5	47,13	0,09
2,87	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,53	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
3,08	9	5	945734,1	241	22400	4729875,5	211,16	0,05
1,80	12	15	572457,7	7591,9	304000	8700744	28,62	0,37
2,60	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,64	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,57	10	7	768763,2	66690,2	852000	5848173,8	6,86	0,55
2,83	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
3,55	11	11	578090,6	8055,6	336000	6447608,2	19,19	0,26
3,03	10	7	7070,7	9731	113600	117611,9	1,04	0,60
3,03	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,79	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,44	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
3,03	9	5	945880,7	12163,8	56000	4790222,5	85,54	1,09
2,73	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,73	9	5	945734,1	10005,3	44800	4778697	106,67	1,12
2,73	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,73	12	15	945734,1	7504	182400	14298572	78,39	0,62
2,13	9	5	567850,9	75539,6	302400	3216952,5	10,64	1,25
3,01	11	11	381785	48737,5	960000	4735747,5	4,93	0,56
2,45	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,49	10	7	756645,9	9139,7	142000	5360499,2	37,75	0,45
2,77	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,76	10	7	756499,4	32804	426000	5525123,8	12,97	0,54
3,03	11	11	949196,2	4865,5	96000	10494679	109,32	0,56
3,03	12	15	439,74	2432,8	60800	43088,1	0,71	0,60
2,67	10	7	570873,3	4119,3	85200	4024948,2	47,24	0,34
3,47	12	15	203229,7	9412,4	486400	3189631,5	6,56	0,29
3,12	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
3,52	10	7	189527,9	4683,9	113600	1359482,6	11,97	0,29
3,52	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00
2,24	1	0	0	0	0	0	0,00	0,00

4.3.6. Sorgulamalar

Yazılan bilgisayar programına CBS ve ÜYS' nin vazgeçilmez bileşenlerinden olan sorgulama özelliği eklenmiştir. Bu amaçla, bir alt program yazılmıştır. Şekil 4.81'de

örnek bir sorgulama, ve sorgulama sonucu görülmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi sorgulama sonrasında, sorguya uyan sonuçlar, ekran üzerinde kırmızı renkte görüntülenmiştir. Örnekte PSI değerleri 3' ten büyük olan kesimler sorgulanmıştır.



Şekil 4.81. Örnek bir sorgulama ekranı kullanıcı ara birimi

4.3.7. 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 4.82'de örnek bir raporlama sonucu görülmektedir. Kullanıcı isterse, sorgulama sonuçlarını da raporlayabilmektedir. Program ayrıca raporun başka bir dosyaya kaydedilebilmesine ve yazıcıdan yazdırılabilesine izin vermektedir.

4.3.8. Yardımcı özellikler

4.3.8.1. Veri tabanına ait istatistiksel bilgiler

Geliştirilen bir alt program ile istenirse veri tabanındaki sayısal alanlara ait istatistiksel veriler görüntülenebilir. Şekil 4.83'de ağ üzerindeki yollarda meydana gelen maddi hasarlı kaza değerlerinin istatistiksel değerlendirmesi görülmektedir.

YOLKOD1	KESIM	PSI	BY-1	BM-1
D140	1	3,456267	5	2590
D140	2	3,405325	13	168000
D140	3	3,008284	2	960,0001
D170	2	2,877994	7	5880
D200	1	2,537687	12	745500
D200	2	3,081664	2	480
D200	3	1,805875	9	6300
D260	1	2,603922	6	79625
D260	2	2,640031	8	83300
D260	3	2,570126	10	115500
D695	1	2,83382	7	29400
D750	1	3,553127	8	16660
D750	2	3,033146	14	212800
D750	3	3,033146	12	124250
D750	4	2,795114	11	19600
D750	5	2,44029	5	29137,5
D750	6	3,033146	8	11900
D750	7	2,735119	8	7140
D750	8	2,735119	10	15400
D750	9	2,735119	7	1960

Şekil 4.82. Örnek bir raporlama ekranı kullanıcı ara birimi

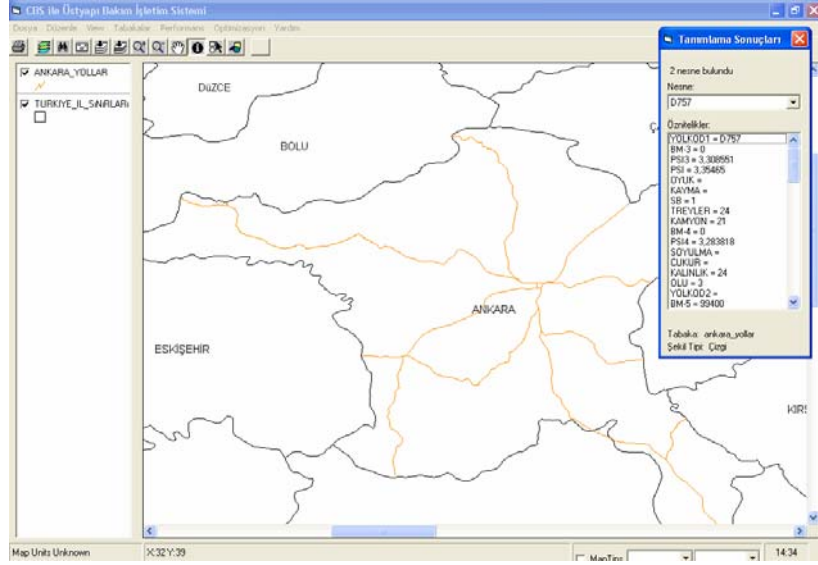
Alan İsimleri	Min Değer	Max Değer	Ortalama	Standart Sapma	Toplam
YARA					
TINDE					
BANKE					
YAPISMA					
OTOMOBİL					
UZUNLUK					
SIKISTIRMA					
ANAYOL					
DRENAJ					
MADDI	2	44	12,94285714285	12,08290687936	453
İNŞAAT_TAR					
BITUM					
ANAYOL_ID					

Şekil 4.83. İstatistik alt programı ekran görüntüsü

4.3.8.2. Tanımlama

Kullanıcı eğer isterse, harita üzerindeki bir nesnenin veri tabanı görüntülenebilir.

Şekil 4.84, bir tanımlama sonucunu göstermektedir.



Şekil 4.84. Bir tanımlama örneği sonucu

4.3.8.3. Veri tabanı görüntüleme

Kullanıcı gerek veri girişi, gerekse veri düzeltme amacıyla veri tabanının tamamını görüntüleyebilir ve isterse değişiklikler yaparak bunları veri tabanına yazdırabilir. Şekil 4.85, bu amaçla yazılan öznetelik görüntüleme kullanıcı ara birimini göstermektedir.

No	BM-3	PSI3	PSI	OYLUK	KAYMA	SB	TREYLER	KAMYON	BM-4	P
1	0	3,388465	3,426888				1	315	316	0
2	0	3,374139	3,409749				1	315	316	0
3	0	3,403614	3,448066							0
4	0	3,534431	3,568329							0
5	0	1,434109	2,440335							0
6	0	2,362717	2,48979							0
7	869750	2,419478	2,537712							0
8	134750	2,470345	2,586824							0
9	0	2,566858	2,709208							0
10	0	1,885482	1,897777							0
11	1118250	2,266208	2,620546							0
12	0	1,948794	2,134574							0
13	0	2,736557	2,810025				1	859	1126	0
14	47600	2,559196	2,559196				1	472	1009	0
15	0	2,869168	2,966558				1	472	1009	1200
16	1943	2,572144	2,66892				1	472	1009	0
17	960	2,572144	2,66892				1	472	1009	0
18	0	2,572144	2,66892				1	472	1009	0
19	0	2,572144	2,66892				1	472	1009	0
20	0	2,869168	2,966558				1	472	1009	0
21	0	2,869168	2,966558				1	472	1009	0
22	0	2,869168	2,966558				1	472	1009	0
23	0	2,869168	2,966558				1	472	1009	0
24	0	2,639466	2,736332				1	695	752	0
25	0	2,451554	2,46999				1	695	752	0
26	0	3,308551	3,35465				1	24	21	0
27	0	2,947289	2,976291				1	12	150	0
28	0	3,065312	3,106562				1	24	21	0

Şekil 4.85. Öznetelik görüntüleme kullanıcı ara birimi

4.3.9. Örnek Çalışmada Elde Edilen Sonuçlar

Bu örnek çalışma ile geliştirilen modeller, coğrafi bilgi sistemleri ile birleştirilerek, bir üstyapı yönetim sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Veri tabanında oluşturulan sentetik 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.

Ayrıca CBS'nin temel özelliklerinden olan tanımlama, sorgulama ve raporlama özellikleri de yazılıma eklenerek kullanılmıştır.

5. SONUÇ

Üstyapı performansının gelecekteki durumunu tahmin etmek için kaynaklarda bir çok performans tahmin modeli bulunmaktadır. Bu modellerden lineer azalan tahmin modeli dışındakilerin neredeyse hepsi mekanistik ölçüm gerektiren en az bir değişkene bağlıdır. Ancak gelişmekte olan ülkelerin çoğunluğunda, mekanik ölçüm yapabilecek teçhizat ya çok az sayıdadır ya da bulunmamaktadır. Olasılık dağılımı, Markov Modeli ve Yapay Zeka Modellerinden Yapay Sinir Ağları Modelleri ise uzun yıllar düzenli ölçüm gerektiren bir veri tabanına gereksinim duyar. Ayrıca bu yöntemlerle geliştirilen bir model de, veri tabanına ait kesime özgü olacağından farklı kesimlerde veya ağlarda hatalı sonuçlar vermesi kaçınılmazdır. Bir diğer önemli husus ta, yukarıda verilen modellerin hizmet yeteneğini etkileyen tüm etkenleri dikkate almamasıdır. Bu modeller, sadece bazı etkenleri dikkate alarak, bu etkenler arasında bir katsayı geliştirmişlerdir. Oysa, üstyapıda oluşan tüm bozulmalar hizmet yeteneğini etkiler ve bu bozulmalara da bir çok etken etki eder. Kullanılacak gerçekçi bir modelin tüm bu etkenleri dikkate alması gerekir.

Yapılan çalışmada bulanık mantık yöntemi ile geliştirilen modeller ise, hem üstyapıda oluşabilecek tüm bozulmaları hem de bu bozulmalara neden olabilecek tüm etkenleri gerek asfalt betonu kaplamalı üstyapılar gerekse de sathi kaplamalı esnek üstyapılar için dikkate almaktadır. Ülkemiz karayollarının neredeyse % 80'i sathi kaplamaya sahiptir. Fakat, sathi kaplamalı üstyapılar için geliştirilmiş herhangi bir performans tahmin modeli bulunmamaktadır. Bu nedenle çalışmada sathi kaplamalı üstyapılar için de bir performans modeli geliştirilmiştir. Geliştirilen bu modellere ait Visual Basic programlama dilinde bir program yazılmıştır. Bu model ile, incelenen üstyapının mevcut performansı tahmin edilebilirken aynı zamanda gelecekte beklenen trafiğe göre performans tahmini de yapılabilmektedir. Böylece hem ağ düzeyi hem de proje düzeyinde kullanılabilir. Geliştirilen model, daha önce bahsedilen modellerden farklı olarak hem bir çok etkeni dikkate aldığı hem de mekanistik ölçüm sonuçları kullanmadığı için doğrudan karşılaştırma yapılamamıştır.

Karayolu yönetim kararları düşünüldüğünde bir çok etken dikkate alınmasına karşın, anahtar etken daima para miktarı olmaktadır. Çeşitli kısıtlar altında en fazla etkiyi sağlamak amacıyla sınırlı sermayenin harcanması için bazı kararlar verilmesi gerekir. Verilen bir kararın uygulanmasının maliyeti belirlenmeli, ve bundan kaynaklanan faydalar tahmin edilmelidir. Fayda/maliyet oranı yöntemi, karayolu alanında, diğer yöntemler arasında belki de en yaygın kullanılan yöntemdir. Bu yöntem, bir seçeneğin faydasının bugünkü değerinin, maliyetinin bugünkü değerine oranıdır. Çalışmada, fayda maliyet oranının belirlenmesinde, kaynaklardan alınan maliyet ve fayda değerleri kullanılmıştır. Genetik algoritma yöntemi kullanılarak Visual Basic programlama dilinde bir bilgisayar programı yazılmıştır. Geliştirilen modelin uygulanması ile, veri tabanından alınan veriler kullanılarak 5 yıllık bakım ve rehabilitasyon programlaması verilen bir bütçe sınırı içinde planlanabilmektedir.

Bu çalışmada geliştirilen modellerin bir Üstyapı Yönetim Sistemine uyarlanması ve bu modellerin çalışabilirliğini göstermek amacıyla bir coğrafi bilgi sistemleri yazılımı yazılarak geliştirilen modeller bu platformda birleştirilmiştir. Uygulamanın çalışabilirliğini göstermek için örnek bir ÜYS oluşturulmuştur. Ağ düzeyinde yapılan bu örnek ile modellerin uygulamasının yanında tüm sistemin denenmesi mümkün olmuştur. Geliştirilen yazılım ile Üstyapı Yönetim Sistemi için gerekli olan verilerin sisteme aktarılması, çözümlemesi ve sonuçların gösterimi için çeşitli senaryoların uygulanmasına olanak sağlamaktır. Bahsedilen bu amaçların tamamına, örnek çalışmada ulaşılmıştır.

Bu çalışmada geliştirilen ÜYS sistemi, ülkemiz koşullarında uygulanabilir bir sistemdir. Ayrıca yazılımın tamamı tarafımızdan geliştirildiği için, tamamen esnektir ve gereksinim duyulması halinde ilaveler veya düzenlemeler rahatça yapılabilir. ÜYS' nin ülkemiz karayollarında kullanılması ile, kısıtlı olan kaynaklarımızın daha verimli bir biçimde kullanılacağı, ayrıca yol üstyapısından kaynaklanan olumsuzlukların da önüne geçilebileceği düşünülmektedir.

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.
- Akın, D., Eryılmaz, Y., 2001, Coğrafi bilgi sistemi destekli trafik kaza analizi, Coğrafi Bilgi Sistemleri Bilişim Günleri, Fatih Üniversitesi, İstanbul.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- COST 337, 2002, Unbound Granular Materials for Road Pavements, Final Report of the Action, European Commission Directorate-General for Energy and Transport, Belgium
- 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.
- ESRI, 2004, Environmental Systems Research Institute, Inc. internet sitesi. www.esri.com
- Finn, F., 1997, Pavement management systems - past, present, and future, National Workshop on Pavement Management in New Orleans, La., July 20.
- Foote, E.K., Lynch, M., 1996. Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts and Definitions, The Geographer's Craft Project, Department of Geography, University of Texas at Austin
- 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.
- 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.
- 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., 1978, 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
- 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.
- Holland, 1992, Genetic Algorithms, Scientific American, Vol. 260 (9), pp 44-50, USA
- 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.
- 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.
- 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
- 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.
- 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.
- Moavenzadeh, F., 1976, Stochastic model for prediction of pavement performance, Transportation Research Record, 575, pp. 56-73.
- 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.
- 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

- 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., Witzak, 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, 1999, 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
- Roberts, C. A., Attoh-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.

- Saitoh, M., Fukuda, T., 2000, Modeling an Asphalt Pavement Repair System Considering Fuzziness of Budget Constraints, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Blackwell Publishers, Vol 15, pp 39-44, 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
- 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
- Şen, Z., 2001, Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat, İstanbul
- 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
- 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.
- 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.
- 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

- 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.
- 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)
- 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
- 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

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Serdal TERZİ

Doğum Yeri : Ankara

Doğum Yılı : 1977

Medeni Hali : Evli

Eğitim ve Akademik Durumu:

Lise : 1990 – 1994 Ankara İnşaat Teknik Lisesi

Lisans : 1994 – 1998 Süleyman Demirel Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü

Yüksek Lisans : 1998 – 2000 Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı

Yabancı Dil : İngilizce

İş Deneyimi:

1999 – Süleyman Demirel Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü Araştırma Görevlisi