

**ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNDE
YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ve
GENETİK ALGORİTMA İLE ÇOK
AMAÇLI OPTİMİZASYON**

Hatice Nur ARAS MEHAN

**Doktora Tezi
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU
2009**

Her hakkı saklıdır

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

**ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNDE
YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ve
GENETİK ALGORİTMA İLE ÇOK
AMAÇLI OPTİMİZASYON**

Hatice Nur ARAS MEHAN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ERZURUM

2009

Her hakkı saklıdır

Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU danışmanlığında Hatice Nur ARAS MEHAN tarafından hazırlanan bu çalışma 27.06.2009 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Doktora Tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Cafer ÇELİK

İmza :



Üye : Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU

İmza :



Üye : Doç. Dr. Murat ERGÜN

İmza :



Üye : Yrd. Doç. Dr. İbrahim CAN

İmza :

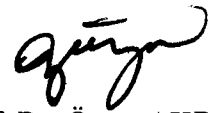


Üye : Yrd. Doç. Dr. Köksal ERENTÜRK

İmza :



Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ömer AKBULUT
Enstitü Müdürü 7.

ÖZET

Doktora Tezi

ÜSTYAPI YÖNETİM SİSTEMİNDE YAPAY BAĞIŞIKLIK SİSTEMİ ve GENETİK ALGORİTMA ile ÇOK AMAÇLI OPTİMİZASYON

Hatice Nur Aras MEHAN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç.Dr. Sinan HINISLIOĞLU

Bu çalışmada ağ seviyesindeki bir Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) için farklı bir yaklaşım sunulmuştur. Bu sistem öncelikle farklı bozulma eğrilerine sahip altı yol tipi için Yapay Bağışıklık Sistemi (YBS) ve Genetik Algoritma (GA) ile Markov zincirleri kullanarak Geçiş İhtimal Matrislerinin (GİM) tahminini içermektedir. Daha sonra, bütün yol tipleri için GA ve YBS ile çok amaçlı optimizasyon yapılarak en uygun Bakım ve Onarım (B&O) stratejileri belirlenmiştir. GİM tahmini ve en uygun B&O stratejilerinin belirlenmesinden önce GA ve YBS performansında etkili olan nesil sayısı, mutasyon oranı, klonlama oranı gibi parametrelerin en uygun değerleri, Taguchi optimizasyon metodu ile belirlenmiştir. Alternatif çözümleri karşılaştırmak için ömür döngü maliyet analizi, Net Bugünkü Değer (NBD) analizi ile yapılmıştır. Birçok uygun sonuç arasındaki en uygun çözüm ise Pareto optimizasyon tekniği ile belirlenmiştir. Ayrıca, en uygun planlama yılını bulmak amacıyla, farklı yıllık planlama periyotları için maliyet/fayda (M/F) oranları belirlenmiştir. Sonuç olarak, YBS'nin, GA ile karşılaştırıldığında GİM tahmini ve en uygun B&O stratejilerini belirlemede daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Üstyapı yönetim sisteminde B&O stratejilerini belirlemek için GA ve YBS çözümlerinin her ikisi için de 10 yıllık planlama periyodu maliyet etkin periyot olarak belirlenmiştir.

2009, 162 sayfa

Anahtar Kelimeler: Üstyapı Yönetim Sistemi, Markov Zinciri, Genetik Algoritma, Yapay Bağışıklık Sistemi, Pareto Analizi.

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION in PAVEMENT MANAGEMENT SYSTEM USING ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM and GENETIC ALGORITHM

Hatice Nur ARAS MEHAN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Sinan HINISLIOĞLU

In this study, a different approach is presented for a pavement management system in a network level. This system firstly contains prediction of the Transition Probability Matrix (TPM) using Markov chains for a road network by both genetic algorithm (GA) and artificial immune system (AIS) for six types of road having different deterioration curve. Then, for all types of roads, the most suitable Maintenance and Rehabilitation (M&R) strategies are determined by both GA and AIS using the multi objective optimization. Before both the prediction of the TPM and determination of the most suitable M&R strategies, the most convenient parameter values such as size of generation, rate of mutation, rate of cloning for both GA and AIS solutions are determined by Taguchi optimization method. Life cycle cost analysis is performed to compare the alternative solutions using net present value (NPV). Pareto optimization technique is used to find the most appropriate solution among the many suitable results. Moreover, in order to find the most suitable planning year, cost-benefit ratio (C/B) values are determined for the different planning years of period. As a result, the better results are obtained from the AIS for both prediction of the TPM and finding the best M&R strategy in comparison to GA. 10 year planning period is determined as the most cost effective duration for determining the M&R strategies in a pavement management system for both GA and AIS solutions.

2009, 162 pages

Keywords: Pavement Management System, Markov Chain, Genetic Algorithm, Artificial Immune System, Pareto Analysis.

TEŞEKKÜR

Doktora tezi olarak sunmuő olduğum bu çalışmanın yürütölmesi ve sonuçlandırılması aőamalarında her konuda yardımını gördüğüm ve tecrübelerinden faydalandığım danışman hocam Sayın Doç. Dr. Sinan HINISLIOĞLU'na teőekkürü bir borç bilirim.

Doktora yaptığım süre boyunca “BİDEB 2211-Yurtiçi Doktora Burs Programı” ile destek veren TÜBİTAK'a teşekkür ederim.

Çalıőmamda, her türlü yardımını esirgemeyen ablam Sayın Doç. Dr. őükriye ARAS HİSAR'a ve kardeőim Elektrik Elektronik Mühendisi Mehmet Nuri ARAS'a teőekkürlerimi sunarım.

Yine meslek hayatıma baőladıėım günden bugüne maddi ve manevi hiçbir desteklerini esirgemeyen ve sürekli yanımda olan kıymetli aileme sonsuz minnetlerimi sunarım.

Ayrıca çalıőmamın her safhasında maddi manevi yardım ve desteklerinin yanı sıra göstermiş olduğu sabır ve anlayıőtan dolayı değerli eőim İnşaat Mühendisi Rıdvan Turan MEHAN'a sonsuz teőekkürlerimi sunarım.

Hatice Nur ARAS MEHAN

Haziran 2009

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1. Üstyapı Yönetim Sistemleri.....	4
2.2. Markov Geçiş İhtimal Matrisleri.....	12
2.3. Performans Tahmini	14
2.4. Yapay Bağışıklık Sistemleri	16
2.5. Genetik Algoritma.....	20
2.6. Pareto Optimizasyonu.....	23
3. MATERYAL VE YÖNTEM	25
3.1. Materyal.....	25
3.1.1. Üstyapı yönetim sistemleri (ÜYS)	25
3.1.1.1. Üstyapı yönetim sisteminin amacı.....	27
3.1.1.2. Üstyapı yönetim sistemlerinin uygulanması	28
3.1.1.3. Üstyapı yönetim sistem seviyeleri.....	29
3.1.1.4. Asfalt betonu kaplamalı esnek üstyapılarda oluşan bozulmalar	41
3.1.1.5. Asfalt üstyapılar için bakım ve onarım yöntemleri	42
3.1.1.6. Ekonomik değerlendirme ile bakım takviminin ve yönteminin belirlenmesi	43
3.2. Yöntem	55
3.2.1. Taguchi optimizasyonu.....	55
3.2.2. Yapay bağışıklık sistemleri.....	57
3.2.2.1. Doğal bağışıklık sistemleri.....	58
3.2.2.2. Yapay bağışıklık sistemleri.....	66
3.2.2.3. Yapay bağışıklık sistemlerinin uygulamaları.....	71

3.2.3. Genetik algoritmalar	75
3.2.3.1. Genetik algoritma tekniği.....	76
3.2.3.2. GA’da kullanılan operatörler	79
3.2.4. Klonal seçim algoritması ve genetik algoritmanın karşılaştırılması	84
3.2.5. Markov geçiş ihtimal matrisleri (GİM)	84
3.2.5.1. Üstyapı bozulmalarına uygulanan markov teorisi.....	86
3.2.5.2. Geçiş ihtimal matrislerinin elde edilme yaklaşımları	89
3.2.6. Pareto optimizasyonu	90
3.3. Çalışmada Kullanılan Model ve Algoritmalar	92
3.3.1. Taguchi optimizasyonu.....	92
3.3.2. Üstyapı performans tahmini.....	94
3.3.2.1. Üstyapı bozulma modellemesi için geçiş ihtimal matrislerinin (GİM) elde edilmesi	94
3.3.2.2. Yapay veri setleri.....	95
3.3.2.3. Çalışmada geçiş ihtimal matrislerinin elde edilmesi	100
3.3.2.4. Gelecek yıllardaki yol durum tahminleri	100
3.3.3. Optimizasyon çalışması ile önceliklerin belirlenmesi	100
3.3.3.1. Fayda ve maliyetlerin belirlenmesi.....	100
3.3.3.2. Amaç fonksiyonları	101
3.3.3.3. Kısıtlar.....	102
3.3.4. GA ve YBS ile optimizasyon.....	103
3.3.5. Algoritmaların test fonksiyonu ile doğrulanması.....	103
3.3.6. Farklı planlama yıllarının B&O stratejileri üzerindeki etkilerinin incelenmesi	103
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	104
4.1. Seçilen Ortogonal Diziye Göre Elde Edilen Sonuçlar	104
4.1.1. 1.-6. Veriler için GA kullanılarak GİM elde edilmesi için yapılan optimizasyon.....	105
4.1.2. 1.-6. Veriler için YBS kullanılarak GİM elde edilmesi için yapılan Taguchi optimizasyonu.....	111
4.1.3. 1.-6. Veriler için GA kullanılarak B&O planının elde edilmesi için yapılan Taguchi optimizasyonu	117

4.1.4. 1.-6. Veriler için YBS kullanılarak B&O planı elde edilmesi için yapılan Taguchi optimizasyonu	124
4.1.5. Taguchi ile yapılan optimizasyon değerlendirmesi.....	129
4.2. Geçiş İhtimal Matrislerinin Elde Edilmesi	131
4.2.1. Gelecek yıllardaki yol durum tahminleri	136
4.3. Algoritmaların ZDT1 Test Fonksiyonu ile Doğrulanması	137
4.4. Örnek Çalışma.....	138
4.4.1. Farklı planlama yıllarının B&O stratejileri üzerindeki etkilerinin incelenmesi	148
5. SONUÇ	154
5.1. Sonuçlar	154
5.2. Öneriler	156
KAYNAKLAR.....	156
ÖZGEÇMİŞ	162

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A	Üstyapının yaşı
AASHO	Amerikan Eyalet Yol İdarecileri Birliği
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
a_0	Başlangıç anındaki yol durum dağılımı
a_t	t anındaki yol durum dağılımı
B	Bakım
BM	Bakım-Onarım Maliyeti
CBS	Coğrafi Bilgi Sistemi
CR	Üstyapı çatlak alanı yüzdesi
d	İskonto oranı
DF_{MSe}	Hata kareler ortalamasının serbestlik derecesi toplamı
e	Birim şekil değiştirme
e_i	i. Deneydeki rantsal hata
ESAL	Hizmet kabiliyeti indeksi
FHWA	Ulaştırma araştırma odası
GA	Genetik Algoritma
GİM	Geçiş İhtimal Matrisleri
HDM-4	Karayolu Tasarım ve Bakım Standartları Modeli
HST	Asfalt tabakanın altındaki yatay gerilme
IRI	Uluslararası düzgünsüzlük indeksi
KM	Kaza maliyetindeki azalma,
K_{ts}	s Yolunun t yılındaki yol durumu (PSI olarak)
m	Ortalama tahmininde kullanılan parametrelerin serbestlik dereceleri toplamı
M_i	i bakımının maliyeti
M	Eğim katsayısı
MCA	Çok kriterli analiz
MHC	Büyük doku karmaşası kompleksi
MTIA	Modifiye Taguchi Bağışıklık Algoritması

MTO	Ontario Ulaştırma Bakanlığı
n	Yıl sayısı
n_i	Yapılan doğrulama çalışmalarının tekrar sayısı
N	Yorulma ömrü
N	Yığılımlı tek dingil yük eşdeğeri (EDYS)
NDT	Tahribatsız deney yöntemleri
OPAC	Performans modeli
$pwf_{i,n}$	Seçilen faiz oranı ve dönem sayısına göre bugünkü değer faktörü
PCI	Üstyapı durum indeksi
PCR	Üstyapı durum oranlaması
PI	Profil indeksi
PSI	Mevcut servis kabiliyeti indeksi
PSR	Şimdiki servis oranı
PSR _s	Ortalama panel oranları
P	Markov geçiş ihtimal matrisi
PQI	Üstyapı kalite indeksi
RCI	Sürüş konforu indeksi
RCIB	Bir önceki RCI
RH	Rehabilitasyon durumu göstergesi
RN	Sürüş sayısı
RTRRMS	Tek tipli yol düzgünlük ölçüm sistemi
s	Segment
S/N _L	Performans istatistiği
SEN1	Asfalt tabakanın altındaki şekil değiştirme enerjisi
SSM	Seyahat süresi maliyetindeki azalma
KM	Kullanıcı maliyeti
TIM	Taşıt işletme maliyeti
t	yıl
ÜYS	Üstyapı Yönetim Sistemleri
X _i	Parametre-seviye kombinasyonunun sabit etkisi
QI	Düzgünlük

Y_i	i. Deneyin performans değeri
YAŞ	Üstyapının yaşı
YBS	Yapay Bağışıklık Sistemleri
YSA	Yapay Sinir Ağları
μ	Performans değerinin genel ortalaması
α	Hata seviyesi
σ_t	Standart sapma

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1. Mevcut hizmet kabiliyeti indeksi (PSI) formu.....	26
Şekil.3.2. Bir üstyapını performans eğrisi ve rehabilitasyon seçeneklerinin etkisi.....	30
Şekil 3.3. Lineer azalan tahmin modeli.....	32
Şekil 3.4. Örnek bir S şekilli eğri.....	36
Şekil 3.5. Üstyapı yaşının farklı noktalarında yığılımlı yoğunluk eğrisi.....	37
Şekil 3.6. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi.....	40
Şekil 3.7. Ontario' da kullanılan rehabilitasyon ve bakım seçenekleri	43
Şekil 3.8. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği.....	54
Şekil 3.9. Birincil ve ikincil lenfoid organlar.....	59
Şekil 3.10. Bağışıklık sisteminin çalışması	62
Şekil 3.11. Klonlama seçim.....	63
Şekil 3.12. Öğrenme ve bağışıklık hafızası	64
Şekil 3.13. Biçim tanıma	66
Şekil 3.14. Bağışıklık ağ modeli.....	67
Şekil 3.15. Antikor ağ modeli algoritması.....	68
Şekil 3.16. YBS için akış diyagramı.....	69
Şekil 3.17. Anormallik tespit algoritması	72
Şekil 3.18. Biçim tanımada kullanılan örnek karakter.....	74
Şekil 3.19. GA için akış diyagramı.....	78
Şekil 3.20. Tek noktadan çaprazlama.....	80
Şekil 3.21. Tek bir Mutasyon.....	80
Şekil 3.22 Rulet Seçimi.....	82
Şekil 3.23. İki amaçlı bir fonksiyonun pareto optimum çözümleri.....	91
Şekil 3.24. Pareto sıralama.....	92
Şekil 3.25. 1. Veri Seti	96
Şekil 3.26. 2. Veri Seti	97
Şekil 3.27. 3. Veri seti	98
Şekil 3.28. 4. Veri Seti	98
Şekil 3.29. 5. Veri Seti	99

Şekil 3.30. 6. Veri Seti.....	99
Şekil 4.1. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (1. Veri-GA).....	105
Şekil 4.2. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (2. Veri-GA).....	106
Şekil 4.3. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (3. Veri-GA).....	107
Şekil 4.4 Parametrelerin ortalama S/N etkileri (4. Veri-GA).....	108
Şekil 4.5 Parametrelerin ortalama S/N etkileri (5. Veri-GA).....	109
Şekil 4.6. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (6. Veri-GA).....	110
Şekil 4.7. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (1. Veri- YBS).....	111
Şekil 4.8. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (2. Veri- YBS).....	112
Şekil 4.9. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (3. Veri- YBS).....	113
Şekil 4.10. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (4. Veri- YBS).....	114
Şekil 4.11. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (5. Veri- YBS).....	115
Şekil 4.12. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (6. Veri- YBS).....	116
Şekil 4.13. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (1. Veri-GA).....	117
Şekil 4.14. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (2. Veri-GA).....	118
Şekil 4.15. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (3. Veri-GA).....	119
Şekil 4.16. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (4. Veri-GA).....	120
Şekil 4.17. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (5. Veri-GA).....	121
Şekil 4.18. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (6. Veri-GA).....	122
Şekil 4.19. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (1. Veri- YBS).....	124
Şekil 4.20. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (2. Veri- YBS).....	125
Şekil 4.21. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (3. Veri- YBS).....	126
Şekil 4.22 Parametrelerin ortalama S/N etkileri (4. Veri- YBS).....	127
Şekil 4.23. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (5. Veri- YBS).....	128
Şekil 4.24. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (6. Veri- YBS).....	129
Şekil 4.25. GA ile elde edilen verilerin veri tipi-hata kareleri toplam ilişkisi.....	137
Şekil 4.26 YBS ile elde edilen verilerin veri tipi-hata kareleri toplam ilişkisi.....	137
Şekil 4.27. ZDT-1 Pareto Grafiği.....	138
Şekil 4.28 GA ve YBS ile elde edilen B-R stratejilerinin maliyet karşılaştırmaları....	145
Şekil 4.29. GA ve YBS ile elde edilen B-R stratejilerinin kalite artış karşılaştırmaları.....	146
Şekil 4.30. GA ve YBS ile elde edilen B-R stratejilerinin fayda/maliyet	

karşılaştırmaları.....	146
Şekil 4.31. YBS ile 1. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	147
Şekil 4.32. YBS ile 2. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	148
Şekil 4.33 YBS ile 3. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	148
Şekil 4.34 YBS ile 4. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	149
Şekil 4.35 YBS ile 5. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi	149
Şekil 4.36. YBS ile 6. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	150
Şekil 4.37. GA ile 1. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	150
Şekil 4.38. GA ile 2. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi	151
Şekil 4.39. GA ile 3. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi	151
Şekil 4.40. GA ile 4. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	152
Şekil 4.41 GA ile 5. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	152
Şekil 4.42. GA ile 6. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi.....	153

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1. Farklı üstyapı tipleri için performans eğrisi örnekleri.....	35
Çizelge 3.2. Markov modeli için örnek durum ifadeleri.....	38
Çizelge 3.3. Markov modeli için örnek geçiş ihtimalli matris.....	39
Çizelge 3.4. Bağışıklık sistemi ile ağ modeli arasında eşleştirme.....	73
Çizelge 3.5. Bağışıklık sistemiyle bağışıklık algoritmasının eşleştirilmesi.....	75
Çizelge 3.6. Bağışıklık sisteminin gezgin satıcı probleminde yerine getirdiği roller	75
Çizelge 3.7. GA için kullanılan parametre ve seviye değerleri.....	93
Çizelge 3.8. YBS için kullanılan parametre ve seviye değerleri.....	93
Çizelge 3.9. GA için L_9 Ortogonal dizisine göre yapılacak çalışma planı.....	93
Çizelge 3.10. YBS için L_9 Ortogonal dizisine göre yapılacak çalışma planı.....	94
Çizelge 3.11. Veri setleri için yol durum sınırları	95
Çizelge 3.12. Bakım Uygulama Tipleri ve Maliyetleri.....	101
Çizelge 4.1. S/N değerleri.....	104
Çizelge 4.2. 1. Veri için ortalama S/N etkileri.....	105
Çizelge 4.3. 2. Veri için ortalama S/N etkileri.....	105
Çizelge 4.4. 3. Veri için ortalama S/N etkileri.....	106
Çizelge 4.5. 4. Veri için ortalama S/N etkileri.....	107
Çizelge 4.6. 5. Veri için ortalama S/N etkileri.....	108
Çizelge 4.7. 6. Veri için ortalama S/N etkileri.....	109
Çizelge 4.8. S/N değerleri.....	110
Çizelge 4.9. 1. Veri için ortalama S/N etkileri.....	111
Çizelge 4.10. 2. Veri için ortalama S/N etkileri.....	111
Çizelge 4.11. 3. Veri için ortalama S/N etkileri.....	112
Çizelge 4.12. 4. Veri için ortalama S/N etkileri.....	113
Çizelge 4.13. 5. Veri için ortalama S/N etkileri.....	114
Çizelge 4.14. 6. Veri için ortalama S/N etkileri.....	115
Çizelge 4.15. S/N değerleri.....	116
Çizelge 4.16. 1. Veri için ortalama S/N etkileri.....	117
Çizelge 4.17. 2. Veri için ortalama S/N etkileri.....	117

Çizelge 4.18. 3. Veri için ortalama S/N etkileri.....	118
Çizelge 4.19. 4. Veri için ortalama S/N etkileri.....	119
Çizelge 4.20. 5. Veri için ortalama S/N etkileri.....	120
Çizelge 4.21. 6. Veri için ortalama S/N etkileri.....	121
Çizelge 4.22 S/N değerleri.....	122
Çizelge 4.23. 1. Veri için ortalama S/N etkileri.....	123
Çizelge 4.24. 2. Veri için ortalama S/N etkileri.....	124
Çizelge 4.25. 3. Veri için ortalama S/N etkileri.....	125
Çizelge 4.26. 4. Veri için ortalama S/N etkileri.....	126
Çizelge 4.27. 5. Veri için ortalama S/N etkileri.....	127
Çizelge 4.28. 6. Veri için ortalama S/N etkileri.....	128
Çizelge 4.29. GA için doğrulama analiz sonuçları ve güven aralıkları.....	130
Çizelge 4.30. YBS için doğrulama analiz sonuçları ve güven aralıkları.....	131
Çizelge 4.31. GA ve YBS ile tahmin edilen veriler ve gerçek veriler arasındaki hata kareleri toplamları.....	138
Çizelge 4.32. 1. Veri tipi için GA ile elde edilen B-R Stratejisi.....	139
Çizelge 4.33 1. Veri tipi için YBS ile elde edilen B-R Stratejisi.....	140
Çizelge 4.34. 2. Veri tipi için GA ile elde edilen B-R Stratejisi.....	140
Çizelge 4.35 2. Veri tipi için YBS ile elde edilen B-R Stratejisi.....	141
Çizelge 4.36. 3. Veri tipi için GA ile elde edilen B-R Stratejisi.....	141
Çizelge 4.37. 3. Veri tipi için YBS ile elde edilen B-R Stratejisi.....	142
Çizelge 4.38. 4. Veri tipi için GA ile elde edilen B-R Stratejisi.....	142
Çizelge 4.39. 4. Veri tipi için YBS ile elde edilen B-R Stratejisi.....	143
Çizelge 4.40. 5. Veri tipi için GA ile elde edilen B-R Stratejisi.....	143
Çizelge 4.41. 5. Veri tipi için YBS ile elde edilen B-R Stratejisi.....	144
Çizelge 4.42. 6. Veri tipi için GA ile elde edilen B-R Stratejisi.....	144
Çizelge 4.43. 6 Veri tipi için YBS ile elde edilen B-R Stratejisi.....	145

1. GİRİŞ

Bir yol üstyapısı ilk servise açıldığı zaman, performansı oldukça yüksek seviyededir. Ancak zamanla trafik yüklerine ve çevre tesirlerine maruz kaldıkça bozulmakta ve performansında azalma meydana gelmektedir. Bu bozulmalar başlangıçta yavaş olmakta, eğer üstyapı performansı belli bir limitin altına inmeden bakım çalışması yapılabilirse, düşük bir maliyet yardımıyla üstyapı performansını yükseltmek mümkün olabilmektedir. Bununla birlikte, gerekli bakım uygulanmaması kaplamanın hizmet veremeyecek duruma gelmesine neden olmaktadır ve bu da büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır (Terzi 2004).

Üstyapı yönetim sistemleri, ortaya çıkan bozuklukların düzeltilmesi anlamına gelen ve üstyapının hizmet ömrünün uzatılmasında hayati bir önem taşıyan bakım onarımı; mevcut kaynakları en uygun şekilde kullanarak ve subjektiviteyi azaltıp doğru kararlar vererek planlamak için ortaya çıkmıştır. Kısacası Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS), mevcut kaynakların en verimli bir biçimde kullanımını sağlamak amacıyla üstyapıya uygulanması gereken etkinliklerin koordine ve kontrol işlemidir. ÜYS, 1956-1960 yıllarında Amerika'da gerçekleştirilen AASHO Deney Yolu ile başlamıştır. Üstyapı yönetim sistemi kapsamında kaplama sürekli izlenmeli, bozulmaların tespitinden itibaren en uygun bakım programı uygulanmalıdır.

Ülkemiz karayolu üstyapılarının durumlarını belirlemek için Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından uygulanan düzgünsüzlük ölçümleri, gerek eleman gerekse de donanım azlığı nedeniyle yetersiz kalmakta, ayrıca yolların bakım ve onarımına ayırabilecekleri bütçelerin daima kısıtlı olduğu söylenebilmektedir. Eldeki bütçe ile öncelik sırasını belirleyerek, bakım çalışmasını yapmak gerekir. ÜYS, bakım ve onarım işlerinin öncelik sırasını belirlemek, bakım-onarım hizmetlerinin zamanında ve yeterli seviyede yapılmasını sağlamak için uygulanır. Ülkemizde, henüz ciddi anlamda kullanılmayan ÜYS'nin, ilgili kuruluşlar tarafından da kullanılması beklenmektedir. Çünkü ülke olarak, hem bakım çalışması yapmakta, hem de kaynaklarımızı verimli

olarak kullanmakta yetersiz olduğumuz söylenebilir. 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 seviyelerinde değerlendirmeler yapılamamaktadır (Pamuk, Terzi 2004).

Proje seviyesindeki değerlendirmeler önceleri yeterli görülmesine karşın, gelecek yıllarda oluşacak kaynak ihtiyacının belirlenmesi ve detaylı planlamaların yapılabilmesi amacıyla ağ seviyesinde değerlendirmelere ihtiyaç duyulmuştur. Bu amaçla performans tahmin yöntemleri geliştirilmiştir. Performans tahmininden sonra, ÜYS oluşturulabilmesi için gereken en önemli bileşen, üstyapı bakım ve onarım işlemlerinden hangisinin, ne zaman ve hangi üstyapı kesimine uygulanacağını belirlenmesidir.

Yol ağları için ideal bir ÜYS programı; bütün yol kesimlerini, az bir maliyetle yeterli hizmet seviyesi ve çalışma şartlarında tutacak bir program ile bakım ve onarımını yapmayı planlar. Ancak bu parametreler çoğunlukla çatışmaktadırlar. Mesela yüksek hizmet seviyesinde tutulmak istenen bir yol kesiminin bakımı için fazla kaynak ve fazla bütçe gerekmektedir. Bu nedenle yol bakım aktivitelerinin planlanmasında çok amaçlı optimizasyon programları gündeme gelmektedir.

Son yıllarda çok amaçlı problemlerin çözümünde modern sezgisel yöntemler olarak nitelendirebileceğimiz, doğadan ve biyolojik sistemlerden esinlenerek ortaya çıkarılmış olan yöntemler uygulanmaktadır. Genetik algoritmalar (GA), karınca kolonileri optimizasyonu, tavlama benzetimi, tabu arama, yapay sinir ağları (YSA) ve son yıllarda üzerinde çalışılan yapay bağışıklık sistemleri (YBS) bu yöntemlere örnek olarak verilebilir.

Bu çalışmada geliştirilen modellerin bakım-onarım hizmetlerinin zamanında ve yeterli seviyede karşılanmasını temin için bir ÜYS'ye uyarlanması planlanmıştır. Yapılan çalışmada öncelikle, GA ve YBS'nin doğasında bulunan; mutasyon oranı, çaprazlama oranı, klonlama oranı, nüfus sayısı gibi parametrelerin en uygun seviyelerini belirlemek

için Taguchi metodu kullanılmıştır ve çalışmanın diğer kısımlarında elde edilen optimum parametre seviyeleri kullanılmıştır. Ele alınan yolun performans tahminini yapmak için, Markov geçiş ihtimal matrisleri, YBS ve GA yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Aynı zamanda YBS ve GA yöntemi kullanılarak yıllık bakım ve onarım programlaması yapmak için çok amaçlı optimizasyon modelleri oluşturulmuştur ve bu modeller verilen sınır şartları sağlanarak çözülmüştür. Çok amaçlı optimizasyon yöntemi sonucunda elde edilen optimum çözümlerden Pareto optimizasyon yöntemi kullanılarak en iyi optimum çözüm belirlenmiştir. Yapılan bu çalışmalar sonucunda YBS ve GA sonuçları Fayda/Maliyet dikkate alınarak iki yöntemin sonuçları karşılaştırılmıştır. Farklı planlama yılları için (1-15) GA ve YBS ile elde edilen bakım-onarım stratejilerinde Maliyet/PSI (Servis Kabiliyeti İndeksi) oranları karşılaştırılmış ve bütün yol tiplerinde planlama için en uygun yıl tesbit edilmiştir.

Çalışmanın ikinci bölümü'nde kaynak özetlerine yer verilmiştir. Karmaşıklığa engel olmak amacıyla, kaynak taraması, üstyapı yönetim sistemi, performans tahmini, markov geçiş ihtimal matrisleri, genetik algoritma, yapay bağışıklık sistemleri ve pareto optimizasyonu olmak üzere altı başlık altında toplanmıştır. Üçüncü Bölüm'de, materyal ve yonteme yer verilmiştir. Çalışmanın materyal kısmı, üstyapı yönetim sistemini kapsamaktadır. Yöntemler ise, taguchi optimizasyonu, markov geçiş ihtimal matrisleri, genetik algoritma, yapay bağışıklık sistemleri ve pareto optimizasyonundan oluşmaktadır. Bu bölümde, genel olarak tüm tanımlar ve açıklamalar yapılarak bu sistem ve yöntemler tanıtılmıştır. Dördüncü bölüm'de ise, araştırma bulgularına yer verilmiştir. Beşinci bölüm'de de, yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar sunulmuştur.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Üstyapı Yönetim Sistemleri

Moavenzadeh (1976), üstyapı performansının tahmini için bir simülasyon modeli geliştirmiştir. Bozulmaların başlıca nedenlerinin, deformasyon ve çatlaklar olduğunu belirtmiştir. Üstyapı bozulmalarına katkıda bulunan etkenleri is, fiziksel özellikler ve üstyapı geometrisi, yük ve çevre koşulları olarak tanımlamıştır. Bu nedenle çalışmasında, bir hasar formülasyonu geliştirmiştir. Geliştirdiği model, hizmet kabiliyetindeki değişimi tahmin etmektedir. Modelin önemli bir parçası bakım ile ilgilidir.

Steiner and Lynch (1980), yol bakımı için bir fayda/maliyet çözümlenme 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 and Shanin (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 ihtiyaçlarının belirlenmesi, ekonomik çözümün performansı ve bütçe planlamasını içerir. Ekonomik çözümlenmede, 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 and Cheetham (1982), üstyapı ağının bakım ve onarımı için toplam harcamaların, iki ayrı çalışmanın optimum kombinasyonu ile sağlanabileceğini belirtmişlerdir. Çalışmaları, alışılmış bütçe kısıtları altında öncelikleri belirlemek ve seçilen herhangi bir program periyodunda bakım ve onarım yöntemlerinin belirlenmesi için bir yöntemin tanımlanmasıdır. Bu yöntem üstyapı durumu, hizmet kabiliyeti, yapısal yeterliği, trafik, birim maliyetler ve diğer bilgilerin toplanması ile başlar. Bakım programlanması, maliyet bedelinin minimizasyonu kullanılarak bütçeyi esas alır ve farklı bakım uygulamalarını değerlendirir. Onarım programlaması ise, benzer şekilde seçenekleri değerlendirir ve programlama periyodunda faydaları maksimum yapan yıllık öncelik listelerini hazırlar. Herhangi bir yıl için bakım ve onarım maliyetlerinin toplamının, verilen bütçeyi geçmemesi gerekir. Çalışmalarında örnek bir ağ üzerinde farklı bütçe seviyelerinde yıllık bakım ve onarım uygulamalarını programlayan bir örnek uygulama yapmışlardır.

Pedigo and Hudson (1982), çalışmalarında ağ seviyesinden de 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 amacı ile bir örnek vermişlerdir. Örnek çalışmanın sonuçlarına göre, geliştirdikleri modelin önceki modellerle karşılaştırıldığında daha iyi sonuç verdiğini göstermişlerdir.

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

Sharaf and Sinha (1984), başka bir çalışmalarında 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 oluşturmuşlardır. Sonuçta, istatistiksel korelasyon çözümlenmesi yaparak gelecek yıllardaki bakım seviyesi ve önceki yıllardaki bakım harcamaları arasında bir ilişki belirlemişlerdir.

Rada *et al.* (1985), proje seviyesinde optimal üstyapı stratejisini seçmek için en önemli kıstas olarak ömür-döngü maliyetinin esas alındığını belirtmişlerdir. Üstyapı yönetimi için ömür-döngü maliyeti modeli ve maliyet-etkin yöntemini içeren bir model geliştirmişlerdir. Önerdikleri yaklaşımın çözümlenme sonuçları, ömür-döngü maliyeti bir çok stratejiyi etkilemesi ile birlikte optimal seçimin her zaman minimum ömür-döngü maliyetini vermeyebileceğini göstermişlerdir.

Coucci-Rios and Sinha (1985), ağ seviyesinde yeniden yüzeleştirme önceliklerini belirlemek için bir optimizasyon yöntemi geliştirmişlerdir. Optimizasyon şemasında, düzensüzlük ölçümleri ve trafiği başlıca etkenler olarak dikkate almışlardır. Modelde farklı tipte yeniden yüzeleştirme çalışmaları uygulamışlardır. Üstyapı düzensüzlüğündeki azalma için, yeniden yüzeleştirme stratejileri ile ilişkili bir performans modeli geliştirmişlerdir. Ayrıca, gelecekteki düzensüzlük tahmini için bir belirleme işlemi kullanmışlardır. Geliştirdikleri optimizasyon modeli, farklı bütçe senaryolarının etkisini çözümlenebilmektedir. Bu model, gelecek 5 yıllık periyotta optimal yeniden yüzeleştirme programını elde edebilmek için üstyapı kesimlerinde yeniden yüzeleştirme stratejilerinin ne olacağını tahmin edebilir. Ayrıca

çalışmalarında, optimizasyon modelinin örnek uygulamasını bir ağ üzerinde göstermişlerdir.

Markov *et al.* (1987), üstyapı bakım ve onarımı 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 onarımını biçimlendirmiştir.

Chua (1989), yaptığı tez çalışmasında var olan sistemin çeşitli kısıtlamaları olmayı yüzünden bütün planlama periyodu boyunca yönetim kısıtlarının hepsini sağlayacak optimum bakım politikaları belirlemek için mekanik modellerin alt modellerini çalıştıran bir ÜYS modeli geliştirmiştir. Elde ettiği sonuçlar esnek ve güçlü bir ÜYS meydana getirmek için önemli bir model önerdiğini göstermiştir.

Hajek and Phang (1989) çalışmalarında, mevcut bütçeye göre en iyi bakım uygulamasını seçmeyi amaçlamışlardır. Proje stratejilerinin formülasyonu, bütçe ihtiyaçlarının değerlendirilmesi ve önceliklerin belirlenmesi amacıyla, Stanford'taki 75 kesime ait verileri kullanmışlardır. Çalışmalarının ana bileşenini, her bir üstyapı yönetim kesimi için üstyapı bakım veya onarım stratejisinin önerildiği eylem planı olarak tamamlamışlardır. Hazırladıkları bu eylem planını, bölgesel çalışanların deneyimleri ile ilişkilendirmişlerdir. Toplam üstyapı ağında maksimum faydayı elde etmek için optimizasyon yöntemi olarak doğrusal programlama yöntemini kullanmışlardır. Farklı optimizasyon amaçları ve farklı bütçe kısıtlarının etkisini değerlendirmek için duyarlılık çözümlemesini yapmışlardır.

Jackson (1989), Washington eyaletinde uygulanan ÜYS çalışmasını tanımlamıştır. Dört bilgisayar programı kullanarak geliştirdiği sistemde, hem yıllık hem de 6 yıllık onarım projeleri için en maliyet-etkin stratejinin önerilmesini sağlamak amacı ile karar vericiler için bir öncelik rehberi elde edilmektedir. Veri dosyalarının açılması, veri işleme

programlarının çalıştırılması, onarım optimizasyon programlarının işletilmesi ve Washington eyaletinin üstyapı yönetiminde nasıl kullandığını tartışmıştır.

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

Attoh (1997), taslak set analizinin ÜYS' deki kullanımının anlatıldığı bir çalışma yapmıştır. Taslak set analizi belirsiz bilgiler içeren karar problemlerinin ve sınıflandırmalarının modellemesi ve analizini yapar.

Attoh 1999'da yapay sinir ağlarının üst yapı performans modellemesinde kullanımını anlatan bir makale yapmıştır ve bu makalede gerçek durum ve trafik verileri kullanılmıştır. Bazı yapay sinir ağları parametrelerinin analiz üzerindeki etkilerini de araştırmıştır.

Pan *et al.* (1999), Çin için ağ seviyesinde bir ÜYS geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri ÜYS, üst yapı durum değerlendirmesi, performans tahmini, bakım ihtiyaç çözümlemesi ve bütçe ataması verilerini kullanmaktadır. Üstyapı durum değerlendirmesi için, üstyapı durum indeksi (PCI), sürüş konforu indeksi (RCI) ve üstyapı kalite indeksini (PQI) kullanmışlardır. Üstyapı performans tahmini için ise S şekilli basit doğrusal eğri kullanmışlardır. Bakım ihtiyaçlarını belirlemek için fayda/maliyet çözümlemesi yöntemini kullanmışlardır.

Cafiso *et al.* (2001), yaptıkları çalışmada Karayolu Tasarım ve Bakım Standartları Modeli (HDM-4) ile çok kıstaslı analiz (MCA) sağlamak için bir yöntem geliştirmişlerdir. Bu metodu geliştirmelerinin sebebi; sosyal faydalar, çevre etkileri, güvenlik etkisi, yolların stratejik önemi gibi diğer faktörlerin karar verme taslağı içinde

bulundurulmasıdır. Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi HDM-4 de uygulamak için seçilmiştir. Çünkü bu işlem sistematik bir şekilde birbiri ile çelişen amaçların analizini, değişkenler arasında çeşitli basit karşılaştırma serilerine dönüştürür. AHP yönteminin yol yönetimine uygulanabilirliğini kontrol etmek ve analizden üretilen çıktıların etkilerinin analizi için pilot bir uygulama yapmışlardır ve HDM-4 ekonomik kıstası kullanılarak elde edilen sonuçlar ile AHP metodundan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Analizde 3 trafik seviyesi ve 3 üstyapı durumu kullanılmıştır. Analiz sonuçları göstermiştir ki; ekonomik kritere dayalı olan tercihe göre çok amaçlı analize dayalı olan tercih, var olan bütçeyi daha eşit bir şekilde dağıtmıştır. AHP'nin ÜYS ile daha uyumlu olduğunu görmüşlerdir. Çünkü her alternatif için çok kıstaslı indeks üretmektedir. Bu da kullanım ölçüsünü vermektedir ve tekrar proseslerindeki ömür döngü parametrelerine daha uygundur.

Ferreira *et al.* (2002), ağ seviyesindeki bir ÜYS'nde kullanılabilecek yeni bir GA optimizasyon modeli kullanmışlardır. Modelin amacı verilen zaman aralığında yolu belli bir kalite standardında tutarak beklenen toplam bakım maliyetini minimize etmektir. Model üç farklı yol ağına uygulanmıştır ve aynı problem dal-sınır yaklaşımı ile de çözümlenip karşılaştırma yapılmıştır. Sonuçlar modelin yol mühendisliği için önemli bir araç olduğunu da göstermiştir.

Ferreira *et al.* (2002), deterministik üstyapı yönetim sisteminde kullanılabilecek birbirine bağlı yol kesimleri için optimizasyon modeli önermişlerdir. Bu model ile, uygulanabilir teknik ve bütçe sınır şartları göz önünde bulundurularak yol ağında uygulanacak en düşük maliyetli bakım onarım stratejisini geliştirmek amaçlanmıştır. Yolun durumu bozulmalar dikkate alınarak deterministik performans modelleri ile tahmin edilmiştir. Tüm üstyapı kalitesi, şimdiki servis kabiliyeti indeksi (PSI) modifiye versiyonu ile temsil edilmiştir. Modeli çözmek için geliştirdikleri yöntem GA prensiplerine dayanıyordu ve modelin uygulanması Portekiz'in en büyük 3. şehri olan Coimbra yol ağında gerçekleştirilen örnek bir çalışma ile gösterilmiştir. Bu çalışma sonucunda elde edilen model yol mühendisleri için önemli bir araç olmuştur.

Abaza (2002), esnek yol üstyapuların optimum bakım ve onarım planları için ömür döngü modeli geliştirmiştir. Model, verilen analiz periyodu boyunca optimizasyon işlemine performans ve maliyetin ikisini de dahil etmiş ve maliyetin performansa oranı olarak ömür döngü parametresi tanımlamıştır.

Labi and Sinha (2003), çalışmalarında kısa süreli bakım stratejilerinde bozulma etkilerini, performans değişimlerini ve bozulma ölçümlerinin etkilerini araştırmışlardır. Her ölçüm için hesap yöntemlerini, eşanlı terimlerin tanınması, dolaylı veya açık olarak ölçümleri kullanılan çalışmaların sunumunu yapmışlardır. Üstyapı bakım ve performans ölçümleri arasındaki nispi zamanlar, hesaplamalarda verilen yıl için oldukça önemlidir. Ölçüm yapıldıktan önceki bakım ve ölçüm yapıldıktan sonraki bakımın her ikisinde arazi ölçümlerinin kullanıldığı ve her bir ölçümü hesaplayabilen matematiksel formüller elde etmişlerdir. Sonuç olarak bu ölçümlerin nasıl hesaplanacağını göstermişlerdir.

Abaza *et al.* (2004), çalışmalarında üstyapı mühendislerine etkili bakım onarım planı oluşturabilmek için birleşik ÜYS tasarlamışlardır. Geliştirilen model ile kesikli zaman Markov modeli kullanarak üstyapı bozulmasını tahmin etmişlerdir. İki temel seçenek ile etkili bir karar politikası kullanmışlardır. Birinci seçenekte, beş farklı durumdaki yolların oranları optimize edilmeye çalışılmış ve bütçe, sınır şartı olarak kullanılmıştır. İkinci seçenekte, bakım onarım maliyeti minimize edilmiş ve yol durumu sınır şartı olarak kullanılmıştır. Sistem, üstyapı yönetim sistemlerinden seçmek için iki yaklaşım uygulamıştır. İlk yaklaşım aynı durum şartında olan yol kesimlerinin rastgele seçim yöntemi ile seçilmesidir. İkinci yaklaşım en kötünün seçilmesi yöntemidir. Optimizasyon ,penaltı fonksiyon yöntemi ve üniform arama yöntemi olmak üzere 2 farklı yöntem kullanılarak yapılmıştır.

Ouyang and Madanat (2004), belirli bir süre için ömür döngü maliyetini minimize eden optimum üstyapı bakım senaryosu için matematiksel bir model sunmuşlardır. Formül ayrık kontrol teorisine dayanmaktadır. Doğrusal olmayan üstyapı performans modeli ile tamsayı karar değişkenleri birleştirilerek karışık tamsayı doğrusal olmayan programı

oluşturulmuştur. Bu model için dal-sınır yaklaşım algoritması ve sezgisel olmak üzere iki tane çözüm yaklaşımı önerilmiştir. Sonuçta sezgisel yaklaşım çözümünün daha az bilgisayar programlama maliyeti ile birlikte tam optimum çözüme yaklaşımda daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlenmiştir.

Kırbaş ve Gürsoy'un (2007), çalışmalarında herhangi bir bölge için kurulacak ÜYS' de bakım, onarım, yenilenme ve iyileştirme gibi faaliyetlere karar vermede kullanılacak verilerin hangi türlerden oluşabileceği, toplanan bu verilerin ne sebeplerle oluşabileceği, hangi amaçlar için kullanabileceği üzerinde durulmuştur. Ayrıca, veri tabanını gereksiz yere doldurmaksızın, üstyapıların mevcuttaki ve gelecekteki durumlarını tespit ve tahmin etmeye yarayan verilerin türleri ve sınıfların açıklanmasının yanında, yol bakım, onarım vb. gibi faaliyetlerde hangi tür verilerin ne şekilde yorumlanarak karar verilebileceği Beşiktaş ilçesi sınırlarında yapılan bir uygulama ile gösterilmiştir.

Goodman (1998), yaptığı tez çalışmasında etkili ve verimli üstyapı bakım stratejileri seçimi için bir yöntem geliştirilmiştir. Çalışmasında üstyapı bakım stratejisi için iki elementi ele almıştır. Bu elementlerin birincisi reaktif, ikincisi proaktiftir. Reaktif yöntem insan tecrübesine dayalı, proaktif teknik ise yolun bozulmasında var olan ihtimal ihtimaline dayalıdır. Uzun dönemli strateji önerildiğinde her bir üstyapı için bireysel ömür döngü maliyet stratejileri geliştirilir. Ömür döngü maliyet analizi kullanılarak en az maliyete sahip alternatif seçilmektedir. Bütün üstyapılar ömür döngü bakım stratejisine sahipse önem sırasına göre sıralanırlar ve en yüksek sıraya sahip üstyapılar bütçe bitene kadar desteklenir. Düşük sıradaki projelerin bakımları yeterli bütçe elde edilene kadar ertelenir. Bu sistem son yıllarda bakım mühendisleri ve planlayıcılar tarafından bütçe seviyesine bağlı olduğu için kullanışlı olarak kabul görmemiştir.

Bu çalışmada ÜYS ağ seviyesi modelinin özel ağ linkler tanımlamaları içeren yeni bir formülü geliştirilmiştir. Üstyapı durumunu modellemek için Markov geçiş olasılığı kullanılmıştır. Model içinde çeşitli linklerin birleştirilmesi ağ seviyesinden proje seviyesine kolay bir geçiş sağlamaktadır. Ayrıca bu formül kullanıcı maliyeti ve yatırım

maliyetini kolaylıkla birleştirmek ve çözümde özel sınırlamaları da içermektedir. Formül büyük skalalı doğrusal programdır ve DP formülünden elde edilmiştir (Mbwana and Turnquist).

2.2. Markov Geçiş İhtimal Matrisleri

Tjan and Pitalako (2005)'de yaptıkları çalışmada, üstyapı durumunu tahmin etmek için var olan çeşitli yöntemlerden biri olan Markov tekniğini kullanmışlardır. Geçiş ihtimal matrisini elde etmek için geçmiş verileri kullanmışlardır. Üstyapı durumu, üstyapı durum indeksi (PCI) ile gösterilmiştir ve 10 farklı yol durumu kullanılmıştır. Her bir matris çözümü yol durumunu tahmin etmiştir ve gerçek değerlerden bazı sapmalar göstermiştir. Bütün matrislerden yol durumları tahmin edilmiştir. En az sapmaya sahip matris en uygun matris olarak belirlenmiştir.

Yang *et al.* (2005), bu çalışmada lojistik bir modele dayandırılarak belirlenen geçiş ihtimallerinin üstyapı çatlak performansını tahmin etmek için, tekrarlayan veya dinamik bir zincirinin kullanıldığı yeni bir yöntem kullanılmıştır. Bu model temel Markov kabulleri ile uyum içerisindedir. Çünkü model yalnızca diğer ilgili verilerle birlikte şu anki çatlak durumunu kullanır. Ayrıca bu model açık bir yapı içerisinde geçiş ihtimallerini sürekli güncelleme özelliğine sahiptir. Bir örnek çalışma ile güncel popüler statik Markov zinciri ile yeni geliştirilen tekrarlayan Markov zincirlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Bu karşılaştırma için her iki yöntemle ilgili geçiş ihtimalleri Florida eyaletinin üstyapı durum araştırma verilerinden elde edilmiştir. Ayrıca tahmin doğruluğu bakımından tekrarlayan Markov zincirinin stokastik Markov zincirinden nasıl daha iyi olduğu gösterilmiştir. Bu yüzden, tekrarlayan Markov zincirinin, çatlaklar bakımından üstyapı bozulma modellenmesi için, işlemleri daha doğru, daha uygulanabilir, hepsinden önemlisi hesaplanabilir etkili yöntem sağladığı sonucuna varılmıştır.

Jha and Abdullah (2006), yaptıkları çalışmada verilen plan ömründe yol kenar donanımları için optimum bakım stratejilerini göz önüne alarak üstyapı ömür döngüsünü maksimum yapmak için Markov modeli geliştirmişlerdir. Markov ağacının kümesel ve nispeten kompleks olmasının sonucundan dolayı geliştirilen optimizasyon modelini çözmek için genetik algoritmalar geliştirilmiştir. Bu zorluktan dolayı dinamik programlama gibi geleneksel yaklaşımlar yetersiz kalmışlardır. Deterministik ve ihtimal yaklaşımları altında farklı bakım durumları için farklı formüller geliştirilmiştir. Yol kenarı donanımı için aynı zamanda ihtimal bozulma fonksiyonu da geliştirilmiştir. Deterministik yaklaşımının etkilerini araştırmak için temsili bir örnek gösterilmiş ve gelecek çalışmalar için bazı yönlendirmeler yapılmıştır. İlk adımda önerilen yaklaşım yol kenarı donanımlarının bakımlarını planlamış ve bakım bütçesini optimum bir şekilde dağıtmıştır. Genetik algoritmaların Markov doğasının zor problemler için uygun olduğu görülmüştür.

Garcia *et al.* (2006), geçiş ihtimallerini belirlemek için, üç farklı yöntem geliştirmişlerdir. İlk yöntem, geçmiş verilerin her bir yol kesimi için var olduğunu kabul etmiştir. İkinci yöntem, orijinal verilerden elde edilen regresyon analizini kullanmıştır. Üçüncü yöntem ise, yıllık durum dağılımının var olduğunu farz etmiş her bir durum için amaç fonksiyonları orijinal verilerden elde edilen fonksiyonlar ve GİM tarafından elde edilen fonksiyonların farklarını minimum yapmayı amaç edinmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarında ilk iki yöntemin regresyon eğrileri ile uyumlu olduğu, üçüncü yöntemin ise dağılımın orijinal verilerle karşılaştırılabilir olduğu gözlenmiştir. Bu yüzden üçüncü metodun geçiş matrisi formülasyonu için mühendislere yardım etmede analitik bir araç olabileceği söylenmiştir.

Li *et al.* çalışmalarında homojen olmayan Markov ihtimal model programını farklı durumlardaki üstyapı bozulma oranlarını tahmin etmek için geliştirmişlerdir. Bu programda geçiş ihtimal matrisleri (GİM) zamana bağlı olarak düşünülmüştür. GİM'in her bir elementi güvenilirlik analizine ve Monte Karlo Simülasyon tekniğine bağlı olarak belirlenir. Bu, var olan geleneksel yöntemlerin kullanımını engeller. Sonuç olarak farklı durumlardaki GİM serileri programın çalıştırılması ile bulunabilir.

2.3. Performans Tahmini

Owusu *et al.* (1998), kırılma mekaniği prensipleri kullanarak kompozit üstyapıların gerçek hayattaki davranışını modellemek ve yansıma çatlaklarının miktarını tahmin etmek için bir model geliştirmişlerdir. Modelin mekanik doğası sayesinde tasarım kontrolleri ve ÜYS için performans tahmini oldukça etkilidir. Aynı zamanda, herhangi bir trafik dağılımında gerçek yüklerin bozma etkisini hesaplama imkânı verdiği için, bütçe dağılımı uygulaması için önemli bir potansiyele sahiptir.

Shekharan (1998), yapay sinir ağları ile elde edilen şimdiki servis oranı PSR (Present Serviceability Rating) değerlerinin regresyon eşitliğinden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmasını yaptığı bir çalışma sunmuştur. Üstyapıların PSR değerlerini tahmin etmek için 6 veri tabanı oluşturmuş ve bunları YSA'nın eğitilmesi için kullanmıştır. Aynı veriler için regresyon eşitliği de oluşturularak her iki yöntemden elde edilen tahminleri karşılaştırmıştır. Sonuçlar verilen datalar için YSA'nın daha doğru tahmin yaptığını göstermiştir.

Bozulma modelleri üstyapı mühendisleri için çok büyük önem taşımaktadırlar. Çünkü bu modeller onlara şimdiki ve gelecekteki üstyapı durumu hakkında bazı öngörüler sağlar. İsveç'te üstyapı tekerlek izi derinliğinin tahminine çok fazla önem verilmektedir. Tekerlek izi üstyapının enine profilinde meydana gelen çöküntüden oluşur. Bu bozulma İsveç'te tecrübe edilen en önemli bozulma tiplerinden bir tanesidir. Yapay sinir ağları kısa dönemdeki tekerlek izi tahmininde uygulanmıştır. Üstyapı bozulmalarının tahmini için kullanılan yapay sinir ağlarının en ilgi çekici özelliklerinden bir tanesi örneklenmiş verilerden yaklaşık doğrusal olmayan fonksiyonlara sahip olmasıdır. Eldeki deneysel veriler üstyapı hava ve trafik durumları hakkında tarihsel bilgilerden oluşmaktadır. Lineer regresyon modeli ve çok tabakalı sinir ağları modelinin performansları karşılaştırılmış ve çok tabakalı sinir ağları modelinin daha üstün olduğu gözlemlenmiştir (Anonim 2000).

Prozzi and Madanat (2003), üstyapı performans tahmini için trafik karakteristiklerinin, üstyapı yapısal özelliklerinin ve çevre şartlarının fonksiyonu olan doğrusal olmayan bir model kurmuşlardır. Modelin avantajlarından biri fiziksel bozulmaları çok daha iyi temsil eden fonksiyonel formun kullanılabilmesi, diğer bir avantajı da doğru şartname ve istatistikler kullanıldığından dolayı tahmin edilen parametrelerin tarafsız olmasıdır. Önerilen modelin standart hatası, doğrusal modelin standart hatasının yarısı olarak elde edilmiştir.

Luo and Chou (2006), makalelerinde üstyapı bozulmalarını modellemek için verileri bir eğriden daha fazla uyumlu olan küme regresyon modeli ile tanıtmışlardır. Modeli pratikte çözümlenebilir yapmak için modelde bazı modifikasyonlar yapılmıştır. Bu modifikasyonlar, bulanık set kabulleri ilgili hatalar ile kullanılarak her bir küme için üstyapı üyelikleri tahmin edilerek yapılmıştır. Herhangi bir modifiye küme regresyon modeli sonuçlarına göre şimdiki yaşıdaki (PCR) değeri bilinebilmektedir. Çeşitli örneklerin uygulanması sonucunda modifiye küme regresyon metodunun küçük hatalar verdiği görülmüştür ve bu da tahminin doğru bir tahmin olduğunu göstermiştir. Sonuçların tam doğru sonuç vermesi için üstyapı ailesinin veya verilerin doğru tanımlanmasını önermişlerdir.

Livneh, çalışmasında matematiksel uyum tekniği içinde kullanmak için deterministik bozulma modeli geliştirmişlerdir ve var olan modeldeki bazı engelleri düzeltmek için kullanılabilir olan yeni birim bozulma modelini tanıtmışlardır. Yeni prosedür, aynı grup değişkenlerine sahip çeşitli üst yapı kısımlarının aile veri dosyalarına uygulamıştır ve her bir kısmın aile veri dosyası içindeki tahmini, aile tahmin eğrisine oranla olan pozisyonu oluşturularak yapılmıştır. Ömür döngü analizi ve optimum bakım onarım stratejilerini geliştirmede kullanılmak üzere üst yapının gelecekteki durumu gerekmektedir. Illinois'te son yıllarda elde edilen bozulma eğrileri kullanılmıştır. Bu modelde performansın fonksiyonu SN (Structure Number), trafik yükü, yaş ve iklim durumları gibi önemli mühendislik parametreleri kullanılarak oluşturulmuştur. Ve bu çalışmada kullanılan tahmin metodu İsrail ÜYS geliştiricileri tarafından denenmiştir ve sonuçlar metodun etkili olduğunu göstermiştir.

Yüce vd. ağ seviyesi pilot ÜYS oluşturulmasında kullanılan verilerden yararlanılarak Türkiye karayolları için bir performans modeli geliştirmişlerdir. Çalışmanın bir bölümünde temel malzemesi eşdeğer kalınlığı, taban elastik modülü ve toplam trafiğe (ESAL) bağlı olarak sınıflandırılmış kesimler için çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılarak pilot ÜYS çalışmalarında, performans ölçüsü olarak belirlenmiş üstyapı kalite indeksi ile toplam trafik yükü ve yolun hizmet süresi arasında bir ilişki araştırmışlardır. Bir diğer bölümde AASHTO'93 metodunun bilgisayar programı olan Darwin'in Türkiye'nin değişik trafik ve taban mukavemeti özellikleri için uygulanması ile hesaplanan SN değerlerine göre, hizmet kabiliyeti indeksi- ESAL cinsinden performans eğrileri çizilmiştir. Çalışmanın üçüncü bölümünde, taban defleksiyonu ve yüzey düzgünsüzlüğü arasındaki ilişkiye bağlı olarak geliştirilmiş OPAC performans modeli oldukça yüksek trafiğe maruz bulunan Türkiye yolları için uygulanmıştır.

2.4. Yapay Bağışıklık Sistemleri

Attoh (1997), çalışmasında yapay bağışıklı sistemlerinin temel teorisini anlatmış ve bu tekniğin üst yapı yönetimi karar verme aşamasında nasıl kullanılabileceğini derlemiştir. Çalışmasında herhangi bir sayısal örneklendirme yapmamıştır, ancak ÜYS için önemli bir araç olduğuna dikkat çekmiştir.

Somayaji *et al.* (1997), biyolojik bağışıklık sistemine dayanarak bir bağışıklık sisteminin geliştirilmesi sürecini geniş bir şekilde anlatmışlardır. Bağışıklık sistemlerinin kullanılabilir prensiplerini ve uygulama için mümkün olan yapıyı ortaya koymuşlardır.

Hart *et al.* (1998), her işin belirli başlama ve bitiş tarihlerinin olduğu atölye tipi çizelgeleme problemlerinde maksimum gecikmeyi, en aza indirmek için YBS kullanmışlardır. Model iki aşamalı çalışmıştır. Birinci aşamada fabrikada en sık kullanılan ortak iş çizelgeleri modellerini tespit etmek için genetik algoritma ile birleştirilmiş bağışıklık sistemi kullanılmıştır. İkinci aşamada tespit edilen modeller

kullanılarak yeni çizelgeler üretmek için doğal bağışıklık sistemlerinin kombina torik özellikleri modellenmiştir. Sonuçlar geniş çaplı bir araştırma prosedürü kullanan bir model ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre önerilen algoritmanın oldukça başarılı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Bir yapay bağışıklık sisteminin dağıtılmış, sağlam, dinamik, çeşitlendirilmiş, adapte edilebilen bir sistem olması özelliklerini kullanarak, bilgisayar ağı güvenliği konusunda yapılmış olan bir çalışmada, bağışıklık sisteminin kullanışlı özelliklerinin hepsini içeren temel bir tip algılayıcı tanımlanmıştır. Kurulan yapay bağışıklık sistemi, bir sınıflandırıcı sistemin çoğu önemli özellikleri ile örtüşmüştür. Çalışma sonunda önerilen YBS, her birinde 100 algılayıcının bulunduğu, 50 bilgisayardan oluşan bir ağ sisteminde sekiz tane normal dışı olayın tamamını tespit etmiştir. Bu alandaki bazı sistemler bir ayda milyonlarca yanlış alarm verirken; önerdikleri sistemin günde ortalama iki yanlış alarm verdiğini rapor etmişlerdir (Hofmery and Forrest 1999).

Castro and Zuben (2001), çalışmalarında bağışıklık tepkilerinin olgunlaşma benzerliklerini açıkça dikkate alan klonal seçme prensiplerinin bilgisayar uygulamasını önermişlerdir. CLONALG olarak adlandırılan genel algoritma ilk başlarda makine öğrenme ve numune tanımlama konularında kullanılmıştır ve sonradan optimizasyon problemlerini, çok amaçlı ve kombine optimizasyonlarını çözmeye adapte edilmiştir. Algoritmanın iki versiyonu türetilmiştir ve bunların her bir tekrarı için hesap maliyetleri gösterilmiş ve kullanıcı tarafından tanımlanan parametrelerin hassasiyet analizleri verilmiştir. CLONALG aynı zamanda evrim stratejileri ve genetik algoritmalar ile karşılaştırılmıştır. Çeşitli problemler CLONALG'nin performansını belirlemek için uygulanmış ve aynı zamanda çok amaçlı fonksiyon optimizasyonları için kullanılan niching yöntemleri ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak algoritmanın; yüksek kaliteli hafızasının bakımı ve öğrenmenin uygulanabilir olduğu doğrulanmıştır ve aynı zamanda kompleks mühendislik konularını çok amaçlı ve kombine optimizasyon problemlerini çözebilmiştir.

Atölye tipi çizelgeleme problemlerine sağlam çözümler bulmak amacı ile yapılan bir çalışmada; optimal çizelgeler yerine, değişen şartlara göre üzerinde kolayca değişiklik yapılabilecek çizelgelerin bulunması amacıyla yönelik bir yapay bağışıklık sistemi geliştirilmiştir. Çalışmada ayrıca, bir sağlamlık kıstası tanımlanmıştır. Bu kıstasa göre yapılan değerlendirmelerle sağlam çözümlerin YBS ile bulunabildiği bildirilmiştir (Jensen and Hansen, 2002).

Engin ve Döyen (2004), yapmış oldukları çalışmada YBS'nin endüstriyel problemlerde kullanımını araştırmışlardır. Ayrıca yapmış oldukları araştırmada YBS ve genetik algoritma tekniklerini karşılaştırarak güçlü ve zayıf yönlerini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmalarında öncelikle YBS'de kullanılan doğal bağışıklık mekanizmaları, bu mekanizmalara dayanan algoritmalar verilmiştir. Bu mekanizmalara dayanan modeller ile farklı problemlerin çözümleri için yapılmış çalışmalar incelenmiştir. Çalışma sonuçlarına göre; YBS farklı uygulama alanlarında oldukça tatmin edici sonuçlar vermiştir.

Garett (2005), yaptığı çalışmasında YBS'nin negatif seçim, klonal seçim ve bağışıklık ağı gibi bilinen standart tiplerini incelemiştir. Çalışma sonucunda göstermişlerdir ki; YBS'nin bütün tiplerinin kullanışlı olması için gerekli bütün kriter taslaklarını sağlamışlardır. Son olarak her bir YBS tipine kolay karşılaştırma yapabilmek için fayda kıstaslarını uygulayarak sonuçları özetlemişler ve YBS nin ne kadar kullanışlı olduğu sorusuna cevap vermişlerdir.

Dasgupta (2006), yaptığı çalışmada YBS avantajlarını araştırmıştır. Araştırma sonucunda negatif seçim algoritmalarının diğer YBS yaklaşımlarına kıyasla daha sık kullanıldığını belirtmiştir. Ancak YBS tekniklerinin birçok başarısına karşın bazı konuların açık kaldığını bildirmiştir. En önemli olarak her bir modelin tek ve kullanılabilir olduğu belirlenmelidir. Konunun çok yeni olmasından dolayı var olan birçok araştırmada bu algoritmalar iyi bir şekilde ölçeklenmemiştir. Bunların yanında YBS'lerini gerçek dünya problemlerini çözme tekniği yapan bazı kabuller ifade edilmiştir. Bunlar algoritmaların etkilerini düzeltme, temsillerini zenginleştirme, diğer

bağışıklık mekanizmalarını tanıtmak ve çeşitli YBS modelleri ile birleştirilebilecek birim yapılar geliştirmektir.

Freschi and Repetto, çalışmalarının amacı olarak bağışıklık sistem davranışına dayalı yeni çok amaçlı optimizasyon algoritmalarını önermeyi ve geçerli kılmayı göstermişlerdir. Bu çalışmanın temeli YBS'nin çok amaçlı optimizasyonların NSGA2 algoritması ile karşılaştırılmasıdır. Algoritma üç standart kısıtlı ve kısıtsız problemlere karşı test edilmiştir ve üç farklı ölçü kullanılarak karşılaştırılması yapılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki; önerilen yaklaşım NSGA2 tarafından üretilen sonuçlar benzer ya da daha iyi sonuçlar vermiştir ve standart algoritmalara alternatif bir çözüm olabileceği gösterilmiştir.

Tsai *et al.* (2007), çalışmalarında, modifiye Taguchi bağışıklık algoritması (MTIA) olarak adlandırılan düzeltilmiş bağışıklık algoritmasını kullanarak sürekli değişkenler ile global nümerik optimizasyon problemlerini ve kombine optimizasyon problemlerinin çözümünü önermişlerdir. MTIA, güçlü global araştırma yeteneğine sahip optimum antikoru araştıran Taguchi metodunu bütünleştirememiştir. Taguchi metodu en iyi antikoru seçme kabiliyeti MTIA algoritmasını zenginleştirmiştir. Önerilen MTIA algoritması 15 probleme uygulanmıştır ve sonuçlar göstermiştir ki MTIA sadece optimum sonucu bulmuyor aynı zamanda iyileştirilmiş GA'lara göre daha iyi güçlü sonuçlar vermektedir.

Engin ve Döyen (2007), YBS'ni kullandıkları çalışmada, bağışıklık tepkisinin iki ayrı mekanizması olan klonel seçim prensibi ve benzerlik mekanizması üzerine kurulu bir yöntem kullanmışlardır. Meta sezgisel yöntemlerde seçilen operatörler, çözüm kalitesi üzerinde önemli bir role sahip olduğu için YBS'nin etkin parametrelerinin belirlenmesinde çok aşamalı bir deney tasarımı prosedürü uygulanmıştır. Deney sonuçları, YBS'nin klasik çizelgeleme ve tavlama benzetimi algoritmalarından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

2.5. Genetik Algoritma

Fwa *et al.* (1998), genetik algoritmanın ağ seviyesindeki ÜYS aktivite programlarına uygulanmasını göstermişlerdir. Genetik algoritma tekniğinin işlevsel karakteristikleri ve bunların ÜYS program problemlerinin çözümüyle olan ilişkilerini tartışmışlardır. Genetik algoritmaların sağlam arama kapasiteleri, geniş çözüm uzayı olan ÜYS programlarının kısıtlı problemlerini etkili bir şekilde çözdüğünü görmüşlerdir. Çeşitli amaç fonksiyonu örnekleri ile genetik algoritmaların çok yönlülüğüne dikkat çekilmiştir. Ve bu çok yönlülük, algoritmaları ÜYS planlamaları için etkili bir araç haline getirmiştir. Ayrıca iki ya da daha fazla amaç fonksiyonunun GA bilgisayar programını değiştirmeden kullanılabilceğini göstermişlerdir. GA' nın bir diğer avantajı da en iyi sonuç yerine optimuma en yakın sonuçları elde etmesidir. Bu, kullanıcılara pratik sınır şartı içermeyen optimizasyon analizlerinin bütün çözümlerini kontrol etme esnekliği sağladığı için pratik bir önem sağlamaktadır.

Hadi and Arfiadi (2001), yaptıkları çalışmada üst yapı malzemelerinin toplam maliyetinin amaç fonksiyonu olduğu ve bütün kısıtların dizaynı etkilediği, optimum rijit yol üst yapı tasarımları için bir formül sunmuşlardır. Optimum tasarımı bulmak için genetik algoritmalar kullanılmıştır. GA'den elde edilen sonuçlar Newton-Raphson esaslı optimizasyon çözücüsünden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. GA rijit üstyapı seviye problemine kolaylıkla adapte edilmiştir. GA'nın ayrık doğası, ayrık rijit üstyapı tasarımı için kullanılmıştır.

Sundin and Braban-Redoux (2001), yapay zekâ yöntemlerinin ÜYS deki kullanımını anlatan çalışmaları araştırmış ve kullanılacak teknikler önermişlerdir. Bu teknikler yapay sinir ağları, bulanık mantık, genetik algoritma ve hibrid sistemlerdir. Sonuç olarak, bu sistemlerin üst yapı yönetim mühendislerine kapasitelerini kullanmakta önemli derecede yardımcı olduğunu göstermişlerdir.

Marzouk and Moselhi (2003), yapmış oldukları çalışmada sınır şartlı GA'ların buldozer operasyonlarının optimizasyonda kullanılmasını araştırmışlardır. Algoritma, seçilen ekipmanın etkili kullanılmasını ve buldozer operasyonlarının toplam maliyetinin minimum yapılmasını amaçlamışlardır. Algoritmada, kromozomların rastgele seçiminde seçim mekanizması olarak rulet seçim metodunu ve turnuva metodunu kullanmışlardır. Çaprazlama ayrık veya aritmetik form olarak uygulanabilmiştir. Bunlara ek olarak algoritma eni iyi kromozomları seçerek ve kromozom bilgilerini veri tabanında muhafaza ederek etkili hale gelmiştir. Önerilen algoritma sayısal örneklerle açıklanarak, kullanılabilirliği açık bir şekilde belirtilmiştir.

Terzi (2004), doktora çalışmasında bulanık mantık yöntemi ile performans modelleri geliştirmiştir. 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 seviyesi 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 onarım programlaması, verilen bütçe sınırı içinde yapılabilmektedir. Bu çalışmada geliştirilen modellerin bir Üstyapı Yönetim Sistemine uyarlanması ve bu modellerin çalışılabilirliğini göstermek amacıyla bir CBS yazılımı yazılarak geliştirilen modeller bu platformda birleştirilmiştir. Bu amaçla, örnek bir ÜYS oluşturulmuştur. Ağ seviyesinde 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.

Bosurgi and Trifiro (2005), esnek üstyapılarda yapay sinir ağları (YSA) ve genetik algoritmaları kullanarak bakım için var olan ekonomik kaynakların en uygun biçimde kullanılmasını tanımlamışlardır. Çalışmada YSA, kaza tahmin modeli ve yan güç katsayı tahmin modelinin belirlenmesi için kullanılmıştır. Optimizasyon problemi ise YSA' dan elde edilen sonuçlar kullanılarak GA ile çözülmüştür. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki; büyük genişlikteki mümkün sonuçlardan yeterli kısa zamanda optimum sonuç elde edilmiştir.

Herabat and Tanghalsaki (2005), çalışmalarında Tayland'daki üstyapı bakım yönetiminin çok yıllık karar işlemini desteklemek için çok amaçlı optimizasyon modeli geliştirmişlerdir. Bu çalışmada önleyici bakım, üstyapının ömrünü uzatmada yardımcı olacağı için oldukça önemsenmiştir. Çok yıllık bakım planları için tek amaçlı ve çok amaçlı optimizasyon modelleri için sınır şartlı genetik algoritmalar, kullanılan ağ seviyesindeki bakım planları için geliştirilmiştir. Geliştirilen modellerde bütçe kısıtlaması ve ağ sistem korunması olmak üzere iki sınır şartı kullanılmıştır ve bakım senaryosu, geliştirilen modelin kullanılabilirliğini göstermek için seçilmiştir.

Shivatoki and Soleymani (2006), çalışmalarında Markov geçiş ihtimalleri, Genetik algoritma ve Monte Carlo simülasyonu kullanarak ÜYS için optimum karar programı geliştirmişlerdir. Markov geçiş ihtimalleri üstyapı ağ durumunu tahmin etmek için kullanılmıştır. GA benzer çalışmalar sonunda farklı sonuçlar üretebilmektedir ve bu birkaç optimum sonuç elde edilmesini sağlamaktadır. Monte Carlo simülasyonu GA'dan elde edilen her optimum sonucun karasız analizi için kullanılmıştır. Önerilen yöntemi göstermek için farazi bir örnek göstermişlerdir.

Morcous *et al.* çalışmalarında altyapı ağlarının optimum bakım alternatiflerini belirlemek için genetik algoritma kullandıkları bir yaklaşım sunmuşlardır. Optimum bakım alternatifleri, ömür döngü maliyetinin güvenilirliği ve fonksiyonel ihtiyaçları karşılayarak minimum yapan alternatiflerdir. Bakım optimizasyonun da genetik algoritmanın kullanılmasının sebebi, genetik algoritmaların büyük optimizasyon problemlerini çözmede güçlü kapasitelerinin olmasıdır. Önerilen yaklaşımda

performans tahmini, bakım operasyonları, başlangıç durumu için Markov zincir modeli kullanılmıştır.

2.6. Pareto Optimizasyonu

Mbwana (1993), yaptığı çalışmada stokastik çok amaçlı ÜYS geliştirmek için bir taslak önermiştir. Çalışmada çok amaçlı sistem ve bunun tek amaçlı ÜYS'den farklılıklarına dikkat çekilmiştir. Makalede gösterilmiştir ki ;önerilen yaklaşım çeşitli baskın olmayan (Pareto optimum) politikalar ile sonuçlanmıştır. Bu ÜYS politikaları, birbirlerine rakip çözümlerdir. Bu yaklaşımın en büyük avantajı, karar vericiye ÜYS politikalarının son seçiminde önemli bir karar verme yeteneği vermesidir. Makalede yaklaşımın diğer avantajları da sunulmuştur. Bu avantajlar benzer sonuçlara sahip, düzgünlüğe veya bozulmalara dayalı politikaların üretilmesini içerir. Bu özellik aynı zamanda bozulma düzgünlük tablosu geliştirerek her ikisine de bağlı uygulamalar geliştirebilmektedir.

Fwa *et al.* (2000), yapmış oldukları çalışmada ağ seviyesindeki ÜYS'lerinin çok amaçlı problemlerini çözmek için GA tabanlı bir prosedür geliştirmişlerdir. Optimum çözümü seçmek için Pareto optimizasyon çözümü ve sıralı uygunluk değerlendirme yöntemleri seçilmiştir. Genetik algoritmaların güçlü arama karakteristikleri ve çoklu çözüm yeteneği ile genetik algoritmanın çok amaçlı optimizasyon analizleri için uygun olduğu görülmüştür.

Veldhuizen and Lamont (2000), araştırmalarında dikkatli bir şekilde çok amaçlı optimizasyon (MOEA) problemlerini ve ilgili kavramları tanımlamak, MOEA sınıflandırma şemasını sunmak ve güncel MOEA'ların çeşitliliğini belirlemeyi hedeflemiştir. Var olan MOEA teorik gelişmeleri belirlenmiş, uygunluk fonksiyonu, pareto sıralama, uyumluluk paylaşımı, sınırlama ve ikinci popülasyon gibi özel konular belirlenmiştir. Çalışmaların pareto temelli notasyon ile uyumlu olması MOEA araştırma eğilimi için geniş ölçüde karar vermeye izin vermektedir.

Roosen *et al.* (2003), yapmış oldukları çalışmada 2002 yılında yaptıkları optimizasyon sonucunda sistemin seçmesi gereken kararı vermeden önce problemin pareto kuralçözümlerini tanımlamışlardır. Evrime dayalı etkili ve kolay bir şekilde adapte olabilen sayısal pareto optimizasyon tekniğini ele almışlardır. Ve evrimsel pareto optimizasyonunun kullanılabilirliğini ispatlamışlardır.

Konak *et al.* (2005), çalışmalarında özellikle çok amaçlı optimizasyon problemleri için geliştirilen GA'ları genel olarak gözden geçirmişlerdir. Özel uygunluk fonksiyonları kullanarak geleneksel GA'lardan farklarını göstermişler ve çözüm çeşitliliğini desteklemek için yöntem tanıtmışlardır. Ayrıca, çözümlerin pareto optimum sonuçlarını elde etmişlerdir. Pareto çözümleri küçük set temsilleriyle gelecek araştırmalara kolaylık sağlamaktadır. Yapılan kabuller çok amaçlı GA'ları güven alanında ilgi çekici yaparken, yöntem güçlü popülasyon tabanlı arama ve esnekliği ile en iyiye ulaşmayı vaat etmektedirler.

3 . MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

Bu çalışmada materyal olarak üstyapı yönetim sistemi kullanılmıştır.

3.1.1. Üstyapı yönetim sistemleri (ÜYS)

Üstyapı Yönetimi, çeşitli yönetim seviyelerinde optimum stratejileri oluşturmayı ve oluşturulan bu stratejilerin uygulamalarını da kapsayan aynı zamanda veri toplama, değerlendirme ve yeterli servis seviyesinde, üstyapıların yenileme, bakım ve onarım gibi aktivitelerinin tümünü içeren ve üstyapının servis seviyesini periyodik olarak takip eden işlemler topluluğuna verilen isimdir (Kırbaş ve Gürsoy 2007).

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

Sistematik bir biçimde üstyapı yönetiminin ilk ne zaman başladığını söylemek zordur. Birçok kişiye göre, Mühendislik İlkeleri kullanılarak uygulanan Üstyapı Yönetim Sistemi (ÜYS) 1956–1960 yıllarında AASHO Road Test ile başlamıştır. ÜYS, yol deneylerinde üstyapıların mevcut hizmet yeteneğinin (sürüş konforu) kullanılmasını da esas alır. O yıllarda sürüş konforunun nasıl tahmin edileceği ve bunun uygulayıcılar tarafından nasıl kullanılacağı önemli bir problem idi. Çözüm, Carey ve Irick tarafından 1960'da Highway Research Bulletin 250'de 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 yapılacaktır. Üçüncü olarak ise fiziksel durum için sürüş kalitesi ile fiziksel ölçümler arasındaki ilişki cevaplar bulunacaktır. 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 Kabiliyet, Oranı (Present Serviceability Rating (PSR)) olarak isimlendirilmektedir. Her bir kesim için bu oranlama yapıldıktan sonra üstyapının kabul edilebilir olup olmadığı sorgulanmıştır. AASHTO deney yolu kullandığı Mevcut Servis Kabiliyeti İndeksi (PSI) formu Şekil 3.1’de görülmektedir.

Kabul edilebilir?			
Evet	<div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="border-bottom: 1px solid black; height: 20px;"></div>	5	Çok İyi
Hayır		4	İyi
Kararsız		3	Orta
		2	Kötü
		1	Çok Kötü
		0	
Bölüm Tanımı.....Oranda			
Puanlayıcı.....Tarih.....Zaman.....Araç.....			

Şekil 3.1. Mevcut servis kabiliyeti indeksi (PSI) formu (Terzi 2004)

Bir sonraki adım bu üstyapılarda gerekli fiziksel ölçümleri yapmaktır. Tekerlek izi, çatlama, oyuk ve sökölme gibi alışılmış bozulmalar ölçüldü. Çünkü hizmet kabiliyetinin (sürüş konforu) üstyapı düzgünlüğünün bir fonksiyonu olabileceği varsayılıyordu. Bu özellik ayrıca AASHO profilometresi 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. Bu ilişki, hizmet yeteneği göstergesi olarak

kullanılmıştır. Carey ve Irick, yüzey profili ve düzgünsüzlük bilgisinin, üstyapının hizmet kabiliyeti 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 onarım uygulamalarının farklı tipleri için modeller ve zamanlama önerilerine sahip aşamalı bir ÜYS ortaya koydu. 1978’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).

3.1.1.1. Üstyapı yönetim sisteminin 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 yapımcı kuruluşlarına yardım etmektir: Hangi bakım ve onarım (B ve R) yöntemi ile, verilen kesin bütçe, nerede ve ne zaman gerçekleştirilebilir?

ÜYS’nin amacı, 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 bütçe 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 onarım takvimi oluşturulur. ÜYS, analizler için yoldan alınan verilerin toplanmasında veri akışını sağlar, veri tabanı oluşturmada ve bilgisayardan veri elde etmede kullanılabilir (Terzi 2004, Ullidtz 1987).

3.1.1.2. Üstyapı yönetim sistemlerinin uygulanması

Üstyapı Yönetim Sistemin uygulanmasına, dikkate alınan yol ağının mevcut durumunun objektif olarak değerlendirilmesi ile başlanır. Bu amaçla yolar özel veri toplama ekipmanı yardımıyla mukavemet-sürüş kabiliyeti (yani geometrik düzgünlük)-yüzey durumu (yani yüzey bozulması) ve kayma direnci açılarından etüt edilir. Böylelikle, sadece kötü durumdaki yolların değil, iyi ve çok iyi durumdaki yolların da teşhisi yapılabilmektedir.

Sistemin uygulanmasında bir sonraki adım, yolların zamanla durumlarının nasıl değişeceğini yani performansını tahmin etmektir. Böylece, sadece onarım ihtiyacı

içerisindeki yolların değil, yıllık bir esasla gelecek yıllardaki onarım faaliyetlerinin de belirlenmesi sağlanır.

Onarım gerektiren yol ağı, daha sonra en ekonomik onarım stratejisinin seçimi için 'hizmet ömrü-ekonomik analizi' yoluyla değerlendirilir.

Üstyapı yönetim sisteminin uygulanmasında son adım, belirlenen bir planlama periyodunda yıllık optimum bir çalışma programı tesis etmek üzere yolların ve bir önceki adımda analiz edilen onarım stratejilerinin seçimini kapsamaktadır. Bu seçim, optimizasyon yöntemleri ile, sonuçlanan öncelik iş programının optimum olduğundan emin olmak için yıllık bütçe kısıtları kullanılarak yapılmaktadır.

Sonuç olarak; elde edilen optimum öncelik programıyla örneğin 10 yıllık bir planlama sürecinde her bir yıl için hangi onarım seçeneği ile ve hangi yılda onarılması gerektiği tayin edilmektedir. (Kay *et al.*, 1993)

3.1.1.3. Üstyapı yönetim sistem seviyeleri

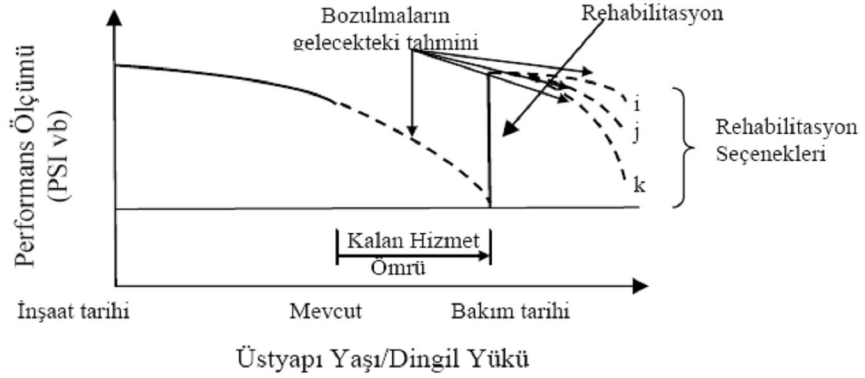
Üstyapı Yönetim Sistemi Ağ ve Proje seviyeleri olarak iki çalışma ve işletim seviyesine sahiptir.

a) Ağ seviyesindeki ÜYS

Ağ seviyesindeki ÜYS'nin ilk amacı tüm bütçe kısıtları içinde onarılacak yol kesimlerinin öncelik sıralamasını ve çalışma programını geliştirmektir. Ağ seviyesi ÜYS'nin kapsamında:

- Kesimlendirme, veri toplama (düzensüzlük, yüzey bozuklukları, yapısal yetersizlik, kayma direnci, yolun geometrisi vs. ve trafik, maliyetler ve diğer veriler) ve veri iletişimi

- Yolların onarıma ihtiyaç göstereceği zamanın tespitinde, en az kabul edilebilir hizmet seviyesi, en çok yüzey bozukluğu minimum yapısal yetersizlik vs. için kriterlerin tespit edilmesi,
- Yolların projelendirilmesinde, maliyet analizlerinin yapılmasında, performans periyodu (bir proje ömrü veya analiz periyodu içinde birden fazla performans periyodu bulunabilir) içerisinde her ülkenin kendine özgü trafik ve çevre koşulları altında zamana karşı bozulma davranışını gösteren eğrilerin (Şekil 3.2), deneysel ya da matematik modelleri ile tespit edilmesi,



Şekil.3.2. Bir üstyapının performans eğrisi ve onarım seçeneklerinin etkisi (Terzi 2004)

- Şimdiki ve gelecekteki ihtiyaçların seçeneklerin değerlendirilmesi ve bütçe gerekliliklerinin belirlenmesi, birden fazla yol kesiminin en ekonomik ve uygun zamanlama ile onarılmasını mümkün hale getiren ÜYS çalışmalarında, çeşitli ekonomik analiz ve optimizasyon yöntemlerinin kullanılması,
- Onarım alternatiflerinin tanımlanması, öncelik sıralaması ve çalışma programının hazırlanması (onarım, bakım ve yeni inşaat), zamanı geldiğinde, çeşitli bozulmaların çaresi olarak yollara uygulanacak onarım tekniklerinin de önceden tespit edilmiş olması ÜYS içerisinde büyük öneme sahip aşamalardır.

Üstyapı envanteri ve mevcut durumu: Üstyapı envanteri ve mevcut durumu, kullanılan üstyapının tanımı (karayolu, parkalanı 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).

Performans tahmini: Bir yol ağının gelecekteki onarım koşullarını tahmin etmek için, yol durumunun değişiminin bilinmesi gerekir. Bu değer ise, trafik miktarı, üstyapı kalınlığı ve özellikleri ve taban zemini mukavemeti gibi faktörlere bağlı olarak değişmektedir. Bu konuda hazırlanan performans eğrilerinden yararlanılmaktadır (Kay *et al.* 1993).

Şekil 3.2, bir üstyapı kesiminde gelecekteki bozulma durumuna göre bakım zamanını tahmin etmek için kullanılacak performans eğrisini şematik olarak göstermektedir. Ayrıca aynı şekil, bakım yılında uygulanan onarım seçenekleri için bozulma modellerinin uygulamasını gösterir.

Herhangi bir tahmin modeli için temel ihtiyaç duyulan bilgiler şunlardır (Haas *et al.*, 1994):

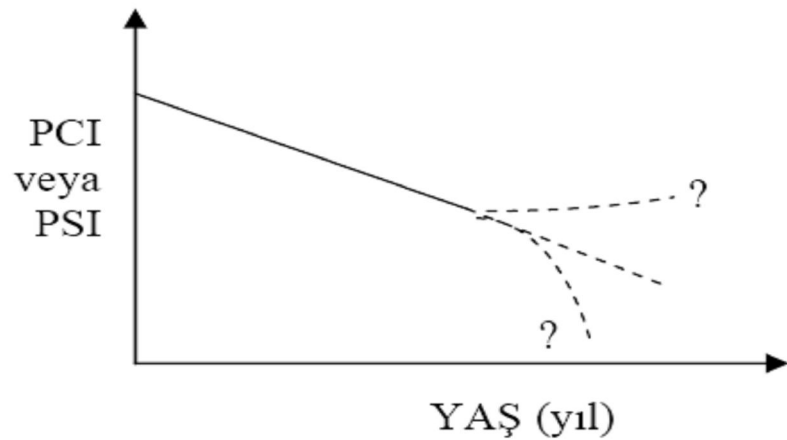
1. Bir veri tabanı (örneğin inşaat tarihi, YOGT, PSI değeri vb.),
2. Bozulmayı etkileyen tüm önemli değişkenlerin belirlenmesi,
3. Gerçek yol koşullarını kapsayacak şekilde dikkatli bir model seçimi,

4. Kriterlerin belirlenmesi (örneğin PSI değeri 2,5 olduğunda onarım programına alınması).

Üstyapı performans tahmini için kullanılan modeller aşağıdaki gibi gruplandırılabilir:

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

a- Doğrusal 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 seviyelerinin 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 3.3, doğrusal azalan tahmin modelinin şematik bir gösterimidir (Shahin 2002).



Şekil 3.3. Doğrusal 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 doğrusal elastik modeldir. Bu model ile düzgünsüzlük veya çatlak gelişimi kullanılarak çeşitli uygulamalar yapılabilmektedir. Düzgünsüzlük için 3.1 eşitliği geliştirilmiştir (Haas *et al.* 1994)

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

Burada,

QI= Düzgünsüzlük (tekrar/km)

YAŞ= Üstyapının yaşı (yıl)

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

RH= Onarım 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=Toplam tek dingil yükü eşdeğeri (EDYS)

Bu eşitliğin belirleme 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 belirleme 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;

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

Burada,

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

RCIB= Bir önceki RCI

YAŞ=Üstyapının yaşı

Δ YAŞ=4 yıl

Bu eşitliğin belirleme katsayısı (R2) 0,84 ve standart sapması 0,38'tir.

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

$$PCR = C -m* Ap \quad (3.4)$$

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 *et al.*, 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 Betonlu	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).

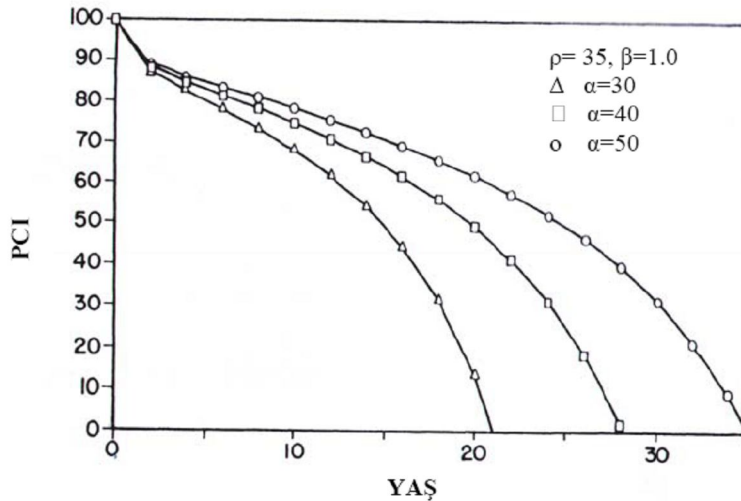
d- En küçük kareler yöntemi ile polinom modeli: Bağımlı değişkenleri ($p'(x)$) (PCI veya düzgünsüzlük) bir x değişkeninin (yaş veya trafik) bir fonksiyonu olarak tahmin etmek için kullanılan en iyi yöntemlerden biridir. Örneğin, PCI ve yaş arasındaki beklenen çok terimli eğri:

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

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:

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

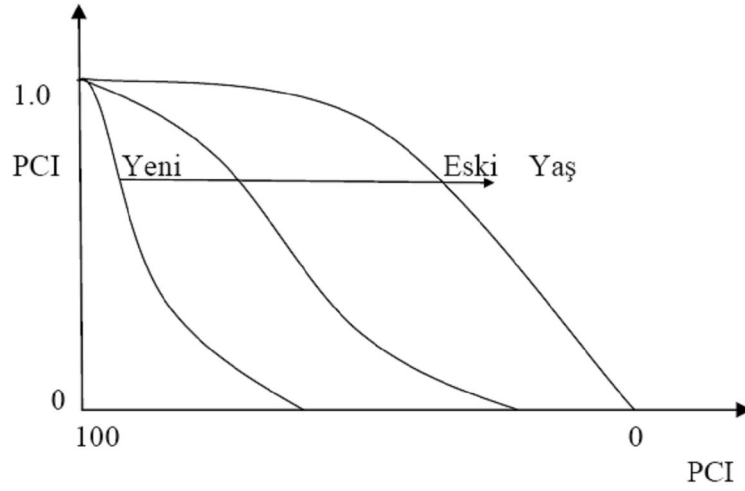
Burada, ρ , α ve β kısıtlardır. α kısıtı Şekil 3.4.' de görüldüğü gibi PCI değerleri 0'a ulaşana kadar tüm yaş değerleri için PCI değerini tahmin eder. Bu üç kısıt, regresyon çözümlemesi ile belirlenir (Shahin 2002).



Şekil 3.4. Örnek bir S şekilli eğri

f- İhtimal dağılımı: İhtimal dağılımı, bir rasgele değişkenin alabileceği tüm değerleri ile ilişkilendirilme ihtimallerini tanımlar. Örneğin, rasgele değişken PCI olarak seçilirse,

ihtimal yoğunluk fonksiyonu yığışimli yoğunluk fonksiyonu ile tanımlanabilir. Şekil 3.5. yığışimli dağılım fonksiyonunu göstermektedir. Şekildeki düşey eksen, belirli bir “PCI” değerine eşit veya daha az olma olasılığıdır. Bu şekil, seçilen PCI değeri için zamana bağlı ihtimallerin “hayatta kalma eğrisini” göstermektedir. Bu teknik, özellikle bireysel bozulma tahmini için yararlıdır (Shahin 2002).



Şekil 3.5. Üstyapı yaşının farklı noktalarında yığışimli yoğunluk eğrisi

g- Markov modeli: Bu tip modellemede, Markov yönteminin tek adımlı geçiş ihtimali tekniği esas alınmıştır. Bu modelde, üstyapının gelecek durumu, elemanın mevcut durumundan tahmin edilir. Elemanın durumu, ölçümler ile belirlenir ve ihtimal matrisi oluşturulur. Üstyapılar için durum ölçümü, düzgünsüzlük veya hizmet kabiliyeti, 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 *et al.* 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 ihtimalli matris, gelecekte oluşabilecek bazı durumların ihtimalini tanımlar. Çizelge 3.3., Çizelge 3.2.'de tanımlanan dokuz durum için örnek bir geçiş ihtimal matrisine bir örnektir. Çizelgede görüldüğü gibi, üstyapının büyük bir kısmı bir sonraki yıl yaklaşık aynı durumda olacaktır. Geçiş ihtimal matrislerindeki özelliklerden biri de satırların toplamının 1'e eşit olmasıdır (Haas *et al.* 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 *et al.* 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 ihtimalli matris

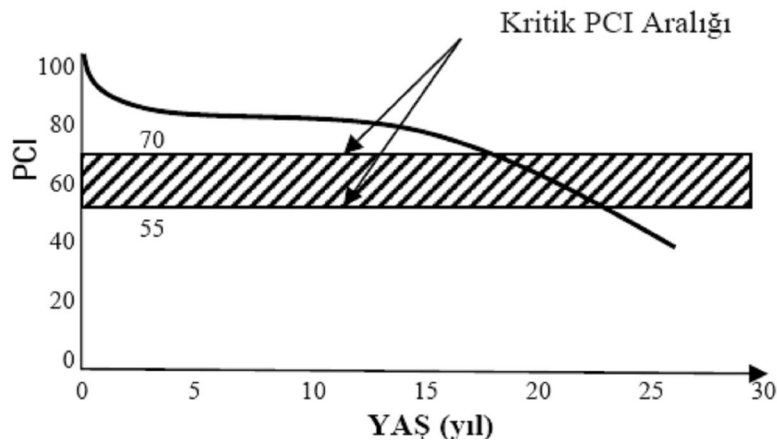
Başlangıç Durumu	Gelecekteki Durum								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,90	0,04	0,02	0,03	0,01	0	0	0	0
2	0,01	0,90	0,03	0	0,05	0,01	0	0	0
3	0	0,01	0,92	0	0,01	0,03	0	0,01	0,02
4	0	0	0	0,92	0,05	0,02	0	0,01	0
5	0	0	0	0,01	0,94	0,03	0,01	0,01	0
6	0	0	0	0	0,01	0,94	0	0,01	0,04
7	0	0	0	0	0,02	0	0,95	0,02	0,01
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), genetik algoritma ve son yıllarda kullanılmaya başlanan yapay bağışıklık sistemleri ve hibrit sistemlerdir.

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 seviye üzerine getirebilmek için ihtiyaç duyulan ana Bakım ve Onarım (B ve R) uygulamalarının gerektirdiği bütçe ihtiyaçlarını 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.

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

Yıllık ve uzun-sürelî iş planları: Yıllık ve uzun süreli B&O 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 çözümleri sonuçları ve birçok projedeki ömür döngüsü (life-cycle) maliyet analizleri kullanılarak geliştirilmiştir. Bir kritik PCI, zamanla PCI kaybındaki artış oranı olarak tanımlanır. Şekil 3.6., 55 ile 70 arasındaki klasik kritik PCI aralığını gösteren örnek bir bozulma eğrisinin şematik gösterimidir (Shahin 2002).



Şekil 3.6. Tipik bir kritik PCI aralığını gösteren bozulma eğrisi

Üstyapı davranışı, tepkisi, performansı, bozulması veya gerçek ölçümlerle tahminlerin karşılaştırmasını yapılabilmek için bazı kısıtlar 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 seviyesinde, kıstas genellikle şartnameler esas alınarak belirlenir. Örneğin, bir karayolu kuruluşu düzgünsüzlük için maksimum bir sınır koyabilir. Bu kıstası koymanın ana sebebi, kaliteyi güvence altına almaktır (Haas *et al.* 1994).

a)Proje seviyesindeki ÜYS: Proje seviyesindeki ÜYS ise bir yol kesimi için bir ağ seviyesinde geliştirilmiş çalışma programının zamanı geldiğinde devreye girer ve ağ seviyesindeki kararların gerçek fiziksel uygulamalarını temsil eder. Proje seviyesi ÜYS'nin kapsamında ise:

- Alt kesimlendirme, programlanmış detaylı arazi ve/veya laboratuvar verileri, veri işleme,
- Teknik (performans tahmini) ve proje alternatifleri içinde ekonomik analizler,
- En iyi alternatifin seçilmesi; detaylı miktarlar, maliyetler, programlar,
- Uygulama (inşaat, periyodik bakım) (Yüce ve Oğraş)

3.1.1.4. Asfalt betonu kaplamalı esnek üstyapılarda oluşan bozulmalar

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

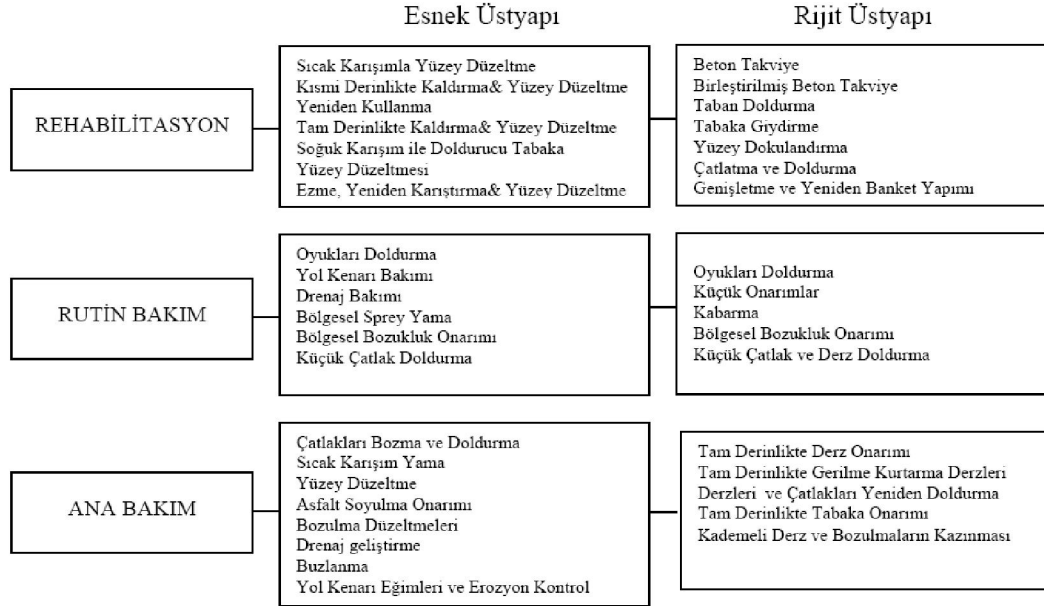
1. Kırılma veya çatlama
 - a-) Yorulma kırılması (timsah sırtı çatlak)
 - b-) Blok çatlak (büzülme çatlağı)
 - c-) Kenar kırılması
 - d-) Tekerlek izi oturması
 - e-) Boyuna yönde kırılma (teker izi dışı)
 - f-) Yansıma çatlakları
 - g-) Enine yönde kırılma

2. Yama ve oyuklar
 - a-) Yama bozulması
 - b-) Oyuklar
3. Yüzey deformasyonu
 - a-) Ondülasyon ve Yığılma
4. Yüzey hataları
 - a-) Kasma
 - b-) Cilalanmış agrega
 - c-) Sökülme (ayırışma)

3.1.1.5. Asfalt üstyapılar için bakım ve onarım yöntemleri

Üstyapı onarımı bir bilim olduğu kadar aynı zamanda da bir sanattır. Üstyapı onarımı 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” onarım yöntemini kendine göre belirlemekle yükümlüdür. Tercih edilen çözümün seçimi çok kompleks bir mühendislik problemi olmasına karşın, onarım çözümlemesi adım-adım yaklaşım kullanılarak daha kolay yapılabilir. Bu yaklaşımın temelleri; üstyapı problemleri veya bozulmalarının sebeplerinin belirlenmesi, omuhtemel çözüm listesinin geliştirilmesi ve onarım yönteminin seçim ihtiyaçlarını esas alır (ASSHTO 1986).

Çeşitli seçenekler, hem geciktirici hem de düzeltici bakım ve onarım amacıyla uygulanır. Şekil 3.7., Ontario Ulaştırma Bakanlığı (MTO) tarafından kullanılan bakım ve onarım seçeneklerinin listesini göstermektedir. Mevcut bakım ve onarım 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 *et al.* 1994).



Şekil 3.7. Ontario' da kullanılan onarım ve bakım seçenekleri (Haas *et.al.* 1994).

3.1.1.6. Ekonomik değerlendirme ile bakım takviminin ve yönteminin belirlenmesi

Mühendislik ekonomisi ilkelerinin üstyapıları da içeren ulaşım projelerine uygulanması temelde iki seviyede gerçekleşir. Birincisi, projenin fizibilitesi ve zamanlamasını belirlemek için ihtiyaç duyulan yönetim kararlarıdır; ikincisi, proje bir kere seçildikten sonra maksimum ekonomiyi sağlamak için gerekliliklerdir (Haas *et al.* 1994).

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 seviyesi açıkça tanımlanmalıdır; örneğin: yatırım programlaması veya ağ seviyesi; veya ömür döngü stratejisinin proje seviyesi optimizasyonu.

2. Ekonomik analizler, yönetim kararları için temel oluştururken başlı başına birer karar değillerdir.
 3. Böyle kararlar için bazı kıstaslar açık ve sade olabilmesine karşın tüm kıstaslar, 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 *et al.*, 1994).
- Kullanıcı maliyetinin hizmet kabiliyeti seviyesi, şartlar, onarım 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 *et al.* 1994).

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 onarımın gelecekteki maliyeti (kaplama, onarım, 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 *et al.*, 1994)

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

Hizmet yeteneği düştükçe, seyahat süresi maliyetleri artar. Çünkü ortalama seyahat hızı doğrusal olmayan biçimde azalır. Onarım esnasında trafik gecikmelerinden dolayı, yüksek seyahat süresi maliyeti oluşur. Kullanıcı maliyetlerinin diğer üç bileşeni önemli bir noktaya işaret eder: Üstyapı hizmet yeteneği bitiş seviyesine 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 *et al.* 1994).

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:

$$KM = \text{Kaza Maliyeti} + \text{Taşıt İşletme Maliyeti} + \text{Seyahat Süresi Maliyeti} \quad (3.8)$$

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:

$$\text{Trafik maliyeti} = \text{Mevcut trafik maliyeti} - \text{En iyi durumdaki trafik maliyeti} \quad (3.9)$$

olarak kullanılabilir (RIMES 1999).

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 *et al.* 1994).

İskonto ve faiz oranı: İskonto oranı, gelecekte beklenen maliyet ve faydaları, bugünün terimlerine indirgemek için kullanılır. Bu oran, gelir ve sermaye kullanımlarını karşılaştırmayı sağlar. Terimler bazen birbirlerinin yerlerine kullanılabilirler de aslında borç alma ile ilgili olan faiz oranı ile karıştırılmamalıdır. Yapımcı kuruluşların hesaplamalarında kullanılacak olan bu oran, temelde politika ile ilgilidir. Yapımcı kuruluşların çoğu, bütün ekonomik değerlendirmeleri için tek bir analiz yöntemi kullanırlar. Üstyapı alanında genellikle % 4 ila 10 arası iskonto oranı kullanılır. İskonto oranı çok önemli bir etkidir ve ekonomik çözümlemenin sonuçları üzerinde büyük etkisi olabilir (Haas *et al.* 1994).

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 alınır, 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.

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 hurda değeri, malzemenin hacmi, kirlenmesi, yaşı veya ömrü, tasarım periyodu sonunda beklenen kullanımı gibi birkaç etkene bağlıdır. Bu, toplam maliyetin yüzdesi olarak projelendirmede kullanılabilir (Haas *et al.*, 1994).

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 bütçe 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 ihtiyaçlarına 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 *et al.* 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 *et al.* 1994).

c) Net bugünkü değer metodu: Bugünkü değer yöntemi, maliyetleri tek başına, faydaları tek başına veya maliyetler 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:

$$pwf_{i,n} = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.10)$$

$pwf_{i,n}$ = 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 *et al.* 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 *et al.* 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)

$$Fayda / Maliyet = \frac{TIM + KM + SSM}{BM} \quad (3.11)$$

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, bu eşitlik 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 *et al.* 1994).

f) Maliyet etkinlik yöntemi: 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 kıstasına dayanır. Yine de, kullanıcı maliyetleri ve faydalar hizmet yeteneği seviyesi ile değiştiği için, bütün seçeneklerin hizmet yeteneği seviyeleri minimumun altında kalırsa eşit etkiliklere sahip olduğu iddiası sorgulanabilir. Dahası, minimum hizmet yeteneği seviyesi bütün seçenek stratejileri için aynı olmayabilir (Haas *et al.*, 1994).

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 onarımı 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:

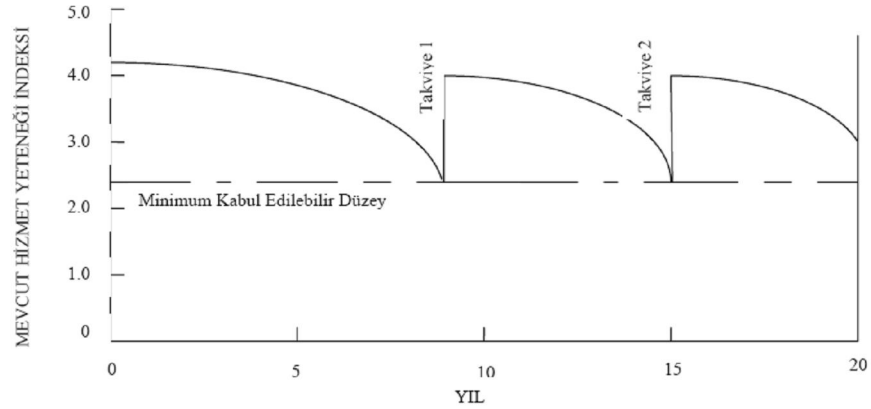
1. Trafik, malzeme özellikleri, iklim etkenleri ve birim maliyetler gibi proje tasarım etkenleri üzerinde elde edilen detaylı bilgi,
2. Minimum tabaka kalınlığı, “homojen” kısımların boyu ve maksimum maliyetler gibi kısıtlar,
3. Proje için tabaka malzemeleri ve kalınlık stratejileri (Haas *et al.* 1994).

b) Optimal strateji seçimi için esaslar: Yürütme için bir tasarım stratejisinin son seçimi kısmen sübjektiftir. Karar için ekonomik analizlerin bir temel oluşturması gerekmesine karşın, tamamen takip edilebilecek kuralları yoktur.

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

Strateji seçiminde düşünölebilecek etkenlerden biri risktir ki bu, istenilen performansın başarılıma olasılığıdır. Herhangi bir tasarım seçeneğinin güvenilirliği artarsa, yapımcı kuruluş maliyetleri ve bununla beraber kullanıcı maliyetleri büyük ihtimalla düşecektir. Sonuçta karar alma, bir tasarım stratejisinin seçimi ile sona ermez. Üstyapı inşa edildikten sonra, kararlar periyodik olarak “yenilenmelidir” (Haas *et al.* 1994).

c) Sonuçları iletme: Bir tasarım projesinin analiz sonuçları, üstyapı yönetim sistemlerine girdi olan ölçülebilir etkenler ile üstyapı uygulayıcı tarafından değerlendirilmiş sübjektif etkenler dikkate alınarak üstyapı kesimi için optimum strateji seçilir. Üstyapı yönetiminin etkili olabilmesi için, analiz sonuçları yapımcı kuruluş tarafından dikkate alınmalıdır. Bu, sadece projenin ilk inşasını içermekle kalmaz; bununla beraber, üstyapı yönetim sistemi analiz boyunca geliştirilmiş bakım ve onarım programlarını da içerir. Tasarım stratejisinin ilerletilmesinin önemi, özellikle tahmin edilen performans ve inşaat için gelecekteki bakım ve onarım ihtiyaçlarının belirlenmesidir. Şekil 3.8. optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneğini göstermektedir (Haas *et al.* 1994).



Şekil 3.8. Optimal üstyapı tasarım stratejisi için performans kazanımları örneği

3.2. Yöntem

Çalışmada yöntem olarak; Taguchi Yöntemi, Yapay Bağışıklık Sistemleri, Genetik Algoritmalar, Markov Geçiş İhtimalleri, Pareto Optimizasyonu ve kullanılmıştır. Bu bölümde bahsedilen yöntemler tanımlanmıştır.

3.2.1. Taguchi optimizasyonu

Tam faktöriyel deney tasarımında, bir faktör değiştirilirken diğer bütün faktörler sabit tutulur. Deney sayısı çok fazladır ve pratikte yapılması da mümkün değildir. Aynı zamanda eğer faktörler arasında iç etkileşim varsa, geleneksel deney tasarımına göre bulunan optimum şartlar, gerçek optimum şartlar olmayabilir. Deney sayısını azaltmak için birçok deney tasarımı önerilmiştir. Bu deney tasarım teknikleri arasında, Taguchi Metodu sistematik dizaynlarda optimizasyon için başarılı şekilde uygulanmaktadır (Hınıslioğlu and Bayrak 2004)

Optimizasyon kriteri olarak performans istatistiği seçilmiştir. En büyük en iyi, nominal en iyi ve en küçük en iyi olmak üzere üç çeşit performans istatistiği vardır. Çalışmalardan elde edilen veriler kullanılarak S/N değerleri, GİM için en küçük en iyi, B-O için ise en büyük en iyi performans istatistikleri baz alınarak sırasıyla şu şekilde hesaplanmıştır.

$$S/N_L = -10 \text{ Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{Y_i^2} \right],$$

$$S/N_L = -10 \text{ Log} \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i^2 \right] \quad (3.12)$$

Burada;

S/N_L : Performans istatistiği

n : Bir deney kombinasyonunda yapılan tekrar sayısı

Y_i : i. Deneyin performans istatistiğidir.

S/N_L'yi maksimum yapan parametre seviyeleri optimumdur. Ancak Taguchi Metoduna optimum parametre seviyelerini veren çalışma yapılmamış olabilir. Dolayısıyla optimum şartlara karşılık gelen performans değeri aşağıdaki modelden yararlanılarak tahmin edilebilir.

$$Y_i = \mu + X_i + e_i \quad (3.13)$$

Burada;

μ : Performans değerinin genel ortalaması

X_i : Çalışmadaki parametre-seviye kombinasyonunun sabit etkisidir.

e_i : i. Deneydeki ratsal hata

Çalışmaların sonuçlarına bağlı olarak hesaplanan bu Y_i değeri bir nokta tahminidir. Dolayısıyla yapılan doğrulama deneylerinin sonuçlarının anlamlı olup olmadıklarını belirleyebilmek için belirli bir hata seviyesinde güven aralığı oluşturulmalıdır. Seçilen hata seviyesindeki güven aralığı ise,

$$\mu \mp \sqrt{F_{\alpha;1,DF_{MSe}} MSe \left[\frac{1+m}{N} + \frac{1}{n_i} \right]} \quad (3.14)$$

bağıntısıyla hesaplanır (Ross 1988).

Burada;

F : Tablo değeri,

α : Hata seviyesi,

DF_{MSe} : Hata kareler ortalamasının serbestlik derecesi toplamı,

m : Ortalama tahmininde kullanılan parametrelerin serbestlik dereceleri,

n_i : Yapılan doğrulama çalışmalarının tekrar sayısını göstermektedir.

3.2.2. Yapay bağışıklık sistemleri

Bakım ve onarım maliyetlerini baz alan optimizasyon problemlerini genel olarak amaç fonksiyonunun minimize edilmesi olarak tanımlayabiliriz.

$$\begin{array}{l} \text{minimum} \rightarrow f(x) \\ \text{çözüm} \rightarrow x \in F \end{array}$$

x çözüm, $f(x)$ amaç fonksiyonu, F uygun çözümler kümesidir. Amaç fonksiyonunu oluşturan karar değişkenleri sürekli ise bu tür problemleri doğrusal programlama problemleri, kesikli ise çok amaçlı problemler olarak tanımlayabiliriz. Çok amaçlı problemler için uygun çözümlerin bulunması da çok amaçlı optimizasyon olarak tanımlanabilir. Bu tür problemlerin çözümü için klasik optimizasyon yöntemleri yetersiz kalmaktadır. Araç rotalama problemi (vehicle routing problem), gezgin satıcı problemi (travelling salesman problem) bu sınıftaki en çok bilinen problemler arasında sayılabilir. Çok amaçlı problemlerin çözümünde sezgisel (heuristic) yöntemler kullanılmıştır. Klasik sezgiseller (en yakın komşuluk gibi) küçük boyuttaki problemler için optimum çözümler sağlayabilse de problemin boyutu büyüdükçe bu yöntemler geçerliliğini yitirmektedir. Örneğin gezgin satıcı probleminde satıcının gezeceği şehir sayısı az olduğu zaman klasik yöntemler uygulanabilmekte fakat şehir sayısı arttığı zaman (25, 30 gibi) problem karmaşık hal almakta ve çözülememektedir.

Son yıllarda çok amaçlı problemlerin çözümünde modern sezgisel yöntemler olarak nitelendirebileceğimiz, doğadan ve biyolojik sistemlerden esinlenerek ortaya çıkarılmış olan yöntemler uygulanmaktadır. Genetik algoritmalar, karınca kolonileri optimizasyonu, tavlama benzetimi, tabu arama, yapay sinir ağları ve son yıllarda üzerinde çalışılan yapay bağışıklık sistemleri bu yöntemlere örnek olarak verilebilir.

Yapay bağışıklık sistemleri, doğal bağışıklık sisteminden esinlenerek, doğal sistemin prensiplerinin mühendislik açısından incelenerek karmaşık problemlerin çözümünde ve sistemlerin gelişiminde kullanılan sezgisel yöntemlerden biridir. Bu konuda Farmer *et al.* (1986) tarafından, bağışıklık sistemini diğer yapay zeka yaklaşımları ile ilişkilendirme üzerine yapılan çalışma öncü çalışma olarak kabul edilebilir. Bu alanda

öncülük yapmış çalışmalar arasında Ishida (1996); Hunt and Cook (1996); Dasgupta (1996) ve Hofmeyr and Forrest (1999) tarafından yapılmış çalışmalar da sayılabilir.

Oldukça karmaşık bir yapıya sahip olan doğal bağışıklık sisteminin prensiplerinden esinlenerek oluşturulan algoritmalar çeşitli alanlara uygulanabildiği gibi çok amaçlı optimizasyon problemlerine de uygulanabilmektedir. Bu çalışmada öncelikle doğal bağışıklık sistemi ve bazı prensipleri, Yapay Bağışıklık Sistemleri ve algoritmaları, YBS'nin kullanım bulduğu alanlar hakkında genel bir bilgi verebilmek amaçlanmıştır.

3.2.2.1. Doğal bağışıklık sistemleri

Bağışıklık sistemi, bütün vücuda dağılmış çeşitli organ ve hücrelerden oluşan, vücudu yabancı mikroorganizmalar ve maddelerin istilasından, verebilecekleri zarardan koruyan karmaşık bir sistemdir. Bağışıklık sisteminin hücreleri hem organizmanın hücrelerini (self) hem de farklı yapıdaki hücreleri (non-self) tanıma özelliğine sahiptirler, bu şekilde yabancı maddeleri ayırt ederek zarar vermelerini engellemek için onları yok eder veya etkisiz hale getirir.

Bağışıklık sistemi organları lenfoid organlar olarak da adlandırılırlar. Lenfoid organlar timus, dalak ve lenf düğümleridir. Lenfoid organlar iki gruba ayrılır: birincil lenfoid organlar (central lymphoid organs) ve ikincil lenfoid organlar (peripheral lymphoid organs). Birincil lenfoid organlar timus ve kemik iliğidir, görevleri lenfositlerin (B ve T hücreleri) üretilmesidir. Birincil organları terk eden lenfositler ikincil organlarda çoğalırlar ve farklılaşmalarını tamamlarlar.

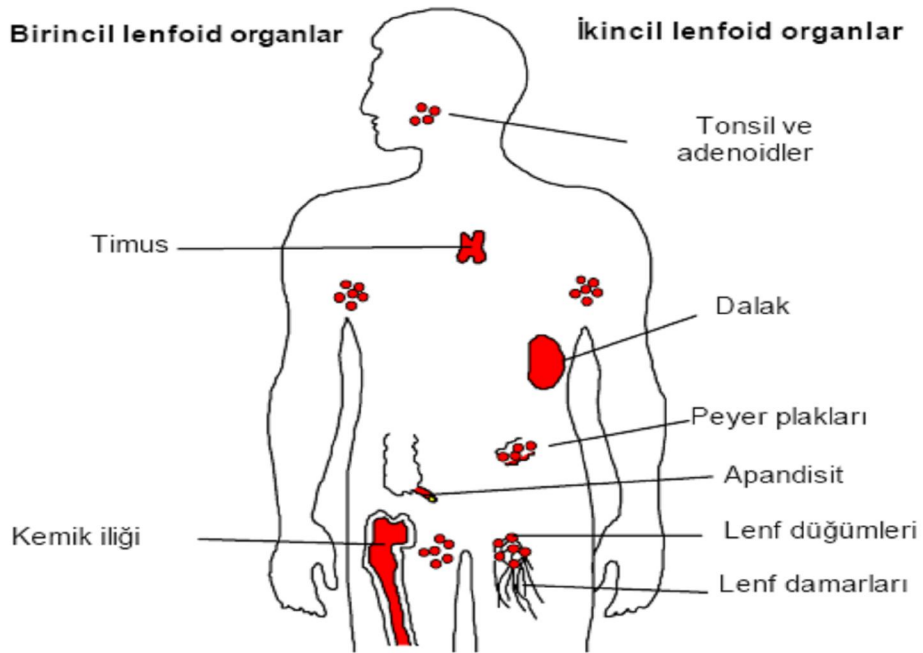
Bağışıklık sisteminde evrim sürecinde iki türlü bağışıklık cevabı gelişmiştir;

a. Hücresel bağışıklık: Tam olarak bağışıklık gücüne sahip hücreler tarafından yabancı maddelere karşı onları yok etmeye yönelik oluşturulan reaksiyondur. Bu tür bir yanıt T lenfositlerinin işlevidir.

b. Humoral bağışıklık: Yabancı maddelere karşı onları ortadan kaldırma veya etkisiz hale getirmek amacıyla B lenfositleri tarafından antikor üretilmesi şeklinde ortaya çıkan reaksiyondur.

Bağışıklık sisteminin organ ve hücrelerine, bu organ ve hücrelerin ana fonksiyonları aşağıda kısaca incelenmiştir.

Bağışıklık sistemi organları: Şekil 3.9.'da, birincil ve ikincil lenfoid organlar gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Birincil ve ikincil lenfoid organlar

* **Tonsil ve adenoid:** Solunum yoluyla vücuda girebilecek yabancı mikroorganizmalara karşı bağışıklık hücreleri içeren özel lenf düğümleridir.

Lenf damarları: Dışarıdan gelen antijenlerin (anti+genin, zıtlık oluşturmak), lenf sıvılarının, lenf hücrelerinin organlar ve kandaki dolaşımını sağlayan damarlardır.

Kemik iliği: Uzun kemiklerin içinde bulunan ve bağışıklık hücrelerini üreten yumuşak bir dokudur.

Lenf düğümleri: Lenf damarlarının, B ve T lenfositlerinin depolandığı ve humoral (adaptive) bağışıklık cevabının gerçekleştiği yerdir.

Timus: Kemik iliğinde üretilip timusa gelen hücreler burada çoğalıp farklılaşmalarını tamamlarlar.

Dalak (spleen): Bağışıklık sisteminin en büyük organıdır ve kan dolaşımında bulunan yabancı mikroorganizmalara karşı önemli bir savunma bölgesidir.

Apandisit (appendix) ve Payer plakları: Sindirim sistemini koruyan özel lenf düğümleridir.

Bağışıklık sistemi hücreleri

Lenfositler: Bağışıklık sisteminin sorumluluğunu büyük ölçüde yüklenen hücrelerdir. En önemli iki türü B ve T lenfositlerdir.

B hücreleri: B hücrelerinin ana görevi yabancı organizmalara karşı antikorların üretimi ve salgılanmasıdır. Antikorlar yabancı maddeleri tanıma ve onlara bağlanma kabiliyetleri olan özel proteinlerdir. Antikorların üretilmesi ve bağlanmaları genellikle diğer hücreler için yok etme sinyali anlamına gelmektedir. Antikorlar bağışıklık sisteminin yabancı organizmaları tanıma işlevini yerine getiren en önemli elemandır.

T hücreleri ve lenfokinler: T hücrelerin görevi, diğer hücrelerin çalışmalarını kontrol etmek ve enfekte olmuş hücreleri yok etmektir. Üç çeşit T hücresi vardır; yardımcı, baskılayıcı ve öldürücü T hücreleri. Yardımcı T hücreleri B hücrelerinin, diğer T hücrelerinin, makrofajların ve doğal öldürücü hücrelerin çalışmasını düzenler.

Öldürücü T hücreleri kanser yapıcı hücreleri, virüsleri ve istilacı hücreleri kimyasal salgılarla yok eden hücrelerdir.

Baskılayıcı T hücreleri diğer hücreleri kontrol ederek sistemin kontrolden çıkmasını ve kendi hücrelerine zarar vermesini (otoimmün hastalıklar) engeller.

T hücreleri bir çeşit kimyasal salgı olan lenfokinleri salgılar, lenfokinler güçlü kimyasal sinyallerdir. Bunun yanında lenfokinlerin zararlı hücreleri öldürme kabiliyetleri de vardır.

Doğal öldürücü hücreler: Öldürücü T hücreleri gibi güçlü kimyasal salgılarla tümörleri ve enfeksiyon yapan mikropların büyük bölümünü yok ederler. T hücrelerinin aksine harekete geçmeden önce hücrenin antijenik özelliğini tanımaya ihtiyacı yoktur.

Fagosit, granülositler ve bağlıları: Fagositler literatürde hücre yiyiciler olarak da bilinir. Bazı fagositlerin lenfositlere antijenleri sunma (antigen presenting cells.APCs) özelliği de vardır. En önemli fagositler monosit ve makrofajlardır. Monositler kanda dolaşımdadırlar ve dokulara yerleştiklerinde makrofaj (büyük yiyiciler) haline gelirler. Makrofajlar antijenleri parçalayıp sindirdikten sonra T lenfositlerine sunarak bağışıklık reaksiyonun başlamasında önemli rol oynarlar.

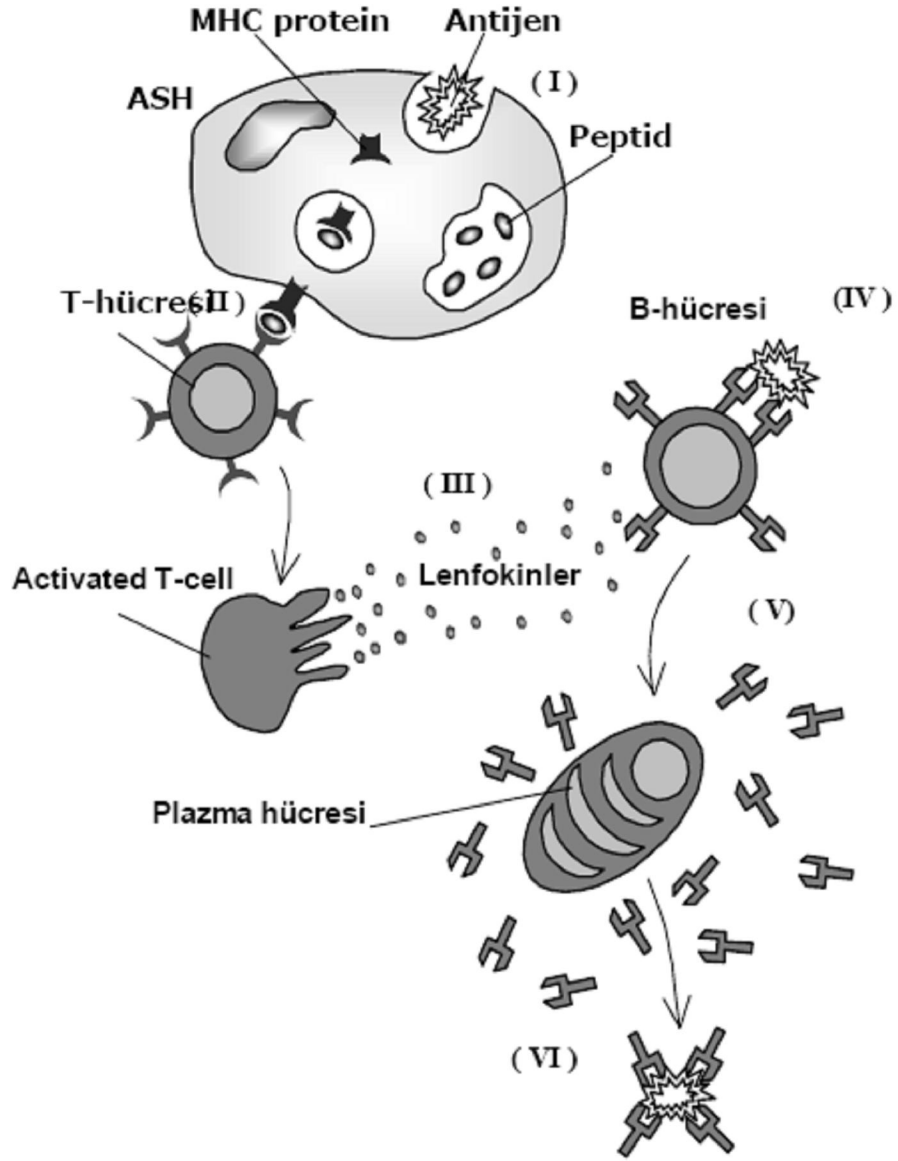
Kompleman sistem: Antikorların işlevlerine yardımcı olan protein kompleksidir. İstilacı organizmanın yüzeyine bağlanarak lezyon oluşturarak fagositlere yardımcı olur.

Antikorlar: Antikorlar spesifik olarak moleküler paternleri tanıma özelliklerinden dolayı bağışıklık sisteminde önemli bir role sahiptirler. Antijenlerin yapısal olarak çok çeşitli olması antikorların repertuarının da aynı derecede çeşitli olmasını gerektirmektedir. Antikorlar ikişer ağır ikişer hafif zincirden oluşmuştur. Antikoru değişken ve sabit olmak üzere iki kısma ayırabiliriz. Değişken bölge (V-region) antijenleri tanıma görevini yerine getiren bölümdür. Sabit bölge ise diğer fonksiyonları yerine getirir (kompleman proteinlerini bağlama gibi).

MHC kompleksi: İki sınıfı vardır; I. ve II. sınıf. I. sınıf bütün hücrelerde vardır, II. sınıf MHC molekülleri ise Antijen Sunan Hücrelerde bulunur. Antijen sunan hücreler antijenleri peptidlere ayırır, MHC-II molekülleri de bu peptidlerle birleşirler ve ASH'in yüzeyinde taşıyıcılar.

Bağışıklık sisteminin çalışması

Bağışıklık sistemi çok geniş çeşitliliğe sahip molekül ve hücre ordusuyla vücudu antijenlere, antijenler genellikle istilacı ve yabancı hücrelerdir, karşı korur. Makrofajlar gibi antijen sunan hücreler buldukları antijenleri antijenik protein parçacıklarına (peptide) dönüştürürler. Bu protein parçacıkları MHC (major histocompatibility complex) molekülleri ile birleşirler (I). T lenfositler reseptörleri vasıtasıyla bu protein-MHC birleşimini ayırt edebilirler (II). T lenfositler bu tanıma sonrasında aktive olurlar ve salgıladıkları lenfokinler ile diğer bağışıklık sistemi hücrelerini harekete geçirirler (III). B hücreleri de reseptörleri yardımıyla aktive olurlar. B hücrelerinin T hücrelerinin aksine MHC molekülleri olmaksızın serbest antijenleri tanıyabilme özellikleri vardır (IV). Aktive olan B hücreleri plazma hücrelerine dönüşürler ve antikorları üretirler (V) (Şekil 3.10.). Antikorlar buldukları antijenlere bağlanarak onları pasif hale getirirler veya kompleman sistem veya diğer enzimler yardımıyla yok ederler (VI). Gelecekte karşılaşıldığında daha güçlü bir reaksiyon gösterebilmek için bazı T ve B hücreleri antijenle uyarıldıktan sonra hafıza hücrelerine dönüşürler.



Şekil 3.10. Bağışıklık sisteminin çalışması

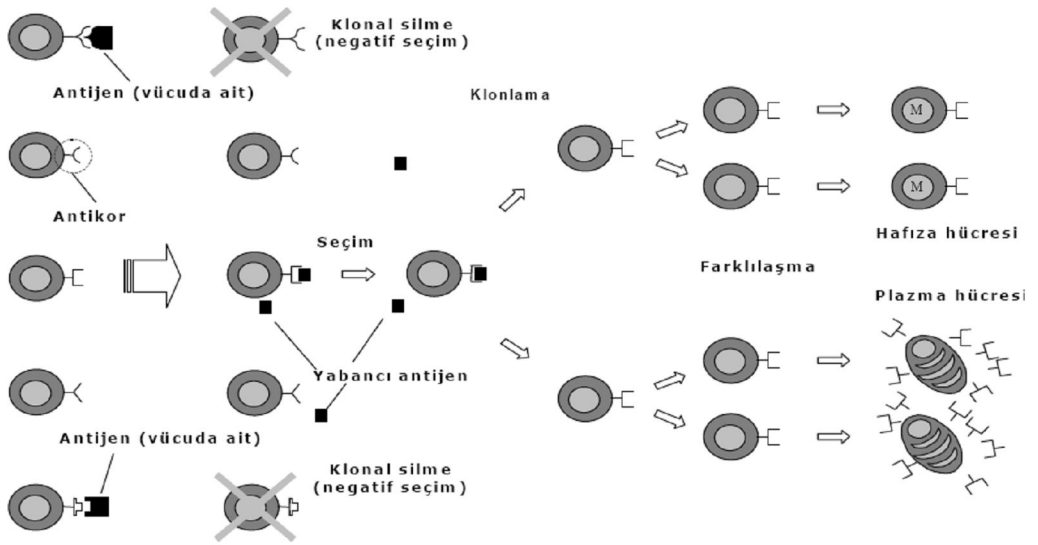
Klonal seçim prensibi

T ve B hücreleri için geçerli olan ve antijenleri ayırt edebilenlerin seçilip üretilmesi olarak kısaca ifade edilebilir.

Vücuda giren antijene karşı germinal merkezde bağışıklık cevabı oluşur. Kemik iliğinden köken alan B hücreleri, bu antijenlere bağlanarak ve yardımcı T hücrelerinin sinyali ile çoğalarak ve olgunlaşarak plazma hücresine dönüşürken bir kısmı hafıza hücrelerine dönüşüp kanda ve lenf damarlarında dolaşımda kalırlar ve tekrar benzeri bir antijene karşı benzerliği yüksek derecede olan antikorlar üretebilirler.

Klonal seçim teorisinin özellikleri (Burnet 1978);

- Yeni hücreler yüksek oranda mutasyona uğramış ebeveynlerinin kopyasıdır (klon).
- Düşük seviyede benzerlik taşıyan antijen reseptörlere sahip farklılaşmasını yeni tamamlamış lenfositlerin elimine edilmesi.
- Antijenler tarafından uyarılmış hücrelerin farklılaştırılması ve çoğaltılması (Şekil 3.11.).



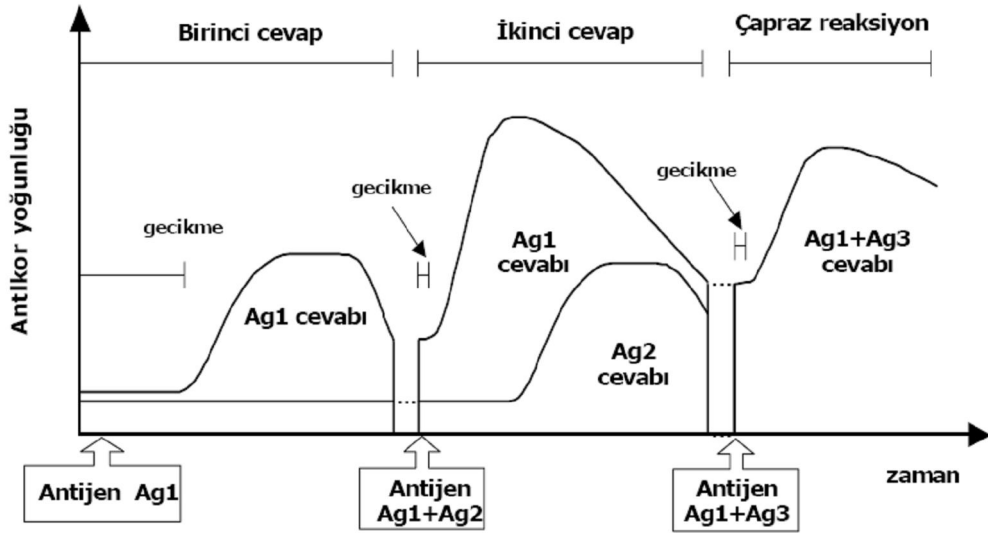
Şekil 3.11. Klonlama seçim prensibi

Öğrenme ve bağışıklık hafızası

Bağışıklık sisteminde öğrenme klonal seçim prensibinde değindiğimiz antijenleri tanıyabilen lenfositlerin popülasyonunun artmasıyla ilişkilidir.

Vücuda giren antijen Ag1, kendisini tanıyıp ona bağlanabilen antikorla karşılaşır ve bu antikorun sayısı belirli bir seviyeye kadar yükselerek bağışıklık sisteminin birincil cevabını oluşturur. Ag1 antijeni vücuda tekrar girdiğinde daha önce kendisi için uygun antikor üretildiği için çok kısa bir gecikme sonucu birincil cevaptan daha kısa, yoğun ve etkili bir ikincil cevapla karşılaşır. Vücuda giren başka bir antijen Ag2 için cevap birincil cevap olacaktır. Ancak birinci ve ikinci antijenler arasında yapısal olarak bir benzerlik varsa bu durumda bağışıklık hafızası ilişkilendirebildiği için ikincil bir cevap verecektir, bu cevaba çapraz reaksiyon cevabı diyebiliriz (Şekil 3.12).

Bu öğrenme ve hafıza işlemlerini mühendislik açısından değerlendirmek istersek, yüksek kalitede çözüm adayları için yüksek benzerlik veya benzerlik göstermiş olanların bir şekilde korunması gereklidir ve sadece geliştirilmiş adaylarla yer değiştirmeleri gereklidir.



Şekil 3.12. Öğrenme ve bağışıklık hafızası

Antikor repertuarının genişliği

T hücresine bağlı bağışıklık cevabında antijenle aktivasyona uğramış B hücrelerinin repertuar çeşitliliği iki mekanizmaya bağlıdır: hipermutasyon ve reseptör yazılımı.

Antijen antikor arasındaki etkileşim sunucu genlerde antikorların uygunluğunu (benzerliğini) arttıracak bazı rast gele değişimlerle (hipermutasyon) karşılaşmıştır. Klonal seçim prensibinde değindiğimiz hafıza hücreleri olarak bu hücreler seçilmektedir.

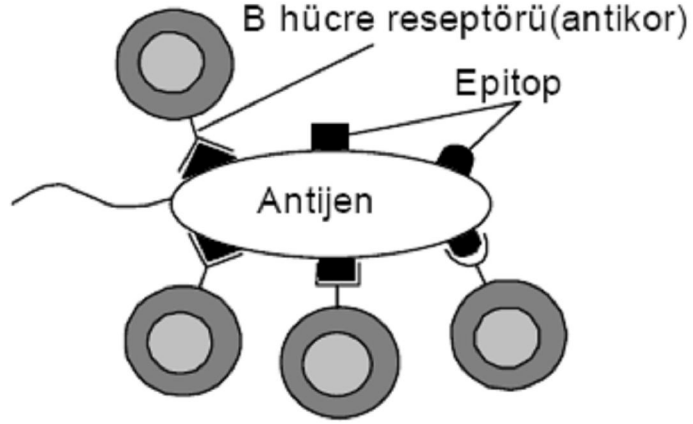
Bunun yanı sıra düşük benzerlikteki reseptörlere sahip B hücreleri klonal silmeye uğramak yerine ara sıra bu düşük benzerlikteki reseptörlerini yok edip yerine yeni reseptörler (reseptör yazılımı) geliştiriyorlar.

Reseptör yazılımı yerel optimumlardan kurtulma imkanı tanımaktadır. Hipermutasyon yerel optimuma ulaşmayı sağlarken reseptör yazılımı daha iyi çözümler için yerel değiştirmeyi sağlayabilmektedir. Lenfositlerin popülasyon çeşitliliğine hipermutasyon ve reseptör yazılımına ek olarak kemik iliğinden gelen lenfositler de eklenir. Uyarılmış lenfositlerin %5-8'i hücre üretimiyle gelen hücrelerle değiştirilirler. Bu durum reseptör yazılımında olduğu gibi sonuç verir ve global optimuma ulaşma imkanı sağlar.

Biçim tanıma

Biçim tanıma açısından bağışıklık sisteminin en önemli özelliği B ve T hücrelerinin yüzeylerinde bulunan reseptörler sayesinde antijenleri tanınmasıdır. B hücresinde bu reseptör antikor olabildiği gibi T hücresinde ise kendisine ait olan reseptördür.

Biçim tanıma moleküler seviyede olmaktadır, reseptörlerle antijenlerin epitop adı verilen kısımları arasında gerçekteşmektedir. Antikorların tek tip reseptörü olmasına rağmen antijenler birden fazla epitopa sahip olabilirler. Bu durumda bir antijene birden fazla antikor bağlanabilir. T hücresinin antijeni tanıyabilmesi için MHC molekülünün yüzeyine bağlı olması gerekir B hücresi için böyle bir zorunluluk yoktur, serbest olarak dolaşımında olan veya bir hücreye bağlı olan antijenleri tanıyabilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 Biçim tanıma

3.2.2.2. Yapay bağışıklık sistemleri

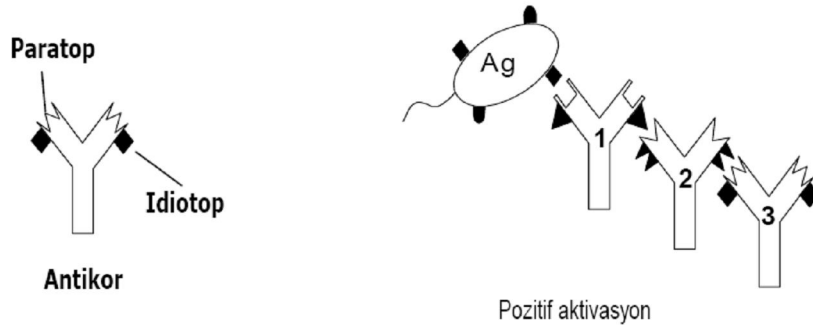
Doğada çok karmaşık görevleri yerine getirebilen, karmaşık davranış özelliklerine sahip sistemler bulunmaktadır. Doğal sistemlerin bu kabiliyetleri ve prensipleri mühendislik kavramına yeni yaklaşımlar getirmiştir. Klasik mühendislik yaklaşımlarının sistemlerin davranışları hakkında detaylı tanımlamalara ihtiyacı vardır. Diğer taraftan doğadan esinlenen yeni mühendislik yaklaşımları sistem hakkında daha genel, yaklaşık davranış tanımlamalarına ihtiyaç duyarlar.

Bu yeni yaklaşımlar arasında doğal bağışıklık sisteminin prensiplerine dayanan bir hesaplama sistemi olan Yapay Bağışıklık Sistemlerini de sayabiliriz. Yapay bağışıklık sistemlerinin kapsadığı doğal sistemden esinlenerek ortaya konulmuş bazı modeller ve algoritmalar bulunmaktadır. Bu çalışmada ağ modelleri olarak bağışıklık ağ modeli ve antikor ağ modeline, algoritma olarak da özellikle çok amaçlı optimizasyonda kullanılabilen klonal seçim algoritmasına değinilecektir. Daha sonra değişik kullanım alanlarında bazı model ve algoritmalara değinilecektir.

a)Bağışıklık ağ modeli

Bu konuda ilk çalışma bağışıklık sisteminde antikokların üretimine, antijenlerin tanınmasına, lenfositlerin faaliyetlerine ilişkin bir çalışmaydı (Jerne,1974). Daha sonra yapılan çalışmalar bu modele yeni yaklaşımlar katarak ortamda antijen olmasa bile antikokların birbirlerini tanıdıklarını ve aralarındaki iletişimi ortaya koymuştur.

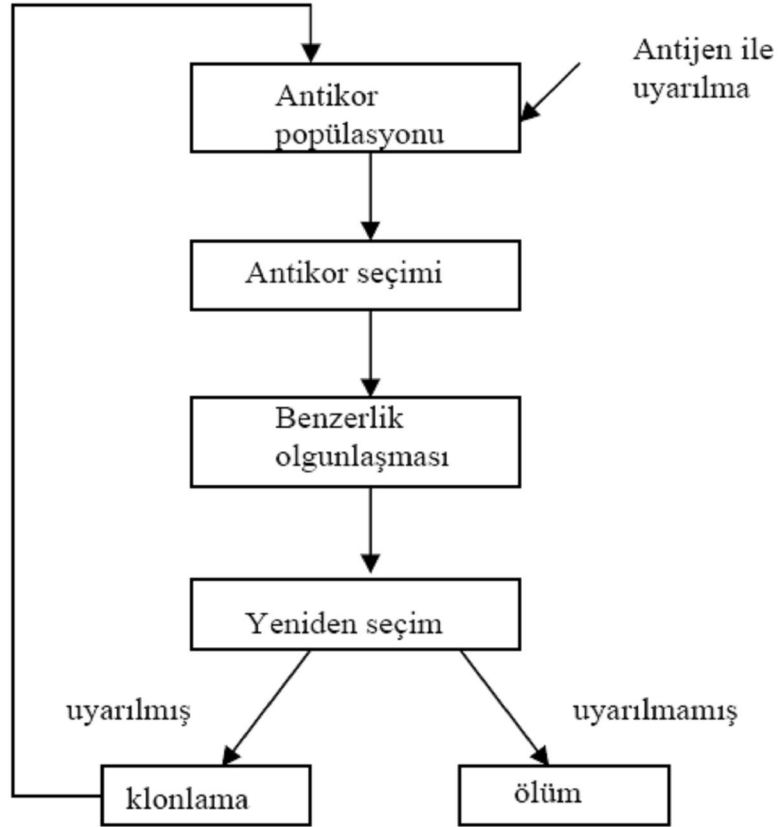
Antijenlerin tanınmasını sağlayan epitop kısımlarına benzer kısımlar antikorda da mevcuttur ve bu kısımlar iditop olarak adlandırılır. Antikokların reseptör kısmı ise paratop olarak adlandırılır. Antikok antijenleri paratop kısmıyla algılayabildiği gibi diğer antikoklar da onu iditop kısmıyla algılayabilir. Ortamda antijen olmasa bile bir kısım antikok diğer bir kısım antikoru iditopu sayesinde algılayabildiği gibi kendisi de başka bir grup antikok tarafında algılanabilir. Antijeni tanıyarak pozitif cevabı oluştururken birbirlerini tanıyarak kendi hücrelerine karşı oluşabilecek bir negatif cevabı da baskılamaktadırlar. Bu durum sayesinde birbirlerini uyararak renme ve iletişimi sağlamış olmaktadır (şekil 3.14).



şekil 3.14. Bağışıklık ağ modeli

b)Antikor ağ modeli

Bu model yapay sinir ağlarında kullanılan Boolean modeline klonal seçim prensiplerinin uygulanmasıdır (Castro and Zuben 2000). Kurulan modelde kendi kendine öğrenen ve gelişen bir antikor repertuarı oluşturulmuştur. Bu repertuara girecek antikorun repertuarda bulunan antikorlardan daha yüksek bir uygunluğa sahip olması gerekir. Bu modelle amaç en yüksek uygunluğa sahip minimal antikor ağına sahip olmaktır. Şekil 3.15.'da bu modelin basit algoritmik yapısı verilmiştir.

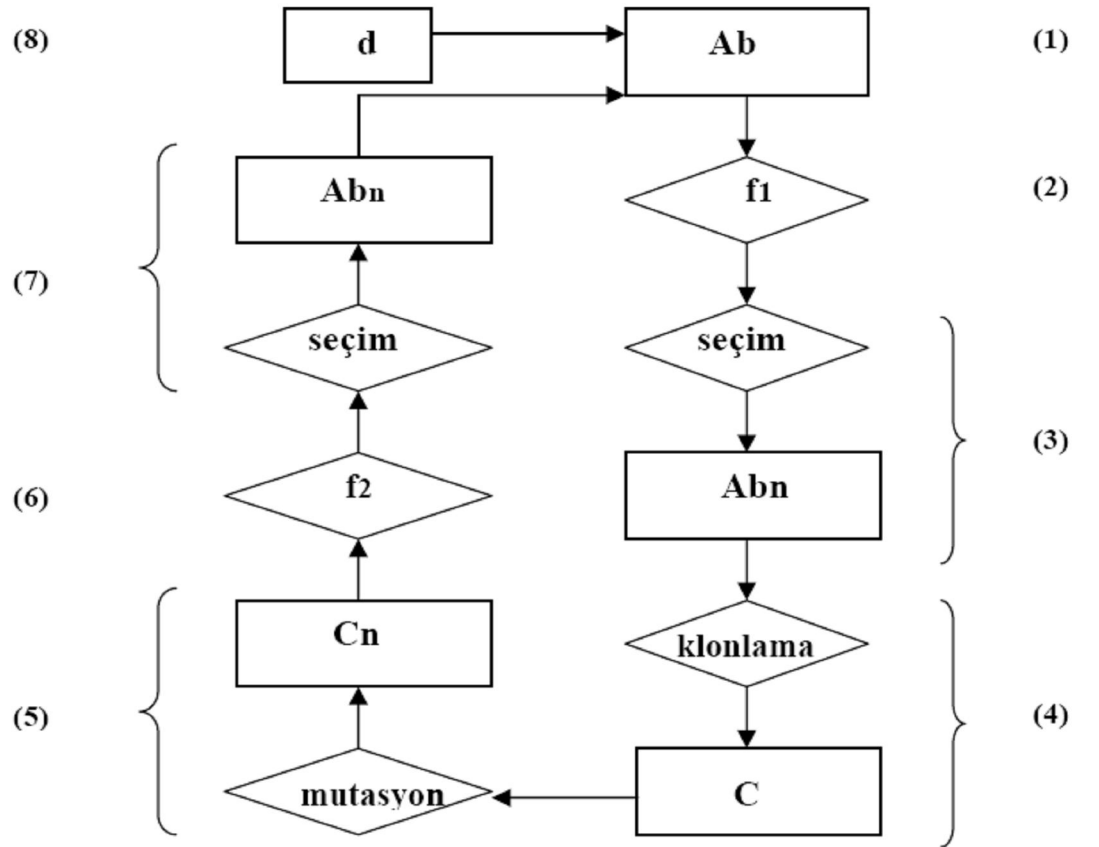


Şekil 3.15. Antikor ağ modeli algoritması

c)Klonal seçim algoritması

Bağışıklık sisteminin çalışmasında değindiğimiz klonal seçim prensibinden hareketle oluşturulan bu algoritma (De Castro and Von Zuben 2000) biçim tanıma, optimizasyon gibi kompleks problemlerin çözümüne uygulanmıştır.

Bağışıklık sisteminin, repertuardan bağımsız olarak hafıza hücrelerine sahip olması, en fazla benzerlik gösteren hücrelerin seçilip klonlanması, etkinlik gösteremeyen hücrelerin ölümü, benzerlik derecesini arttırmak için olgunlaştırma ve yeniden seçme, üretim ve çeşitliliğin korunması gibi özellikleri bu algorithmada uygulanmıştır. YBS ile çözüm algoritması Şekil 3.16'da verilmiştir,



Şekil 3.16. YBS için akış diyagramı

1. adım: antikorların optimizasyon problemlerinde tanınmaları gereken herhangi bir antijen bulunmadığı için ilk adımda oluşturulacak başlangıç çözümleri oluşturulur.
2. adım : antikorların benzerlik derecelerinin belirlenmesi (f1).
3. adım : n adet en yüksek benzerlikte antikorun seçimi (Abn).
4. adım : bütün repertuar aynı sayıda klonlanmaktadır (C).
5. adım : antikorların benzerlik derecesi yüksek olan daha az sayıda olacak şekilde benzerlik mutasyonuna uğratılması (Cn).
6. adım : mutasyona uğramış klonların benzerlik derecelerinin belirlenmesi (f2).
7. adım : en yüksek benzerlik dereceli antikorların yeniden seçilmesi (Abn).
8. adım : son aşamada d adet en düşük benzerlik derecesindeki antikorların yeni üretilen antikorlarla değiştirilmesi (Abn).

Klonal seçim algoritmasının optimizasyon problemlerine uygulanmasında bazı değişiklikler yapılmaktadır. Dördüncü adımda klonlamada klon sayısını benzerlik derecesine göre belirlemek zorunlu değildir, bütün repertuar aynı sayıda klonlanmaktadır.

$$N_c = \sum (\beta \cdot N) \quad (3.15)$$

Fakat beşinci adımda mutasyon oranı benzerlik derecesine göre uygulanmaktadır. Bu aşamada en yüksek benzerlik derecesindeki antikorların orijinaleri repertuarda bulundurmak için mutasyona uğratılmayabilir.

Klonal seçim algoritmasının çok amaçlı optimizasyon problemlerinden biri olan gezgin satıcı problemine uygulamasında L şehir sayısını, her tamsayı da bir şehri temsil edecek şekilde turlar $C = \{1, 2, 3, \dots, L\}$ oluşturulmuştur ve antikorlar turları temsil etmektedir. Gezgin satıcı probleminin çözümünde antikor popülasyonu $N = 300$, yeni üretilenlerin oranı (%20) $d=60$, benzerlik derecesine göre seçilen antikor sayısı $n = 150$, klon sayısı $\beta = 2$ olacak şekilde alınmış ve 30 şehirlik probleme uygulanmıştır.

Biçim tanıma problemleri için algoritmanın birinci adımında antikorların tanınması gereken antijen, gerçek problemde tanınması gereken biçimi temsil etmekte ve ikinci adımda antijen ile antikorun birbirlerine olan benzerliği ölçülmektedir. Algoritmada yapılan mutasyon ve klonlama işlemlerinde benzerlik derecesine göre oranlanmakta, benzerlik derecesi yüksek olanlar daha az mutasyona uğramakta ve daha fazla sayıda klonlanmaktadır.

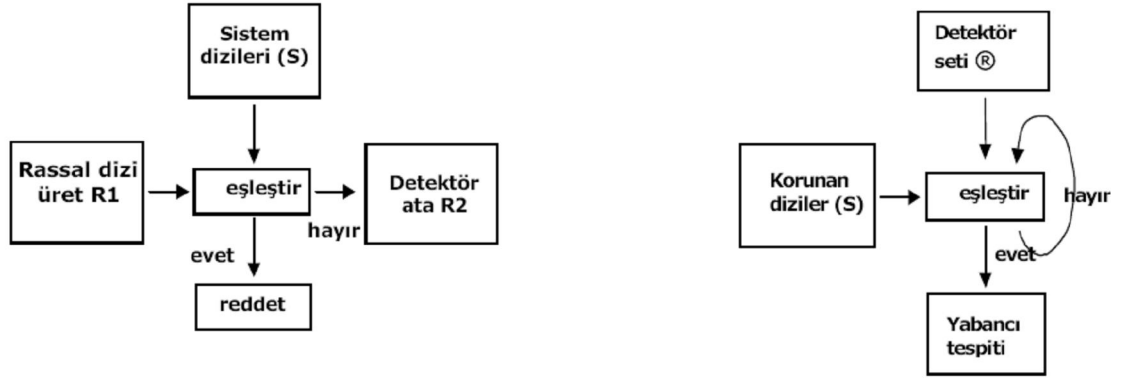
3.2.2.3. Yapay bağışıklık sistemlerinin uygulamaları

Çalışmanın bu bölümünde yapay bağışıklık sistemlerinin uygulandığı alanlardaki yapılmış çalışmaların bazıları hakkında kısaca bilgi verilecektir. Uygulama alanlarını genel olarak belirtmek istersek anormallik tespiti (virüs tespiti), ağ güvenliği, robotik, kontrol, optimizasyon, biçim tanıma gibi alanları sayabiliriz.

Anormallik tespiti

Bir sistemin normal davranışları ve karakteristiği yapılan gözlemlerle ortaya konabilir. Anormalliğin veya yeniliğin tespit edilmesi, probleminin çözümü sistemin karakteristik davranışlarındaki sapmanın ortaya çıkarılması ile mümkün olabilir.

Forrest (1994) çalışmasında bilgisayarlar sistemlerini izinsiz kullanıcılara ve virüslere karşı korumada, bağışıklık sisteminin yabancı hücreleri tanınmasından esinlenerek negatif seçim algoritması oluşturmuş ve bunu uygulamıştır. Negatif seçim algoritmasını kullanarak iki aşamalı bir model oluşturmuştur (Şekil 3.17).



Şekil 3.17. Anormallik tespit algoritması (Forrest, 1994)

Kephart (1994) virüs tespitinde önceden bilinen virüslerin kodları sayesinde bulunması ve bilinmeyen virüslerin ise sistemdeki alışılmamış davranışlarından tanınarak bulunması şeklinde bir yaklaşımda bulunmuştur. Bağışıklık sistemindeki antijen sunan hücrelerden esinlenerek tuzak programlar oluşturmuş ve zamanla bu programları inceleyerek değişikliğe uğrayıp uğramadığını kontrol etmiştir. Tuzak programlarda eğer değişiklik varsa sistemde bilinmeyen bir virüs ve bu tuzak programların her birinde virüsün bir örneği var demektir. Tuzak programdan yeni virüsle ilgili bilgiler alınır ve sistem artık bu virüsü tanıyabilecektir.

Ağ güvenliği

Forrest (1997) ve Holfmeyr and Forrest (1999) çalışmalarında ağ güvenliği için yapay bağışıklık sistemlerinden yararlanmışlardır. Doğal sistemdeki bazı bağışıklık hücrelerinin özelliklerinden detektörlerin temel özelliklerini tanımlarken yararlanmışlardır.

Kim and Bentley (1999) ağa izinsiz girişlerin tespitini yapabilen sistem çalışmalarında bağışıklık sisteminden esinlenmişlerdir. Bağışıklık sisteminin vücudun her yanına dağılmış olması, bir merkeze bağlı olmadan çalışması gibi prensipleri kullanmayı amaçlamışlardır. Çizelge 3.4.'de bağışıklık sistemi ve ağ modeli arasında eşleştirme verilmektedir.

Çizelge 3.4. Bağışıklık sistemi ile ağ modeli arasında eşleştirme

Ağ ortamı	Bağışıklık sistemi
Birincil IDS	Kemik iliği ve timus
Yerel birimler	İkincil lenf nodları
Detektörler	Antikorlar
İzinsiz girenler	Antijenler
Normal aktiviteler	Sisteme ait
Anormal aktiviteler	Yabancı

Okamoto and Ishida (1999) sistemin kendi dosyalarını tanıyan (başlığından, ilk birkaç baytıdan, gibi) ve virüs bulaşmış dosyaları sistemdeki diğer birimlerden kopyalayarak değiştiren bir model önermişlerdir. Bu model;

- tespit eden/etkisiz hale getiren birimler (antikorlar),
- virüs bulaşmış dosyaları ortadan kaldırıp kopyalarıyla değiştiren birimler (öldürücü T hücreleri),
- bu işlemleri kontrol eden birimlerden oluşmaktadır (yardımcı T hücreleri).

Biçim tanıma

Hunt and Cooke (1996) biçim tanıma problemlerinde kullanılacak yapay bağışıklık sistemleri için bir model önermişlerdir. Bu modelin en önemli özellikleri antikorların üretimi için genetik mekanizmaları kullanması, bağışıklık cevabı için klonal seçimini ve benzerlik olgunlaşmasını kullanmasıdır.

De Castro and Von Zuben (2000) ikili karakter tanımda klonal seçim algoritmasını kullanmışlardır. Şekil 3.18.'deki gibi bir şekli 20x20'lik bir çözünürlükte kodlayıp, 400 karakter uzunluğunda bir dizi ile bu karakteri temsil etmişlerdir. Bu dizi elde edildikten sonra algoritma işletilerek başlangıçta üretilen popülasyondan bu karakteri verecek dizi bulunmuştur.



Şekil 3.18. Biçim tanımada kullanılan örnek karakter

Veri analizi ve madenciliği

Timmis *et al.* (2000) verilerin kümelenecek daha anlamlı yorumlanabileceği bir model oluşturabilmek için yapay bağışıklık sisteminden yararlanmıştır. Oluşturduğu modelde B hücrelerinin sistemdeki birbirleriyle ve antijenlerle olan iletişiminden esinlenmiştir.

Timmis and Neal (2001) yaptıkları çalışmada kısıtlı kaynağa sahip bir yapay bağışıklık sistemi yaklaşımıyla yeni bir algoritma geliştirmişlerdir. Bu çalışmada oluşturdukları modelle, diğer çalışmaya oranla daha fazla bir gelişme sağlayarak modelin ağırlık büyüklüğünü kısıtlayarak verilerin daha kolay yorumlanmasını ve gözlemcisiz öğrenme işlemini yerine getirmesini sağlamışlardır. Bu çalışmada ayrıca önerdikleri bu modelin gözlemcisiz öğrenme konusunda diğer yöntemlere ciddi bir alternatif olduğunu göstermişlerdir.

Veri madenciliğini veritabanlarından istenen bilginin bulunması olarak kısaca ifade edebiliriz.

Optimizasyon

Fukuda *et al.* (1999) çok modelli fonksiyon optimizasyon problemleri için bağışıklık sisteminin çeşitliliğini, klonal seçimini ve ağ teorisini matematiksel olarak modelleyerek bağışıklık algoritması önermişlerdir. Çizelge 3.5.'de önerilen algoritma ile bağışıklık sisteminin eşleştirilmesi verilmiştir.

Çizelge 3.5. Bağışıklık sistemiyle bağışıklık algoritmasının eşleştirilmesi

Bağışıklık algoritması	Bağışıklık sistemi
Çözülecek problem	Antijen
En iyi çözüm vektörü	Antikor
Problemin tanımlanması	Antijenin tanınması
Hafıza hücrelerinden antikor üretilmesi	Önceki en iyi çözümün tekrar çağırılması
Lenfositlerin farklılaşması	İyi çözümlerin korunması
T hücrelerin baskısı	Fazlalık çözüm adaylarının elenmesi
Yeni antikorların üretilmesi	Genetik operatörlerle yeni çözümlerin oluşturulması

Endo *et al.* (1998) ve Toma *et al.* (1999) n satıcılı gezgin satıcı probleminin çözümü için MHC kompleksi ve bağışıklık ağ modelinden yararlanarak algoritma ortaya koymuştur. Bu algoritma özellikle n satıcılı problemin çözümü için ortaya konmuştur (Çizelge 3.6)

Çizelge 3.6. Bağışıklık sisteminin gezgin satıcı problemde yerine getirdiği roller

Bağışıklık sistemi	N satıcılı problemdeki rolü
Antijen	Şehirler ve satıcılar hakkında bilgi içerir
Makrofaj	Satıcının gezmesi gereken şehir sayısını belirler
T hücreleri	B hücrelerin çalışmasına yardım eder
B hücreleri	Antikorları üretir
Antikor	Satıcıların davranışlarını ifade eder

3.2.3. Genetik algoritmalar

Genetik algoritmalar yapay zekânın gittikçe genişleyen bir kolu olan evrim yöntemlerini kullanan tekniğin bir parçasını oluşturmaktadır. Adından da anlaşıldığı üzere, evrimsel

hesaplama tekniğinin bir parçası olan genetik algoritma Darwin'in evrim teorisinden esinlenerek oluşturulmuştur. Herhangi bir problem genetik algoritma ile çözüldükten, problem sanal olarak evrimden geçirilerek, karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümüne ulaşılmaktadır.

GA 1970'li yıllarda Michigan Üniversitesinde öğretim üyeliği yapan John Holland ve onun çalışma arkadaşları ile öğrencileri tarafından geliştirilerek bilgisayar ortamına taşınmıştır. Holland 1975 yılında yaptığı çalışmaları "Adaptation in Natural and Artificial Systems" adlı kitabında bir araya getirmiştir. İlk olarak Holland evrim yasalarını genetik algoritmalar içinde eniyileme problemleri için kullanmıştır. Daha sonra John Holland'ın öğrencisi David Goldberg'in "Gaz Borularının Genetik Algoritma İle Optimizasyonu" adlı doktora tezi ile birlikte genetik algoritmaların teorik olmaktan öteye piyasalarda uygulanabilirliği ispatlanmıştır. 1989 yılında David Goldberg'in bu konuda klasik sayılabilecek kitabı yayınlanmıştır (Goldberg, 1989).

Genetik Algoritmalar mühendislik problemlerinde optimizasyon amacıyla kullanılmaktadır. Ayrıca mekanizma tasarımında, otomatik programlama, öğrenme kabiliyetli makineler, ekonomi, ekoloji, planlama, üretim hattı yerleşimi, dijital resim işleme tekniği gibi karmaşık problemlerin çözümünde çokça uygulama alanı bulmuştur. Bu problemlerin hemen hemen hepsi çok geniş bir çözüm havzasının taranmasını gerektirmektedir. Bu çözüm havzasının geleneksel yöntemlerle taranması çok uzun sürmekte, genetik algoritmayla ise kısa bir sürede kabul edilebilir bir sonuç alınabilmektedir.

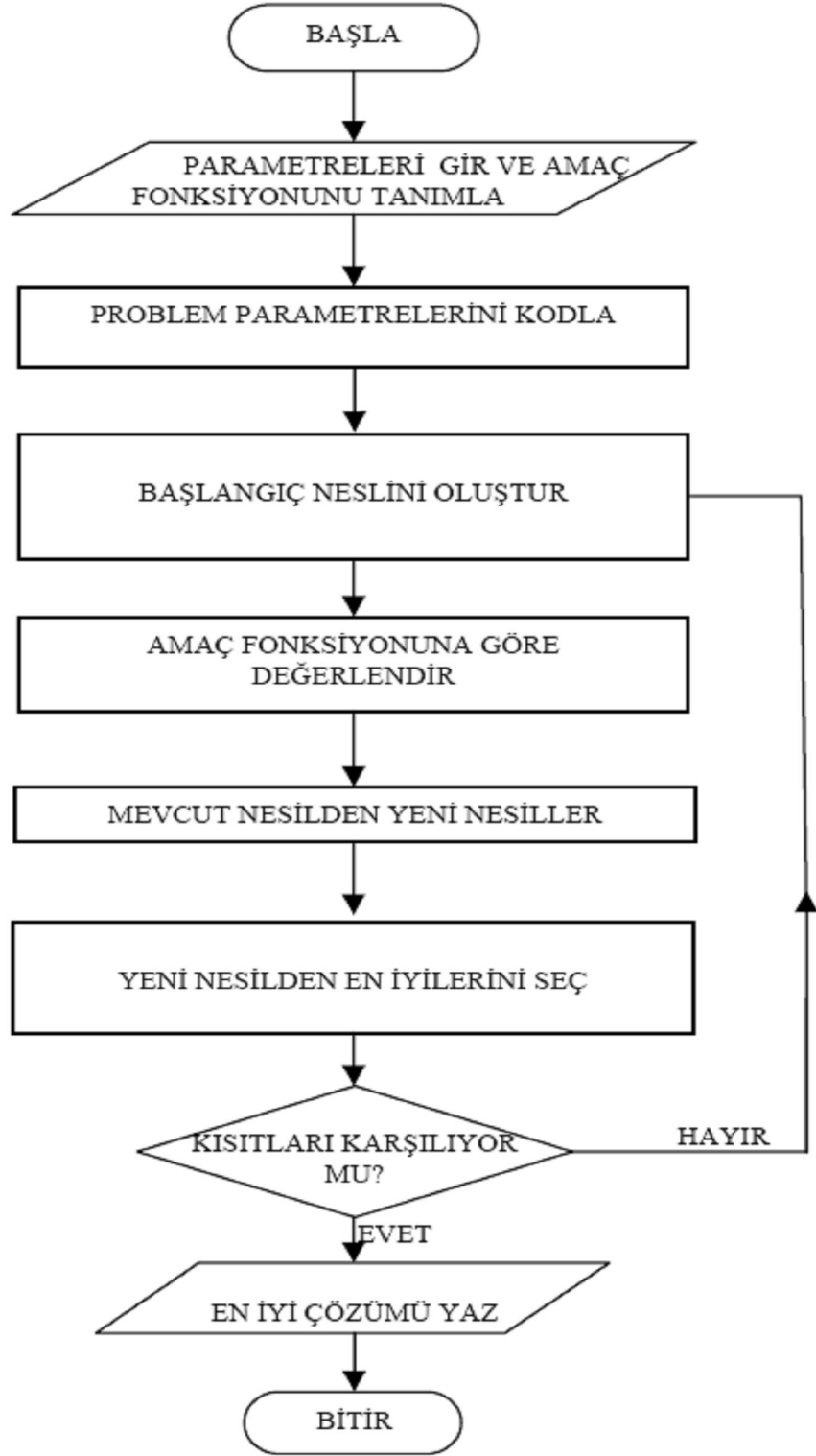
3.2.3.1. Genetik algoritma tekniği

Algoritma ilk olarak popülasyon diye tabir edilen bir çözüm (kromozomlarla ifade edilir) seti ile başlatılır. Bir popülasyondan alınan sonuçlar bir öncekinden daha iyi olacağı beklenen yeni bir popülasyon oluşturmak için kullanılır. Yeni popülasyon oluşturulması için seçilen çözümler uyumluluklarına göre seçilir. Çünkü uyumlu

olanların daha iyi sonuçlar üretmesi olasıdır. Bu istenen çözüm sağlanıncaya kadar devam ettirilir. Genetik algoritma akış diyagramı Şekil 3.19'da verilmiştir.

Genetik Algoritmanın aşamaları :

- 1. adım başlangıç:** n adet kromozom içeren popülasyonun oluşturulması (problemin uygun bir çözümü)
- 2.adım uyumluluk:** her x kromozomu için uyumluluğun $f(x)$ değerlendirilmesi,
- 3. adım yeni popülasyon:** Yeni popülasyon oluşuncaya kadar aşağıdaki adımların tekrar edilmesi,
 - a. Seçim:** İki ebeveyn kromozomun uyumluluğuna göre seçimi (daha iyi uyum seçilme şansını artırır.),
 - b. Çaprazlama:** Yeni bir fert oluşturmak için ebeveynlerin bir çaprazlama olasılığına göre çaprazlanması. Eğer çaprazlama yapılmazsa yeni fert anne veya babanın kopyası olacaktır.
 - c. Mutasyon:** Yeni ferdin mutasyon olasılığına göre kromozom içindeki konumu (lokus) değiştirilir.
 - d. Ekleme:** Yeni bireyin yeni popülasyona eklenmesi.
 - e. Değiştirme:** Algoritmanın yeniden çalıştırılmasında oluşan yeni popülasyonun kullanılması,
 - f. Test:** Eğer sonuç tatmin ediyorsa algoritmanın sona erdirilmesi ve son popülasyonun çözüm olarak sunulması.
 - g. Döngü:** 2. adıma geri dönülmesi.



Şekil 3.19. GA için akış diyagramı

Görüldüğü üzere genetik algoritmanın yapısı oldukça geneldir ve herhangi bir probleme uygulanabilir. Kromozomların tanımlanması genellikle ikili düzendeki sayılarla yapılır. Çaprazlama işlemi için kullanılan bireyler iyi bireylerden seçilir.

GA kullanılarak bir problem çözülecekse algoritmanın ne zaman sonlanacağına kullanıcı karar vermektedir. GA'nın belli bir sonlanma kriteri yoktur. Sonucun yeterince iyi olması veya yakınsamanın sağlanması algoritmanın durması için kriter olarak kullanılabilir (Kurt ve Semetay).

3.2.3.2. GA'da kullanılan operatörler

Genetik algoritmanın en önemli kısımları çaprazlama ve mutasyon işlemleridir. Bu işlemler bir ihtimal değeri ile ve genelde rastgele olarak uygulanır. Bu şekilde iyi sonuç alınabilmektedir.

Bir kromozomun ikili sayılarla temsil edilmesi:

Kromozom 1 1101100100110110

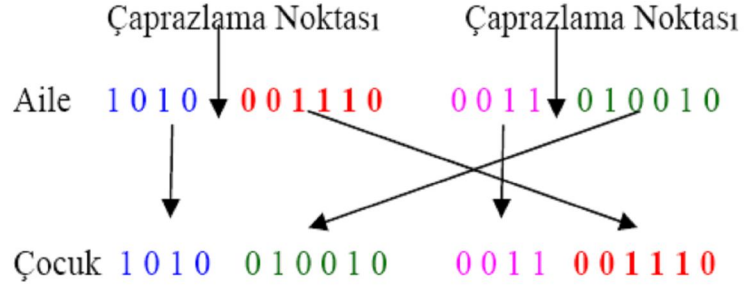
Kromozom2 1101111000011110

Kromozom temsil ettiği çözümle ilgili bilgi içermelidir. Her kromozom ikili (binary) bir diziden oluşur. Bu dizi içindeki bit adı verilen her bir sayı çözümün bir karakteristiğini temsil edebilir veya bir dizi bütünüyle bir sayıya işaret edebilir.

Kromozomu ikili düzendeki sayılar dizisiyle ifade etmek çok tercih edilen bir temsil şeklidir ancak bunun yerine tamsayı veya reel sayılar da kullanılabilir. İkili düzenin tercih edilmesinin sebebi basit olması ve bilgisayar tarafından daha kolay ve hızlı bir biçimde işlenebilmesidir.

Üreme: Üreme işlemi belli bir seçme kriterine göre bireylerin seçilip yeni kuşağın oluşturulması işlemidir. Seçme kriterleri uyumluluğu esas alarak birbiriyle uyumlu olan bireyleri seçer. Daha sonra çaprazlama ve mutasyon uygulanacak olan bireylerden daha uyumlu yeni bireylerin ortaya çıkması olasıdır. Bireylerin tamamı uyumluluğa göre seçilebilir veya bir kısmı rastgele seçilerek yeni kuşağa aktarılabilir (Kurt ve Semetay).

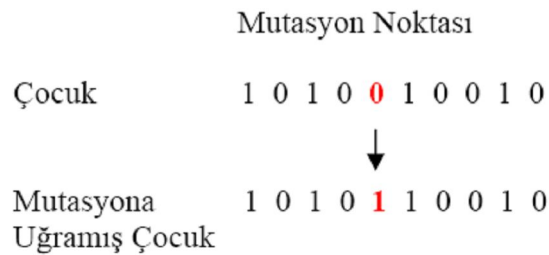
Çaprazlama: Kromozomların nasıl temsil edileceğine karar verildikten sonra çaprazlama yapılabilir. Çaprazlama ebeveynlerden bazı genleri alarak yeni bireyler oluşturma işlemidir (Şekil 3.20.).



Şekil 3.20. Tek noktadan çaprazlama

Çaprazlama yapılacak konum rastgele seçilir. Oluşan yeni birey ebeveynlerin bazı özelliklerini almış ve bir bakıma ikisinin kopyası olmuştur. Çaprazlama işlemi başka şekillerde de yapılabilir. Mesela birden fazla çaprazlama noktası seçilebilir. Daha iyi performans almak amacıyla değişik çaprazlamalar kullanılabilir (Kurt ve Semetay).

Mutasyon: Çaprazlama gerçekleştikten sonra mutasyon gerçekleştirilir. Mutasyon oluşan yeni çözümlerin önceki çözümü kopyalamasını önlemek ve sonuca daha hızlı ulaşmak amacıyla yapılır. Mutasyon oluşan yeni bireyin bir bitini (eğer ikili düzende ifade edilmiş ise) rastgele değiştirir (Şekil 3.21.) (Kurt ve Semetay).



Şekil 3.21. Tek bir mutasyon

Elitizm: Üreme, çaprazlama ve mutasyon işlemleri sonrasında kuşakta bulunan en iyi uyumluluğa sahip birey sonraki kuşağa aktarılamayabilir. Bunu önlemek için bu işlemlerden sonra oluşan yeni kuşağa bir önceki kuşağın en iyi (elit) bireyi, yeni kuşaktaki herhangi bir birey ile değiştirilir. Buna elitizm adı verilir (Kurt ve Semetay).

GA parametreleri:

-Çaprazlama ve mutasyon olasılığı: GA tekniğinin çaprazlama olasılığı ve mutasyon olasılığı olmak üzere iki basit parametresi vardır.

Çaprazlama olasılığı çaprazlamanın hangi sıklıkta yapılacağını belirtir. Eğer hiç çaprazlama yapılmaz ise (çaprazlama olasılığı %0) yeni bireyler eski bireylerin aynısı olur ama bu yeni kuşağın eskisiyle aynı olacağı anlamına gelmez. Eğer bu oran %100 olursa yeni bireyler tamamıyla çaprazlama ile elde edilir. Çaprazlama eski bireylerden iyi taraflar alınarak elde edilen yeni bireylerin daha iyi olması umuduyla yapılır.

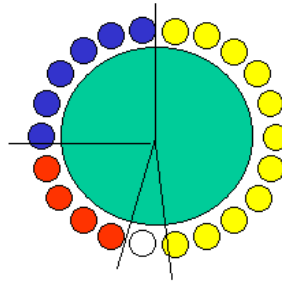
Mutasyon olasılığı ise mutasyonun hangi sıklıkta yapılacağını belirtir. Mutasyon olmaz ise yeni birey çaprazlama veya kopyalama sonrasında olduğu gibi kalır. Eğer mutasyon olur ise yeni bireyin bir kısmı değiştirilmiş olur. Eğer bu oran %100 olursa kuşak içindeki bireyler tamamen değişir, %0 olursa hiç değişmeden kalır.

-Diğer parametreler: GA tekniği başka parametreler de içerir. Bunların en önemlilerinden birisi de popülasyon büyüklüğüdür. Bu parametre popülasyon içinde (yalnızca bir kuşakta) kaç adet kromozom yani birey olduğunu söyler. Eğer kromozom sayısı az olursa GA çözüm aranan uzayın ancak bir kısmını gezebilir ve çaprazlama için fazla bir seçeneği yoktur. Kromozom sayısı çok fazla olursa GA çok yavaş çalışır. Araştırmalar belli bir noktadan sonra popülasyon sayısını artırmanın bir yararı olmadığını göstermiştir.

Yeni bireyler uyumluluğa göre veya rastgele olarak seçilebilir. Yeni bireylerin tamamen rastgele seçilme durumunda yakınsama zorlaşabilir. Tüm bireyler uyumluluğa göre seçildiğinde ise yeni kuşak içinde bölgesel yakınsamalar olabilir. Bu sorunların üstesinden gelmek için belli bir oranda uyumluluk seçimi belli bir oranda da rasgele seçim yapılabilir. Bu oran Kuşak Farkı (Generation Gap) ile ifade edilir. Kuşak farkı %100 olduğunda yeni bireylerin tamamı uyumluluğa göre seçilir.

Seçim: Ebeveynleri oluşturmak üzere bazı bireylerin seçilmesi gerekir. Teoriye göre iyi olan bireyler yaşamını sürdürmeli ve bu bireylerden yeni bireyler oluşmalıdır. Bu seçim çeşitli kriterlere göre yapılabilir. Rulet seçimi, Boltzman seçimi, turnuva seçimi, sıralı seçim bunlardan bazılarıdır.

Rulet seçiminde kromozomlar uyumluluk fonksiyonuna göre bir rulet etrafına gruplanır. Uyumluluk fonksiyonu herhangi bir kriterle uyumlu bireylerin seçilmesi için kullanılır. Bu rulet üzerinden rastgele bir birey seçilir. Daha büyük alana sahip bireyin seçilme şansı daha fazla olacaktır (Kurt ve Semetay). Rulet seçimi eğer uyumluluk çok fazla değişiyorsa sorun çıkartabilir. Örneğin en iyi kromozomun uyumluluğu %90 ise diğer kromozomların seçilme şansı azalacaktır. Bunu önlemek için sıralı seçim kullanılabilir. Sıralı seçimde en kötü uyumlulukta olan kromozoma 1 değeri sonrakine 2 değeri verilir ve böylelikle seçilmede bunlara öncelik tanınmış olur. Bu şekilde onların da seçilme şansı artar fakat bu çözümün daha geç yakınsamasına neden olabilir. Şekil 3.22.'de Seçim yapmak için top atıldığında sarı alanlarda durma olasılığı daha yüksektir.



Şekil 3.22. Rulet Seçimi

Örnek çözüm;

Aşağıda rastgele seçilmiş 8 bitlik 4 adet birey görülmektedir. Uyumluluk kriteri her dizinin barındırdığı 1 adedi olsun (a bireyinde 2 adet 1 bulunmaktadır dolayısıyla uyumluluğu 2'dir);

a 00000110 2

b 11101110 6

c 00100000 1

d 00110100 3

Bu durumda aradığımız değer 8 uyumluluğa sahip bir değer olsun. Bu 4 adet dizi içinden ikişer çift seçerek sonraki kuşak oluşturulacak ve bunlara çaprazlama ve mutasyon uygulanacaktır. b,d ile b,c çiftleri seçilsin. Çaprazlama bu çiftler içinde çaprazlama olasılığı oranında gerçekleşecektir. b,d çiftinde çaprazlama olduğunu varsayalım. Bu durumda e=10110100 ve f=01101110 şeklinde yeni bireyler oluşacaktır. Burada çaprazlama ilk bit üzerinden gerçekleşmiştir. Diğer çift üzerinde çaprazlama yapılmaz. Mutasyon ise mutasyon olasılığı oranında etki edecektir. Burada e ile b bireylerine etkimiştir(e'ye 6. bit, b'ye ilk bit üzerinden). Mutasyona uğrayan bitler değişir ve son durum aşağıdaki gibi olur;

e' 10110000 3

f 01101110 5

c 00100000 1

b' 01101110 5

Görüldüğü gibi en yüksek uyumluluğa sahip olan b bireyinin kaybolmasına karşılık ortalama uyumluluk artmıştır. Bu işlem birkaç kez tekrar edildiğinde GA mükemmel diziyi yani 11111111 dizisini bulacaktır (Kurt ve Semetay).

3.2.4. Klonal seçim algoritması ve genetik algoritmanın karşılaştırılması

Genetik algoritmanın veya herhangi bir evrimsel hesaplamanın beş ana bölümü vardır (Michalewicz 1996);

- potansiyel çözüm adaylarının genetik olarak temsil edilmesi
- bir şekilde potansiyel çözüm adaylarının başlangıç çözüm popülasyonunun oluşturulması
- bir evrimsel fonksiyon (uyumluluk fonksiyonu)
- yeni fertlerin oluşumunu çeşitlendirecek genetik operatörler
- popülasyon büyüklüğü, genetik operatör ihtimalleri gibi algoritmada kullanılacak parametre değerleri.

Genetik algoritmalar, Darwin'in evrim teorisinden ve genetikten esinlenerek oluşturduğu notasyon ve isimlendirmeleri kullanırken klonal seçim algoritması doğal bağışıklık sisteminden esinlenerek oluşturduklarını kullanmaktadır.

Klonal seçim algoritmasının yapısı incelendiğinde genetik algoritmadan çok farklı olmadığı ve iki algoritmanın bir hayli paralel olduğu görülür. Evrimsel hesaplamaları ve kodlama şemaları birbirinden çok farklı olmamasına rağmen esinlendikleri bakış açıları nedeniyle evrimsel aramaları değişmektedir. İsimlendirmeleri ve dayandıkları temeller farklıdır. Genetik algoritmalar çözümleri en iyi olana yaklaştırma eğilimindedir. Klonal seçim algoritmasında ise daha geniş bir yerel optimum çözümler kümesi vardır (Castro and Zuben 2000).

Üstyapı yönetim sistemlerinde GA ve YBS'nin kullanılması sonucunda elde edilen sonuçlar YBS ile yapılan çözümlerin GA ile yapılan çözümlere göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

3.2.5. Markov geçiş ihtimal matrisleri (GİM)

Üstyapıların bozulma tahminleri genel olarak yaşlanmaları simüle ederek uygulanan deterministik ve olasılığa dayalı modellerle yapılır. Deterministik modeller yol durumunu tamsayı olarak tahmin etmekte ve gözlemlerin ya da bozulma ölçümlerinin

matematiksel fonksiyonlarına dayandırılmaktadır. Olasılığa dayalı modeller ise yol durum tahminini belli bir aralık içinde yol durumunun gelebileceği durum ihtimaline göre yaparlar.

Proje seviyesinde ihtimal modelleri yolun belli bir zamandaki durumunu belli bir yol uzunluğu için tahmin ederler. Ağ seviyesinde ise yol ağının bulunduğu durum oranlarına göre tahmin yaparlar. Bu durumdaki modeller Markov tahmin modeli olarak adlandırılır.

Bir rastgele değişkenin zaman içinde (ya da uzayda) ardışık anlarda (ya da noktalarda) aldığı değerlerden oluşan sürece Stokastik Süreç denir. Bir stokastik sürecin X değişkeni Δt zaman aralıklarıyla t_0, t_1, t_2, \dots anlarında ölçülen X_0, X_1, X_2, \dots değerleriyle ifade edilir. Rastgele değişkenin herhangi bir t_{n+1} anındaki değeri, sadece bir önceki t_n anındaki değeri ile bağımlı özelliği bulunan Stokastik sürece (birinci mertebe, basit) Markov Zinciri adı verilir.

Markov zincirlerine örnek olarak bir otobüs durağında bekleyenleri göz önüne alabiliriz. Bekleyen yolcuların sayısı birer dakikalık aralıklarla ölçülürse bir Markov zinciri elde edilir. Başka bir örnek olarak bir yol kaplamasının yüzeyinin 1,2,3 ve 4 durularında yani sırasıyla mükemmel, iyi, orta ve bozuk yüzeyde olabileceğini düşünersek, ardışık yıllardaki yüzey durumları bir Markov zinciri oluşturur.

Yukarıdaki örneklerde göz önüne alınan süreçlerin gerçekten birer Markov zinciri oluşturması için ilk örnekte birer dakikalık sürelerde durağa gelen yolcu sayıları birbirinden bağımsız olmalıdır.

Homojen bir Markov zincirinde sistemin herhangi bir t_0 anındaki durumu ve geçiş ihtimal matrisi biliniyorsa sistemin bundan sonraki anlardaki davranışı, yani çeşitli durumlarda bulunma ihtimalleri belirlenebilir.

Eğer bir sistem, bir gözlem üzerinde, i . durumda ise, bir sonraki gözlemden j . duruma sahip şartlı ihtimal; sadece i ve j 'ye bağlıdır. Bu ihtimal p_{ij} ile gösterilir, bu ihtimal i 'den j 'ye geçişi sağlar.

N adımlı bir Markov Zinciri olduğunu düşünelim, p_{ij} , i 'den j 'ye geçişi sağlamaktadır. O halde;

$$1 \leq i \leq N \quad 1 \leq j \leq N \quad \text{olur ve geçiş matrisi:} \\ p = [p_{ij}] \quad (3.16)$$

Bu matris geçiş matrisinin bir adımı olarak gösterilebilir, ya da Markov Zinciri için basitleştirilmiş bir geçiş matrisi olarak ifade edilebilir.

3.2.5.1. Üstyapı bozulmalarına uygulanan markov teorisi

Markov tahmin modeli stokastik bir işlemdir ve 3 kısıtlama ile kontrol edilmektedir.

1. Proses zaman içinde kısıtlı olmalıdır.
2. Proses, sayılabilir ya da sonlu durum uzayına sahip olmalıdır.
3. Proses Markov olasılığının şartlarını yerine getirmelidir.

Markov olasılığının şartlarının yerine getirilmesi demek stokastik proses olmasına bağlı olarak, gelecekteki yol durumunun geçmişteki yol durumuna değil şimdiki yol durumuna bağlı olması demektir.

Markov zincirleri şu adımları izleyerek üstyapı bozulmasını belirleyebilir.

-Zaman içindeki üstyapı bozulması sürekli. Zaman içinde kesikli alabilmek için belirli zaman aralıklarında analiz yapılmalıdır. Genellikle bu süre 1 yıl olarak alınmaktadır.

-Mümkün olabilecek durum sonuçlarının sayısı sonsuzdur. Bu nedenle durumlar dikkatli bir şekilde sınırlandırılmalıdır.

-Üstyapı bozulmasında Markov olasılığının olduğu kabul edilmelidir.

Sonuç olarak kesikli-zaman Markov zinciri, eğer bir durumdan diğer duruma geçme olasılığı zamandan bağımsız ise zaman içinde sabit veya homojendir.

Yol durumları sabit ya da sabit olmayan Markov zincirlerine göre modellenebilirler. Sabit zincir durumunda, yol ağının bozulması sabit bir geçiş matrisine bağlıdır. Eğer belli bir yol kesiminin bozulması kesin bir t zamanında değişiyorsa bu işlem sabit olmayan zincir ile modellenebilir. Bu, t den önce ve sonra farklı geçiş matrislerinin kullanılacağını gösterir. Bu durumda t anındaki durum vektörü ikinci zincir için başlangıç vektörü olmaktadır. Bu uygulama ihtiyaç olunan zaman süresince yapılabilir.

Herhangi bir prosesin başlangıç durumu, başlama durumu olarak alınabilir ve $a_0=(\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n)$ şeklinde gösterilir. Üstyapı bozulması ile benzetildiğinde başlangıç vektörü yol ağının her bir durumda bulunma yüzdelerinin verildiği şimdiki durum vektörü olmaktadır.

Başlangıç vektörü aşağıdaki kriterleri sağlamak durumundadır.

- α_i toplamları 1' e eşit olmalıdır,
- Ve bütün parametreler pozitif olmalıdır.

Yol bozulmasının zamanla gösterimini modellemek için gerekli olan geçiş ihtimal matrisi (GİM) nin genel formu şu şekildedir.

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \vdots & & & \vdots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

Bu matris yol durumları arasındaki geçiş prosesini modellemek için bütün gerekli bilgilere sahiptir. Geçiş olasılığı olan p_{ij} , belirlenen zaman içinde yol ağı kısımlarının i durumundan j durumuna geçme olasılığını vermektedir. Genel olarak zaman 1 yıl olarak alınmaktadır. Başlangıç vektöründe olduğu gibi GİM' de de:

-Her satırdaki elemanların toplamı 1'e eşittir.

-Bütün elemanlar pozitifdir.

Belirli bir zamandaki durum dağılımı $t=1$ olduğunda şu şekilde hesaplanabilir:

$$a_1 = a_0 * P^1 \quad (3.17)$$

Benzer şekilde herhangi bir zamandaki dağılım;

$$a_t = a_0 * P^t \quad (3.18)$$

şeklinde hesaplanır.

Burada;

a_t : t anındaki durum dağılımı,

a_0 : 0 anındaki durum dağılımı, yani başlangıç vektörü

P^t : GİM'in t . kuvveti

Proses de iki kabul yapılmaktadır. Bunlardan ilki; eğer $i > j$ ise $p_{ij}=0$ olduğudur. Çünkü bir yol kesimi herhangi bir uygulama yapılmadan daha iyi bir duruma geçemez. İkincisi ise $p_{nn}=1$ olduğudur. Bunun sebebi de; yol en kötü durumda ise aynı durumda kalıp daha kötü bir duruma geçemeyeceği içindir. Bu kabullerle GİM' in genel formu aşağıdaki şekilde olmaktadır (Ortiz *et al.* 2006).

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & \cdots & p_{1n} \\ 0 & p_{22} & p_{23} & \cdots & p_{2n} \\ 0 & 0 & p_{33} & \cdots & p_{3n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

Bunlara ek olarak, üstyapı bozulma modellerinde genel olarak kullanılan ,yolların belirli bir zaman içinde en fazla bir durum kötüleşeceği kabulü yapılıncı GİM aşağıdaki şekilde gösterilebilir.

$$P = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & p_{22} & p_{23} & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & p_{33} & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}$$

3.2.5.2. Geçiş ihtimal matrislerinin elde edilme yaklaşımları

p_{ij} , lerin standart olarak hesaplanması geçmiş verilerden alınan i durumundan j durumuna geçen yol sayılarının, toplam sayılara bölünmesiyle bulunmaktadır.

$$p_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_i} \quad (3.19)$$

Yıllar içerisindeki oranların yıldan yıla değişeceğinden dolayı modeldeki doğruluğu artırmak için p_{ij} 'lerin ortalamaları kullanılmalıdır. Geçmiş verilerin yetersiz olduğu durumlarda, kullanıcı tecrübesi ile bu değerler bulunabilir. p_{ij} 'lerin ortalamaları kullanılmalıdır. Geçmiş verilerin yetersiz olduğu durumlarda, tecrübeli mühendisler tecrübelerini kullanarak ile bu değerler bulunabilir (Ortiz et al. 2006).

3.2.6. Pareto optimizasyonu

Çok amaçlı bir problem matematiksel olarak aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} \min \tilde{f}(x) &= [\tilde{f}_1(x), \tilde{f}_2(x)] \\ \tilde{f}_1 &= \max \tilde{C}_i \\ \tilde{f}_2 &= \max \tilde{T}_i \end{aligned} \tag{3.20}$$

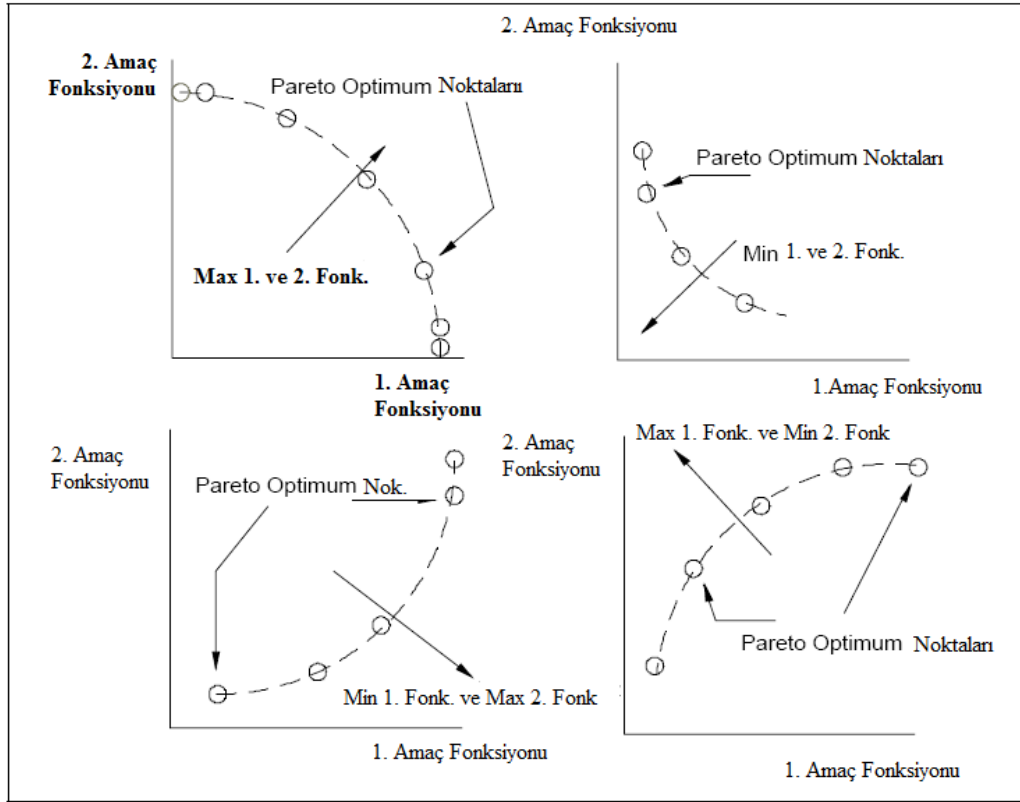
Problemin çözümü noktalar ailesinden oluşur ve bunlara pareto optimal çözümler kümesi denir. Pareto optimalite şartı;

$$f_i(x) \leq f_i(x^*) \quad \forall i=1,2,3 \text{ için ve}$$

$$f_i(x) < f_i(x^*) \text{ en az bir } i \text{ için}$$

şartlarını sağlayan başka bir $x \in S$ vektörü yok ise $x^* \in S$ pareto optimaldir.

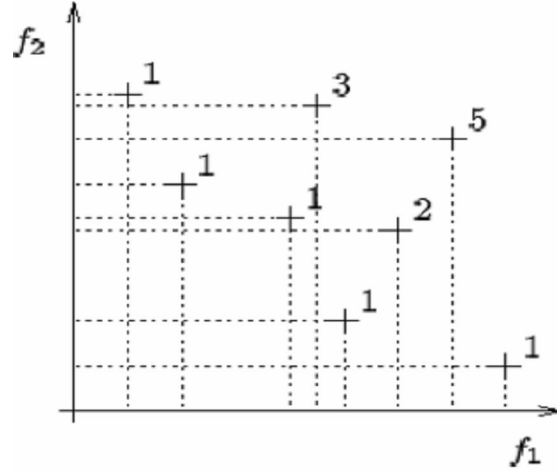
Pareto çözümler çeşitli yaklaşımlarla elde edilir. Bunlardan biri de ağırlıklandırma yaklaşımıdır. Seçilen her ağırlık için elde edilen çözüm bir pareto noktadır. Ağırlıklar değiştirilerek tüm pareto çözümlerden oluşan eğri elde edilir (Temiz ve Erol 2004).. Çok amaçlı optimizasyonların amacı pareto optimum sonuçlarını elde etmektir.



Şekil 3.23. İki amaçlı bir fonksiyonun pareto optimum çözümleri

Bir diğer Pareto tekniğinde ise; amaçlar önem derecesine göre sıralanır. Fonksiyonlar minimum yapıldıktan sonra amacın öncelik durumuna göre çözümler belirlenir.

Son Pareto tekniğinde ise popülasyon sonunda elde edilen Pareto bastırılmayan (non-dominated) çözümler bulunmakta ve bu çözümler sıralanarak popülasyondan çıkarılmaktadır. Diğer pareto bastırılmayan çözümler kalan popülasyondan elde edilir ve yeni en yüksek sıralamadakiler yine ayrılır. Bu işlem bütün popülasyon Şekil 3.24 deki gibi sıralanana kadar devam eder. Daha sonra genetik operatörler bu sıralanmış popülasyona uygulanır (Güroğlu 2005).



Şekil 3.24. Pareto sıralama

3.3. Çalışmada Kullanılan Model ve Algoritmalar

3.3.1. Taguchi optimizasyonu

Genetik algoritma ve yapay bağışıklık sistemleri parametreleri bu algoritmaları diğer algoritmalarından ayıran önemli araçlardır. Bu parametreler algoritmada; 1) yakınsama hızını, 2) hesaplama zorluğunu, 3) ve çoklu arama yapabilme kabiliyetlerini etkilemektedir. Bu konuda yapılan çalışmaların birçoğunda bu parametrelerin çeşitli seviyeleri kullanılarak sonuçlar üzerindeki etkileri araştırılmıştır (Tumuluru and Sokhansanj, 2007; Castro and Zuben 2001; Liu et. Al. ; Garg and Shastri).

Bu çalışmada da GA için, nesil sayısı, mutasyon oranı ve çaprazlama oranları için 3'er seviye; YBS için, klonlama oranı, mutasyon oranı ve antikör öldürme oranı için 3'er seviye belirlenmiş ve Taguchi metoduna göre L_9 ortogonal dizisi yardımıyla her bir veri GİM elde edilmesinde "en küçük en iyi" ve B&O stratejileri oluşturulmasında "en büyük en iyi" performans istatistiği kullanılmış ve 9 deneme yapılarak optimum parametre değerleri belirlenmiştir. Taguchi optimizasyonunda kullanılan parametre ve seviyeleri ile L_9 ortogonal dizisi Çizelge 3.7.- 3.10.'da verilmiştir.

Çizelge 3.7. GA için kullanılan parametre ve seviye değerleri

Parametre	Seviye		
	1	2	3
Nesil sayısı	10	20	30
Mutasyon oranı	0.1	0.5	1
Çaprazlama oranı	0.2	0.7	1

Çizelge 3.8. YBS için kullanılan parametre ve seviye değerleri

Parametre	Seviye		
	1	2	3
Klonlama oranı	0.2	0.5	1
Mutasyon oranı	0.1	0.5	1
Antikor öldürme oranı	1	0.5	0

Çizelge 3.9. GA için L₉ Ortogonal dizisine göre yapılacak çalışma planı

No	Nesil sayısı	Mutasyon oranı	Çaprazlama oranı
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

Çizelge 3.10. YBS için L₉ Ortogonal dizisine göre yapılacak çalışma planı

No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1	1	1	1
2	1	2	2
3	1	3	3
4	2	1	2
5	2	2	3
6	2	3	1
7	3	1	3
8	3	2	1
9	3	3	2

3.3.2. Üstyapı performans tahmini

Üstyapı performansının hem ağ hem de proje seviyesi bakımından ölçülmesi ve tahmini (modellenmesi), ÜYS'nin temel taşlarından birisidir. Zira üstyapı performans tahmini hem finansal planlama-bütçelemeyi ve hem de üstyapı tasarımını ve aynı zamanda proje ömrü boyunca ekonomik değerlendirmeyi yönlendirir (Yüce ve Oğraş). Bu çalışmada performans modellemesi Markov geçiş ihtimal matrisleri ile yapılmıştır.

3.3.2.1. Üstyapı bozulma modellemesi için geçiş ihtimal matrislerinin (GİM) elde edilmesi

Ortiz-Garcia et al. (2006) yaptıkları çalışmalarında 3 farklı yöntem ile GİM elde etmişlerdir ve bunların içinden mühendislik uygulamaları için en uygun olan metodu önermişlerdir.

Bu çalışmada da; Ortiz- Garcia et al. (2006) tarafından önerilen bu yöntem; aynı çalışmadan alınan, farklı yol durumlarını temsil eden altı tip (DS1-DS6) yapay veri

kullanılarak GA ve YBS ile optimize edilmiş ve her bir yol tipi için GİM' ler elde edilmiştir.

3.3.2.2. Yapay veri setleri

Kullanılan veriler farklı doğaldaki yolları temsil etmektedir ama hepsinin bazı ortak özellikleri vardır. Bütün tipler için yol durumları 5 farklı durumda bulunmaktadır ve 100 değeri, mükemmel yolu temsil ederken 0 değeri en kötü durumu göstermektedir (Çizelge 3.11.). Bütün veriler, 30 kesimli bir yol ağındaki 20 yıllık verilerden oluşmaktadır.

Çizelge 3.11. Veri setleri için yol durum sınırları

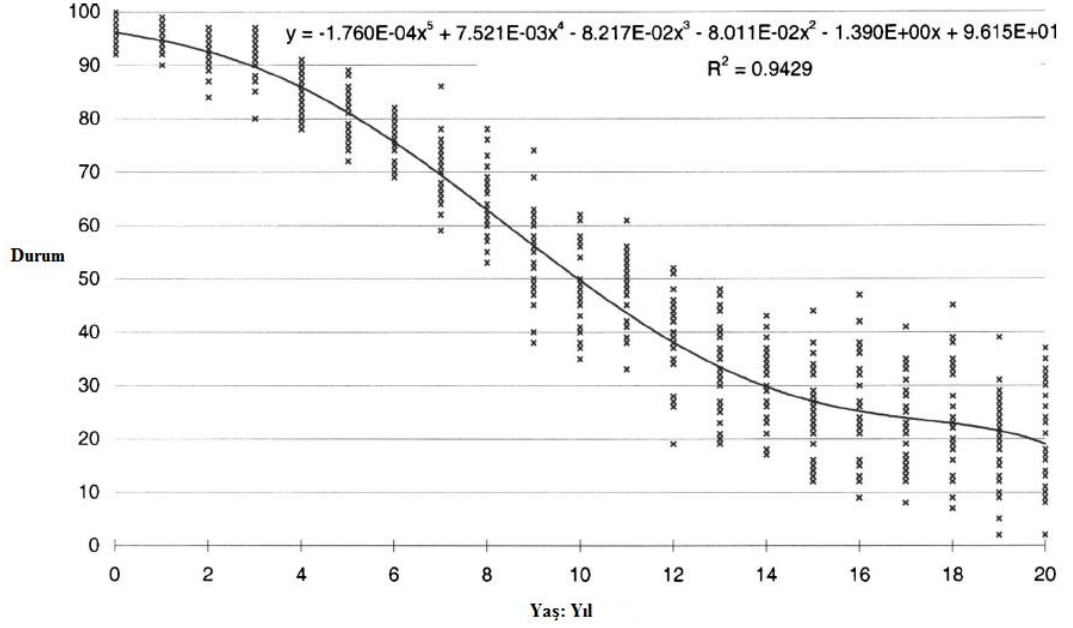
Yol durumları	Sınırlar	
	Alt Limit	Üst limit
5	80	100
4	60	80
3	40	60
2	20	40
1	0	20

1. Veri seti (DS1)

DS1 verileri, S-şekilli bozulma eğrileri şeklindedir ve yol ağı başlangıç yılında mükemmel (95) durumdadır. İlk yıllarda yavaş bir hızla bozulma gösteren yol ağında 5-15 yılları arasında bu hız artış göstermektedir ve son yıllarda yaklaşık 20 değerinde sabit kalmaktadır (Şekil 3.25.). Ortiz- Garcia et. al (2006) çalışmalarında her bir yıl için normal dağılıma uygun 30 veri üretmişlerdir ve bu verilerin standart sapmasını şu şekilde göstermişlerdir.

$$\sigma_t = 2.5 + \frac{1.5}{40}t \quad (3.21)$$

Denklemden görüldüğü gibi zaman arttıkça standart sapmada doğrusal olarak artış göstermektedir. Bu, yoldaki durum değişiminin çeşitliliğinin yolun yaşıyla birlikte artış gösterdiğini temsil etmektedir. σ 'nın sınır değerleri, üretilen verilerin durum sınırları arasında olmalarını garanti etmektedir.



Şekil 3.25. 1. Veri Seti (Ortiz *et al.* 2006)

2. Veri seti (DS2)

2. veri seti, önceden tanımlanan bir geçiş ihtimal matrisi ile elde edilir. Geçiş ihtimal matrisinden veri elde edilmesinin sebebi, metodun orijinal geçiş ihtimal matrisini elde edip etmeyeceğini kontrol etmektir.

Veriler şu şekilde elde edilmiştir. a_i vektörleri; başlangıç vektörü ($a_0 = (1, 0, \dots, 0)$), ile geçiş ihtimal matrisinin çarpılması ile elde edilmektedir. Matrisin elemanları; $i=10$ hariç, $p_{ii} = -10i+95$, $p_{ij} = 1-p_{ii}$ eşitlikleri kullanılarak elde edilmiştir. Burada $j = i+1$ dir ve diğer p_{ij} 'ler sıfıra eşittir. $i=10$ olduğunda ise $p_{ii} = 1$ 'dir. Örneğin, $p_{11} = 0.85$, $p_{12} = 0.15$ olduğunda, 1 durumunda olan yolların %85'i tekrar 1 durumunda kalma ihtimalindeyken, %15'i 2 durumuna geçme ihtimalindedir. a_i 'ler elde edildikten sonra 2. veri seti elde edilir (Şekil 3.26.)

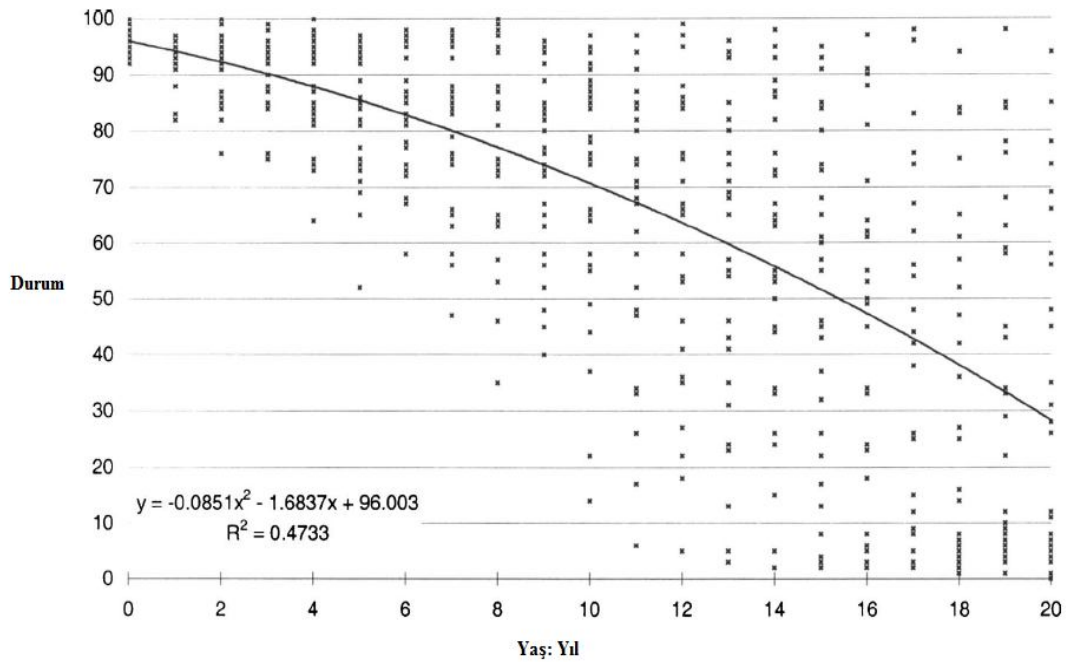
3., 4. ve 5. Veri setleri (DS3, DS4, DS5)

3, 4 ve 5. veri setleri sırasıyla farklı bozulma oranlarına sahip 3 farklı yol ağını temsil etmektedirler. Her 3 yol ağı için de başlangıç yılındaki durumlar 80-100 arasında değişmektedir.

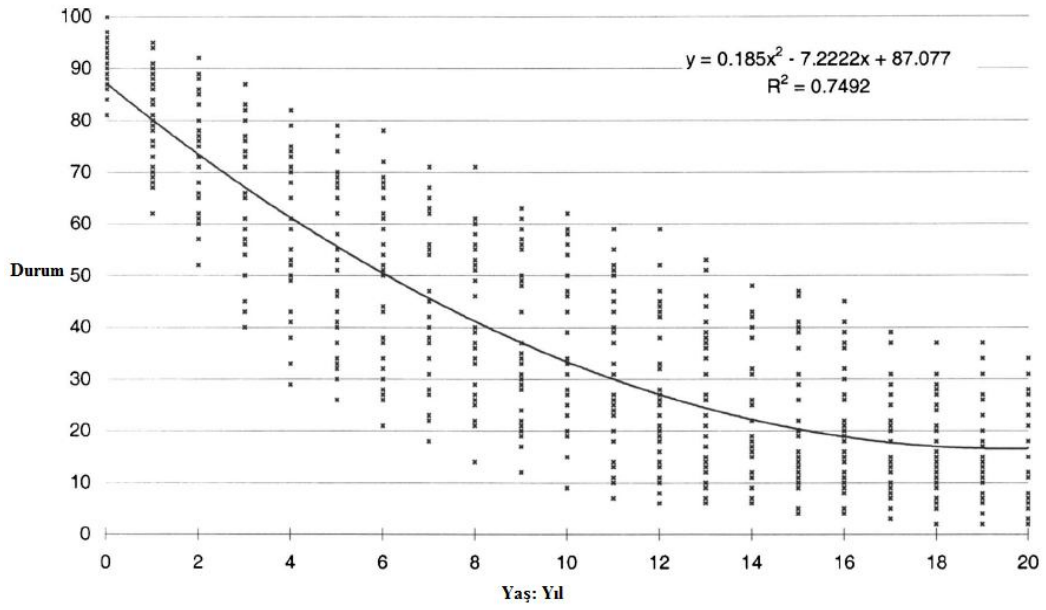
3. veri setinde hızlı bir bozulma oranı vardır. 4. veri seti 3. veri seti ile karşılaştırıldığında daha az bir bozulma oranına sahiptir. 5. veri seti ise en az bozulma oranına sahip yol ağını temsil etmektedir. (Şekil 3.27., Şekil 3.28., Şekil 3.29.)

6. Veri seti (DS6)

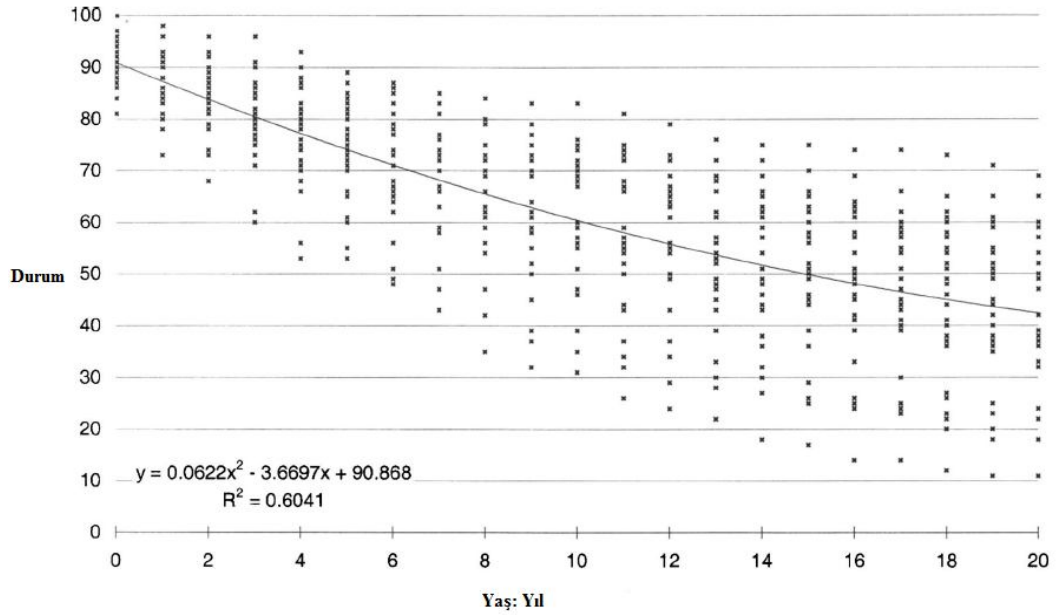
6. veri setinde de başlangıç yılındaki durumlar 80-100 arasındadır. Bu veri setindeki bozulma tamamen rastgeledir. Yol kesimlerinin hepsi farklı bir bozulma eğilimi göstermektedir ve gerçekte olma ihtimali olmayan bir yol ağını temsil etmektedir (Şekil 3.30.).



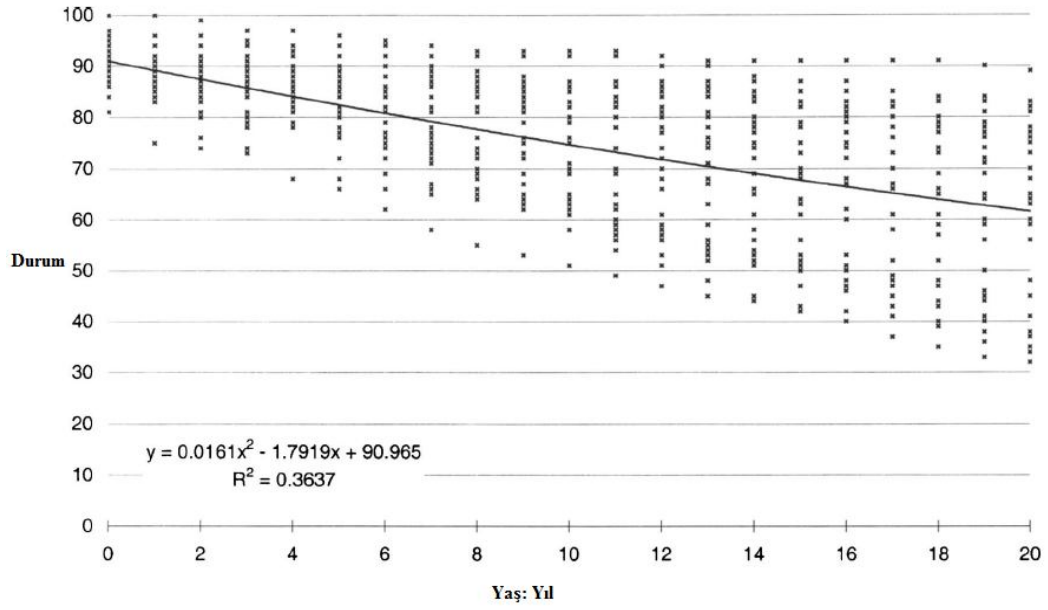
Şekil 3.26. 2. Veri Seti (Ortiz *et al.* 2006)



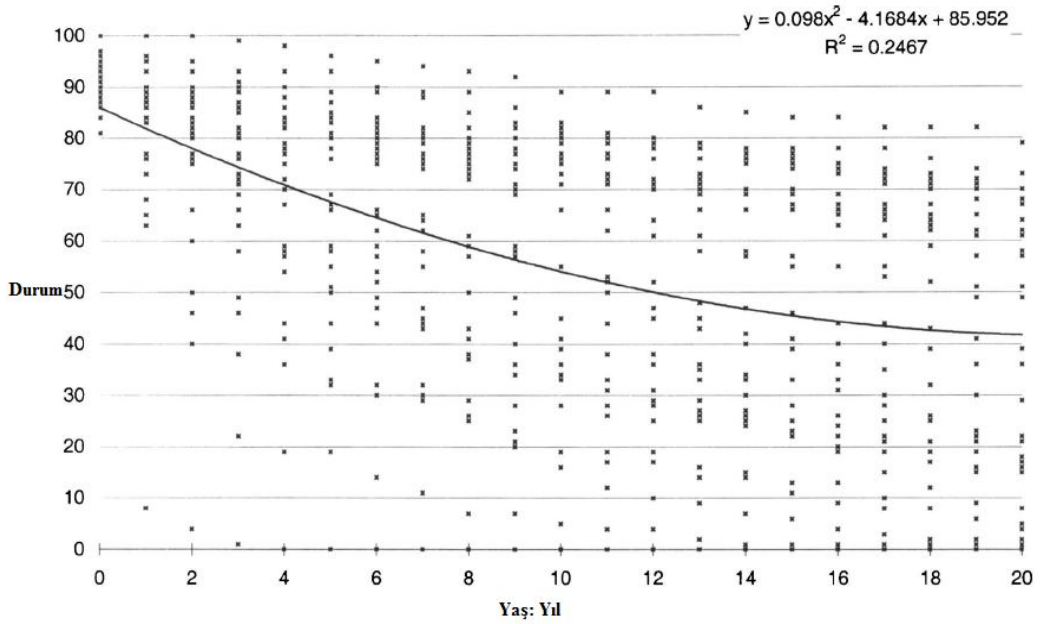
Şekil 3.27. 3. Veri seti (Ortiz *et al.* 2006)



Şekil 3.28. 4. Veri Seti (Ortiz *et al.* 2006)



Şekil 3.29. 5. Veri Seti (Ortiz *et al.* 2006)



Şekil 3.30. 6. Veri Seti (Ortiz *et al.* 2006)

3.3.2.3. Çalışmada geçiş ihtimal matrislerinin elde edilmesi

$a_t(i)$; $a_t = a_0 * P^t$ eşitliğinden elde edilen t zamanındaki i. elemanı, $a_t^l(i)$ ise orijinal verilerin t zamanındaki i. verisini göstermek üzere;

$$Z = \min \sum_t \sum_i [(a_t(i) - a_t^l(i))]^2 \quad (3.22)$$

modelinin genetik algoritma (GA) ve yapay bağışıklık sistemleri (YBS) ile optimizasyonu sonucunda geçiş ihtimal matrisleri elde edilmiştir. Amaç fonksiyonunun amacı; orijinal veriler ile elde edilen verilerin farklarının karelerini minimum yapacak geçiş ihtimal matrisini elde etmektir.

3.3.2.4. Gelecek yıllardaki yol durum tahminleri

Her bir veri seti için, GA ve YBS ile elde edilen geçiş ihtimal matrisleri kullanılarak gelecek 5 yıl için performans durumları tahmin edilmiş elde edilen bu veriler daha sonra optimizasyon programında kullanılarak bakım onarım öncelik belirlemesi yapılmıştır.

3.3.3. Optimizasyon çalışması ile önceliklerin belirlenmesi

Optimizasyon çalışmasında, yapay bağışıklık sistemi (YBS) ve genetik algoritma (GA) yöntemi kullanılarak yıllık bakım ve onarım programlaması yapmak için çok amaçlı optimizasyon programları oluşturulmuştur ve problemler verilen sınır şartları sağlanarak çözülmüştür. Problem, eşdeğer yıllık maliyet ile eşdeğer yıllık fayda dikkate alınarak çözülmüştür. Bu çalışmanın başlıca amacı, proje bakım ve onarım çalışmalarında, minimum maliyetle maksimum yol performansını elde etmektir.

3.3.3.1. Fayda ve maliyetlerin belirlenmesi

Optimizasyon araştırmasında, 4 tip farklı bakım ve onarım yöntemi dikkate alınmıştır. Çizelge 3.12., çalışmada dikkate alınan B ve R yöntemlerinin maliyetlerini ve bu yöntemlerin uygulanmasıyla oluşacak PSI artışlarını göstermektedir.

Çizelge 3.12. Bakım Uygulama Tipleri ve Maliyetleri (Yoo, 2004)

B&O Stratejisi	Bakım Tipleri	Uygulama Etkisi- Maliyeti (1000 Dolar/ Km)
1.Önleyici (minor) bakım	<ul style="list-style-type: none"> • Çatlak doldurma • Derz doldurma • Yüzey doldurma 	<ul style="list-style-type: none"> • Yol durumunda 0.5 birimlik artış • Birim maliyet: 6 \$
2.Ana (major) bakım	<ul style="list-style-type: none"> • Asfalt beton onarımı • İnce asfalt uygulaması 	<ul style="list-style-type: none"> • Yol durumunda 1.0 birimlik artış • Birim maliyet: 60\$
3.Onarım	<ul style="list-style-type: none"> • Yama • Orta ve kalın asfalt uygulaması 	<ul style="list-style-type: none"> • Yol durumunda 1.5 birimlik artış • Birim maliyet: 125\$
4.Yeniden inşaat	<ul style="list-style-type: none"> • Beton uygulaması • Asfalt betonu kaldırılması • Yeniden uygulama 	<ul style="list-style-type: none"> • Yol durumunda 2.0 birimlik artış • Birim maliyet: 400\$

3.3.3.2. Amaç fonksiyonları

Modelin amaç fonksiyonları, tüm yol ağındaki, uygulanabilecek maksimum performans veren en düşük maliyetli bakım ve onarım tipini belirlemeyi sağlar. Amaç fonksiyonu, toplam maliyetleri minimize edebileceği gibi, faydaları maksimize etmeyi de amaçlayabilir. Çalışmamızda ise, maliyetlerin minimizasyonu ve faydaların maksimizasyonu aynı anda hedeflenerek çok amaçlı optimizasyon yapılmıştır. Optimizasyon çalışmasında kullanılan amaç fonksiyonları aşağıdaki gibidir:

Maliyet minimizasyonu;

$$\min \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+d)^t} M_i \quad (3.23)$$

Performans maksimizasyonu;

$$\max \sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T K_{ts} \quad (3.24)$$

t = Yıl

s = Segment

d= iskonto oranı

M_i = i bakımının maliyeti

K_{ts} = s yolunun t yılındaki yol durumu (PSI olarak)

3.3.3.3. Kısıtlar

Optimizasyon planlamasında, ihtiyaç duyulan bakım ve onarım uygulamalarının tümünün aynı yıl veya planlama periyodunda uygulanması mümkün değildir. Bunun en önemli nedeni, bakım ve onarım işlerine ayrılan bütçe miktarıdır. Ayrıca yol performansının belli bir standardın üzerinde tutulması gerekmektedir. Planlamada dikkate alınan kısıtlara ait fonksiyonlar aşağıda görülmektedir.

$$K_{ts} \geq 2 \quad (3.25)$$

$$\sum_{s=1}^S \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1+d)^t} M_i \leq \text{Bütçe} \quad (3.26)$$

Burada bütçe, t yılında bakım ve onarım işlerine ayrılan yıllık toplam bütçeyi, M_i ise t yılındaki s kesiminin r yönteminin uygulanmasıyla oluşacak yapımcı kuruluş maliyetleridir. Diğer bir kısıtta, yol durumunun en az 2 değerinde olması zorunluluğudur.

3.3.4. GA ve YBS ile optimizasyon

Yukarıda bahsedilen değerler ve modellerin GA ve YBS ile çözümü, Matlab'da yazılan bilgisayar programları ile yapılmış ve bu programlar ÜYS-GA1, ÜYS-GA2, ÜYS-YBS1, ÜYS-YBS2 olarak adlandırılmışlardır. Bu hesaplamaların sonucunda optimum çözümler Pareto optimizasyonu yöntemiyle elde edilmiştir.

3.3.5. Algoritmaların test fonksiyonu ile doğrulanması

Önerilen yeni algoritmaların performansını test etmek için literatürde sıklıkla test fonksiyonu olarak kullanılan ZDT1 fonksiyonu iki algoritma ile çözülmüş ve elde edilen Pareto grafikleri yaklaşık aynı şekilde elde edilmiştir (Mehnen et al. ; Freschi and Repetto 2006; Oltean et al. 2005; Rotar et al. 2006; Zhang et al. 2007; Tan et al. 2008).

ZDT1 fonksiyonu;

$$f_1(x) = x_1 \quad (3.27)$$

$$g(x_2, \dots, x_m) = 1 + 9 \sum_{i=2}^m \frac{x_i}{m-1} \quad (3.28)$$

$$h(f_1, g) = 1 - \frac{\sqrt{f_1}}{g}$$

$$m=30 \quad x_i \in [0, 1], \quad x = (x_1, \dots, x_m)$$

3.3.6. Farklı planlama yıllarının B&O stratejileri üzerindeki etkilerinin incelenmesi

Yapılan çalışmada, farklı planlama yıllarının $\sum \text{Maliyet} / \sum \text{PSI}$ artışına etkisi incelenmiştir. 1-15 yıllık planlamalar için iskonto oranı gözönüne alınarak toplam bütçe miktarları hesaplanmıştır ve GA ve YBS ile her bir veri tipi için farklı yıllardaki $\sum \text{Maliyet} / \sum \text{PSI}$ etkileri incelenmiştir

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Seçilen Ortogonal Diziye Göre Elde Edilen Sonuçlar

Ele alınan parametre ve seviyelerine göre, GİM elde edilmesi ve optimizasyon çalışmaları GA ve YBS için yapılmış ve S/N değerleri elde edilmiştir. Elde edilen S/N değerleri kullanılarak ortalama S/N değerleri hesaplanmış ve Çizelge 4.1.-4.28.'de verilmiştir. GİM ve B&O planlaması için yapılan çalışmalarda ortalama S/N etkilerinde her parametrenin maksimum değeri o parametrenin optimum değerini vermektedir (Şekil 4.1.-4.24.).

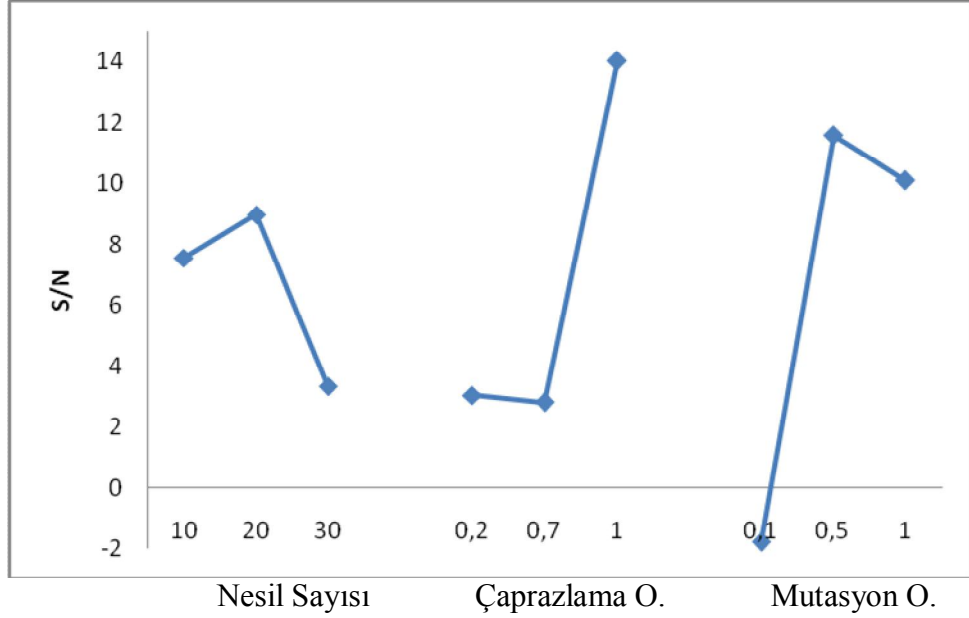
4.1.1. 1.-6. Veriler için GA kullanılarak GİM elde edilmesi için yapılan optimizasyon

Çizelge 4.1. S/N değerleri

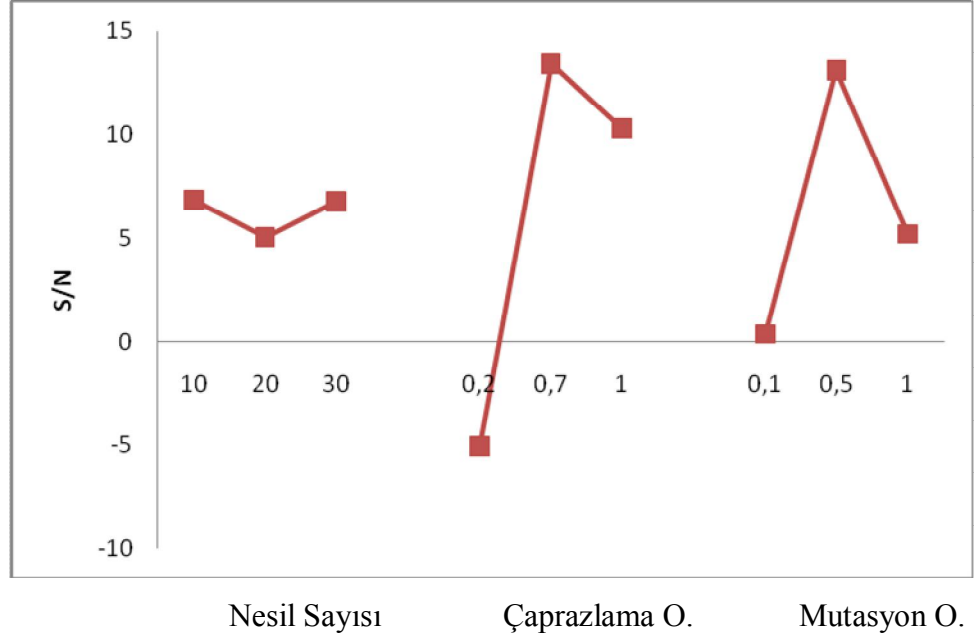
SEA No	Performans İstatistiği					
	GA ile GİM elde edilmesi					
	1. veri	2. veri	3.veri	4.veri	5.veri	6. veri
1	-4.19	-12.67	-7.24	7.535	53.98	-2.478
2	12.395	20	-0.67	7.958	38.42	7.96
3	14.424	13.151	-1.94	33.979	33.42	5.35
4	6.375	3.876	6.02	33.979	1.94	23.1
5	8.873	8.873	0.54	30.457	21.94	-8.63
6	11.7	2.383	9.63	33.979	26.02	10.45
7	6.935	-6.445	10.46	6.02	-8.47	-2.74
8	-12.87	11.372	-9.13	33.979	36.95	12.4
9	15.917	15.391	15.39	40	27.96	21.94
ort	6.618	6.215	2.56	25.321	25.8	7.45

Çizelge 4.2. 1. Veri için ortalama S/N etkileri

Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1.Seviye	7.543	3.04	-1.79
2.Seviye	8.983	2.8	11.56
3.Seviye	3.328	14.014	10.08
Optimum Seviye	2	3	2

**Şekil 4.1.** Parametrelerin sonuç üzerine etkisi (1. Veri-GA)**Çizelge 4.3.** 2. Veri için ortalama S/N etkileri

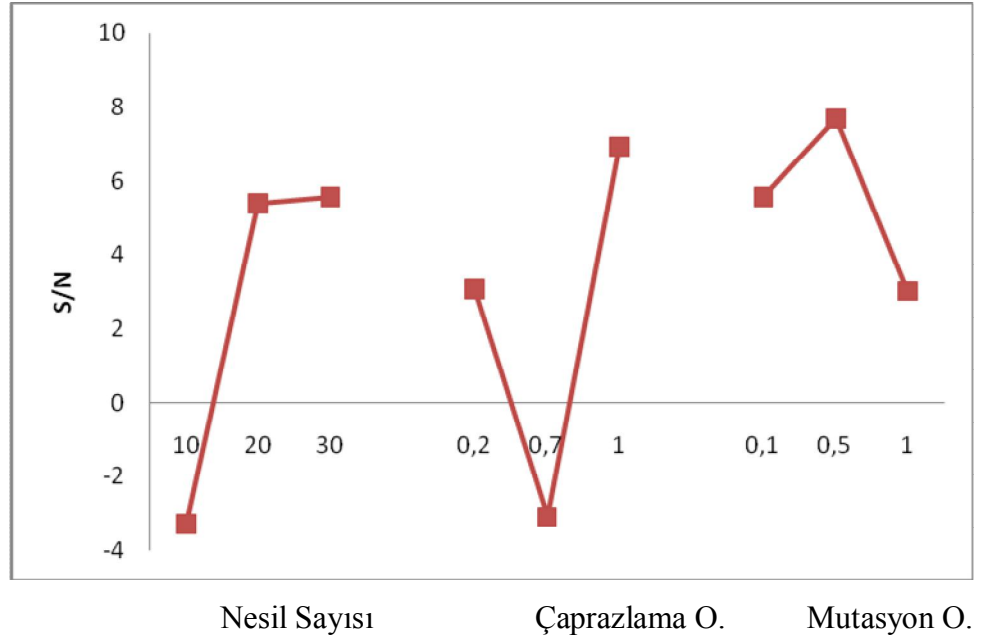
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1.Seviye	6.827	-5.08	0.362
2.Seviye	5.044	13.415	13.089
3.Seviye	6.773	10.308	5.193
Optimum Seviye	1	2	2



Şekil 4.2. Parametrelerin sonuç üzerine etkisi (2. Veri-GA)

Çizelge 4.4. 3. Veri için ortalama S/N etkileri

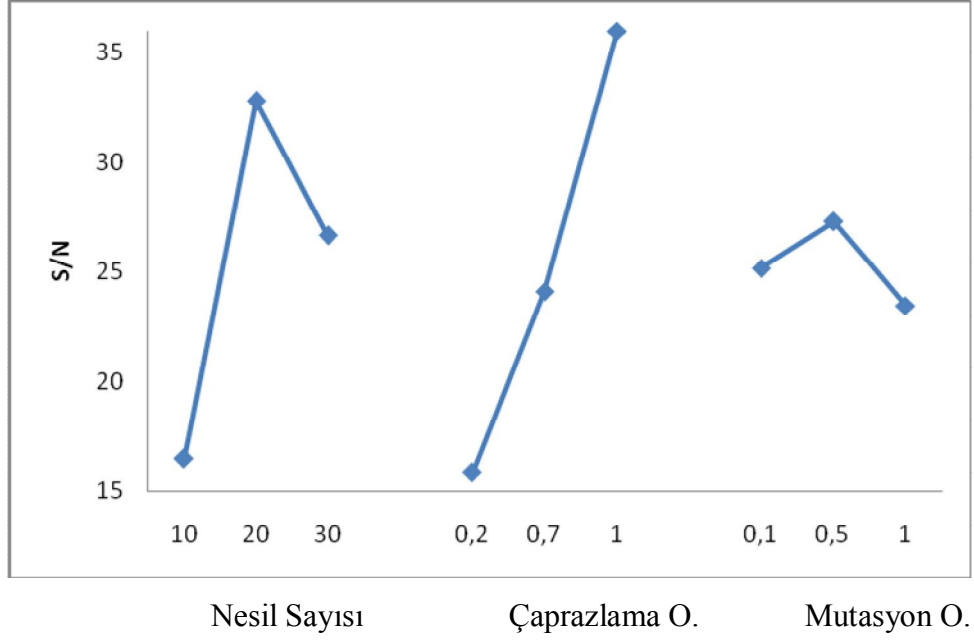
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1.Seviye	-3.281	3.081	5.573
2.Seviye	5.395	-3.087	7.694
3.Seviye	5.573	6.914	3.018
Optimum Seviye	3	3	2



Şekil 4.3. Parametrelerin sonuç üzerine etkisi (3. Veri-GA)

Çizelge 4.5. 4. Veri için ortalama S/N etkileri

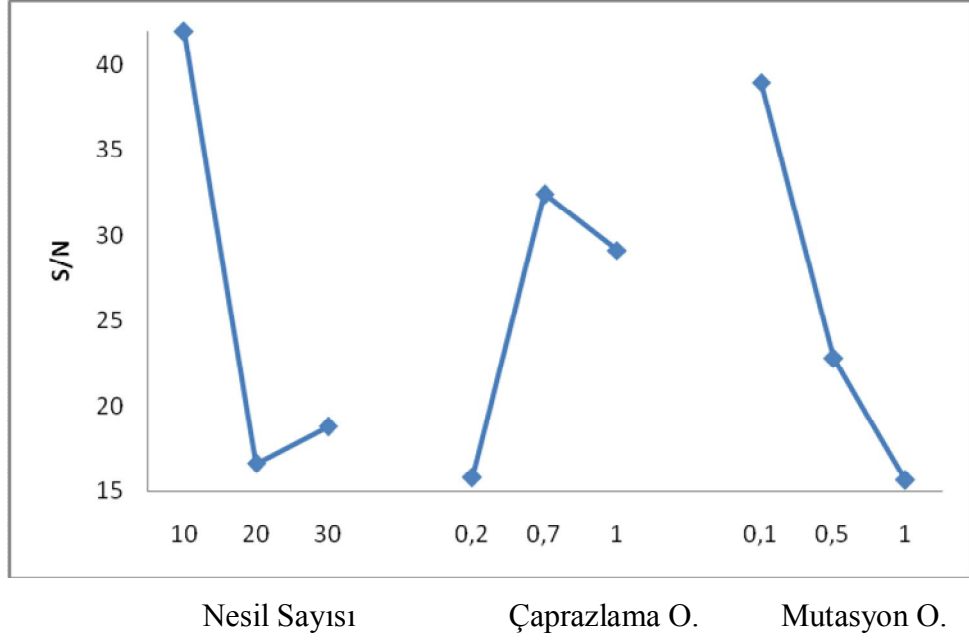
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1.Seviye	16.49	15.85	25.17
2.Seviye	32.81	24.13	27.31
3.Seviye	26.67	35.99	23.49
Optimum Seviye	2	3	2



Şekil 4.4. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (4. Veri-GA)

Çizelge 4.6. 5. Veri için ortalama S/N etkileri

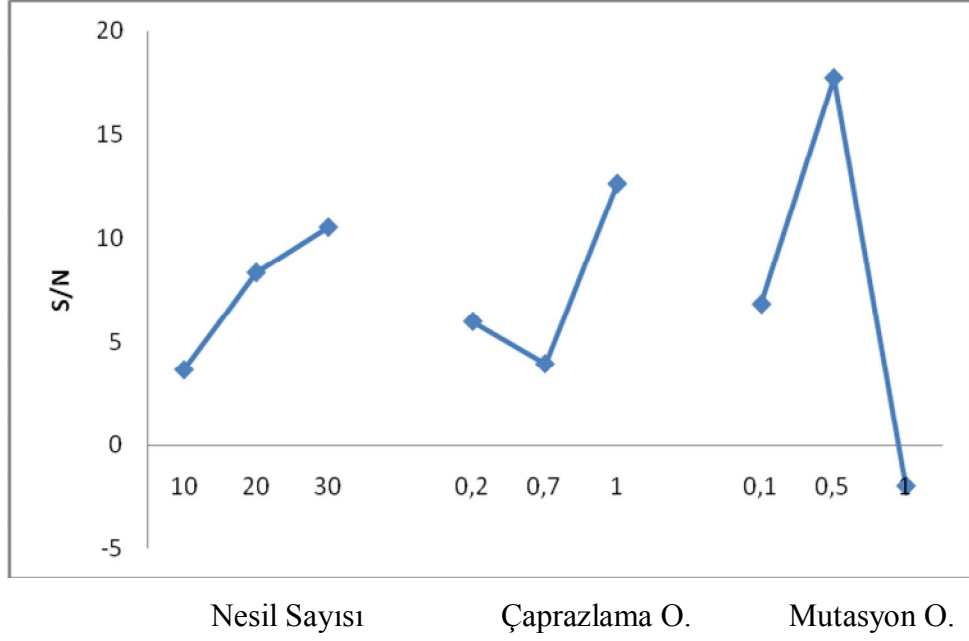
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1.Seviye	41.94	15.82	38.98
2.Seviye	16.63	32.43	22.77
3.Seviye	18.81	29.13	15.63
Optimum Seviye	1	2	1



Şekil 4.5. Parametrelerin sonuç üzerine etkisi (5. Veri-GA)

Çizelge 4.7. 6. Veri için ortalama S/N etkileri

Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1.Seviye	3.61	5.96	6.8
2.Seviye	8.3	3.9	17.7
3.Seviye	10.5	12.6	-2.0
Optimum Seviye	3	3	2



Şekil 4.6. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (6. Veri-GA)

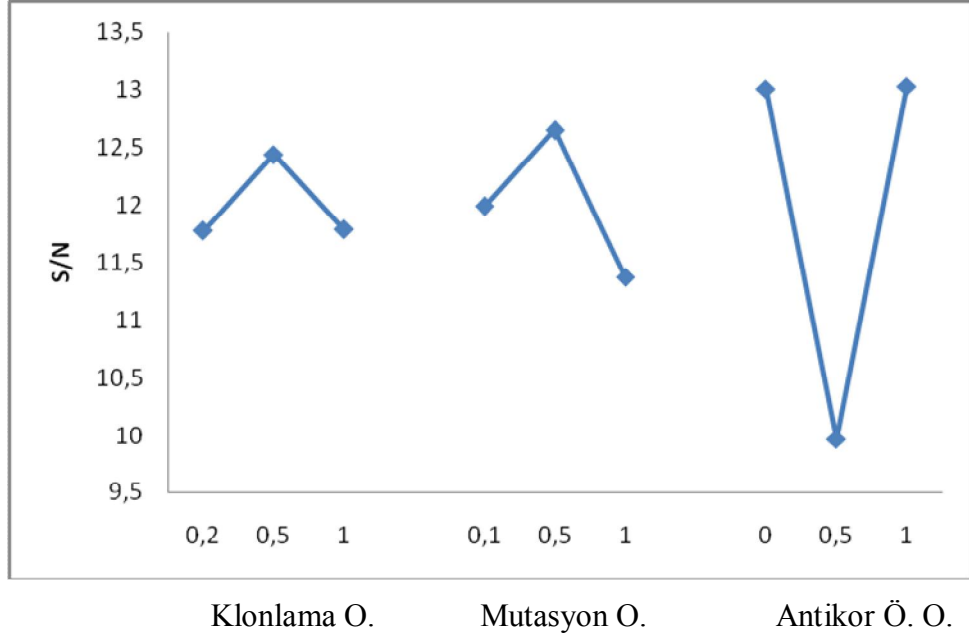
4.1.2. 1.-6. Veriler için YBS kullanılarak GİM elde edilmesi için yapılan Taguchi optimizasyonu

Çizelge 4.8. S/N değerleri

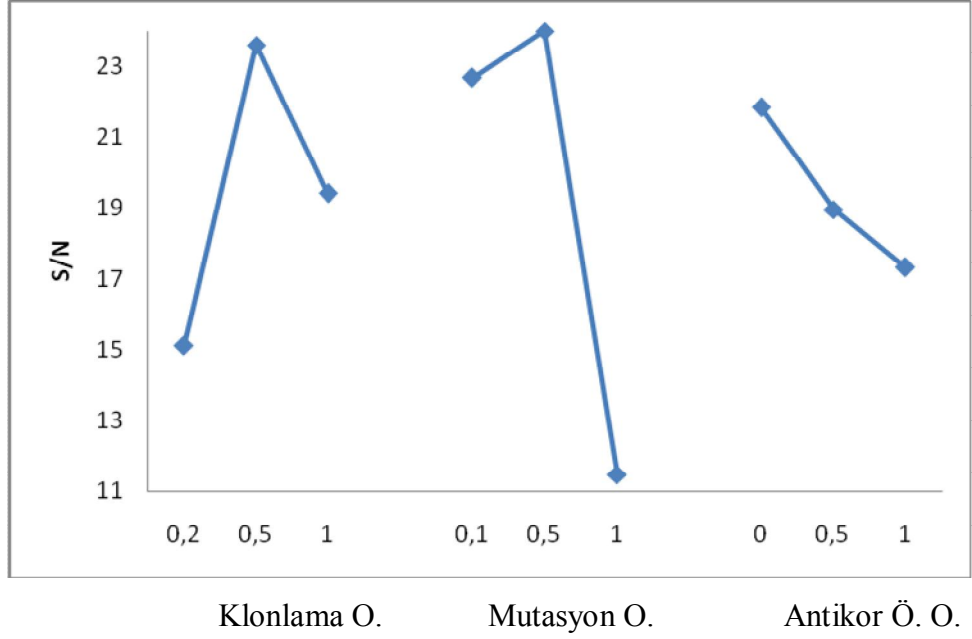
SEA No	Performans İstatistiği					
	YBS ile GİM elde edilmesi					
	1.veri	2.veri	3.veri	4.veri	5.veri	6.veri
1	13.55	19.17	21.94	20.915	40	24.15
2	8.64	23.1	21.94	20	53.9	24.15
3	13.15	3.1	17.08	7.33	50.46	13.27
4	11.37	24.44	23.1	20.92	47.96	21.11
5	14.9	24.44	20.92	20	53.98	24.88
6	11.06	21.94	4.58	15.92	-9.7	19.17
7	11.06	24.44	21.94	20	53.98	25.51
8	14.42	24.44	24.44	20.92	53.98	21.51
9	9.9	9.37	18.42	9.63	15.9	21.62
Ort	12	19.38	19.37	17.3	40.06	21.71

Çizelge 4.9. 1. Veri için ortalama S/N etkileri

Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	11.78	11.99	13.01
2.Seviye	12.44	12.65	9.97
3.Seviye	11.79	11.37	13.03
Optimum Seviye	2	2	3

**Şekil 4.7.** Parametrelerin ortalama S/N etkileri (1. Veri- YBS)**Çizelge 4.10.** 2. Veri için ortalama S/N etkileri

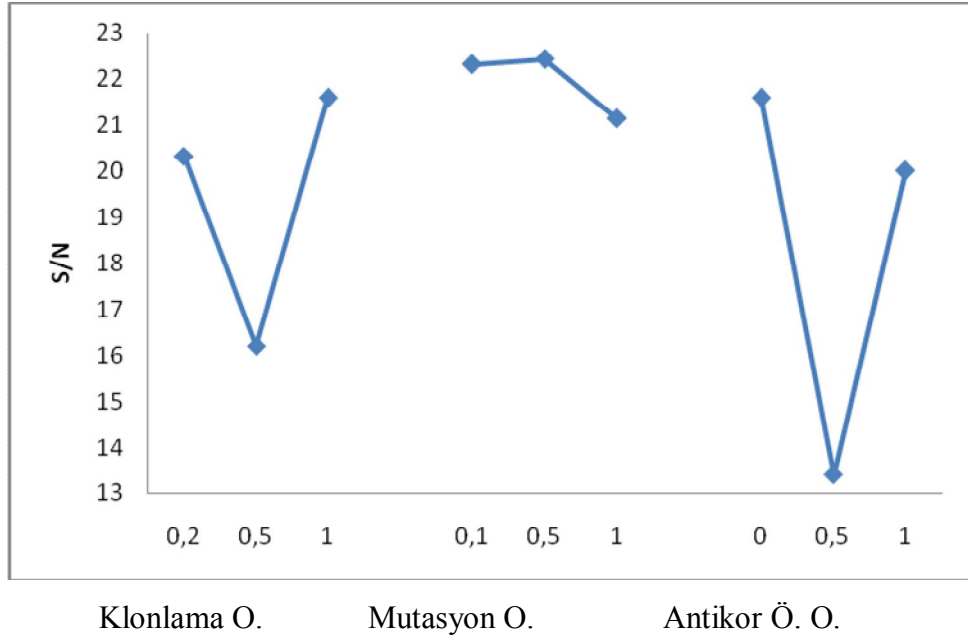
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	15.12	22.68	21.85
2.Seviye	23.6	23.99	18.97
3.Seviye	19.41	11.47	17.32
Optimum Seviye	2	2	1



Şekil 4.8. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (2. Veri- YBS)

Çizelge 4.11. 3. Veri için ortalama S/N etkileri

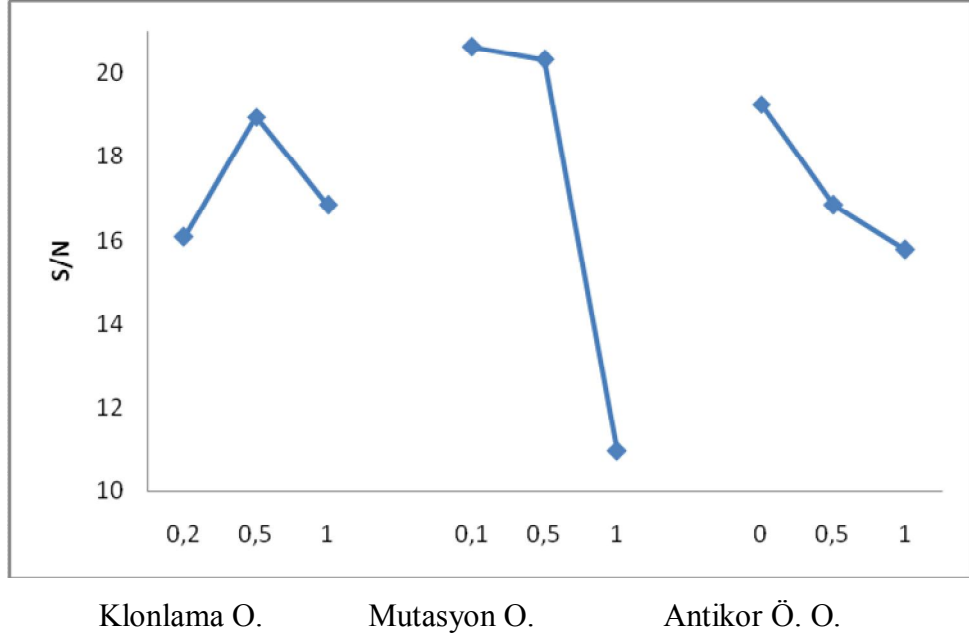
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	20.32	22.32	21.6
2.Seviye	16.2	22.43	13.4
3.Seviye	21.6	21.15	20
Optimum Seviye	3	2	1



Şekil 4.9. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (3. Veri- YBS)

Çizelge 4.12. 4. Veri için ortalama S/N etkileri

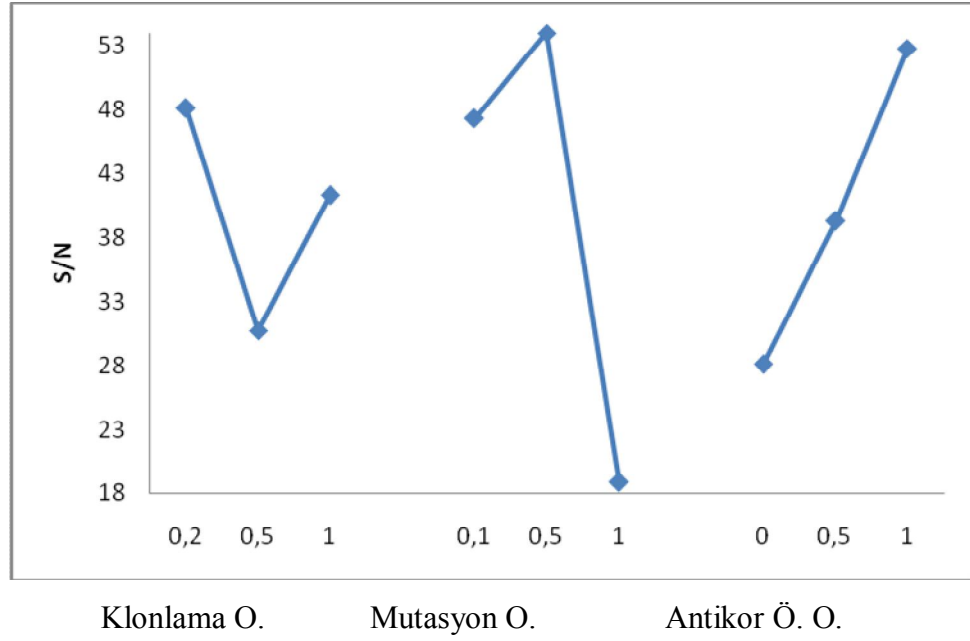
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	16.08	20.61	19.25
2.Seviye	18.95	20.31	16.85
3.Seviye	16.85	10.96	15.78
Optimum Seviye	2	1	1



Şekil 4.10. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (4. Veri- YBS)

Çizelge 4.13. 5. Veri için ortalama S/N etkileri

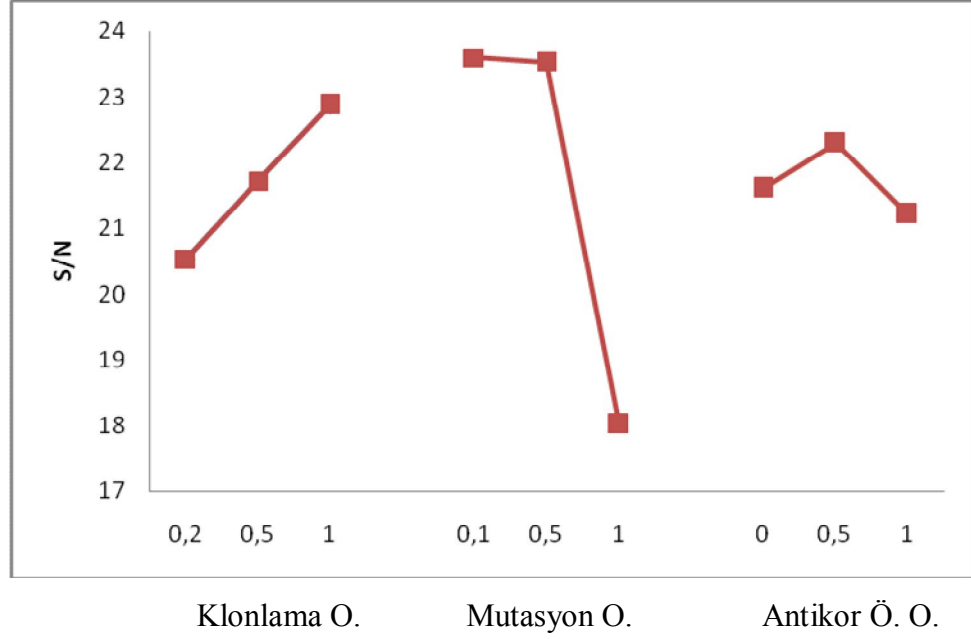
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	48.15	47.31	28.08
2.Seviye	30.73	53.98	39.29
3.Seviye	41.29	18.88	52.81
Optimum Seviye	1	2	3



Şekil 4.11. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (5. Veri- YBS)

Çizelge 4.14. 6. Veri için ortalama S/N etkileri

Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	20.53	23.59	21.61
2.Seviye	21.72	23.52	22.29
3.Seviye	22.88	18.02	21.22
Optimum Seviye	3	1	2



Şekil 4.12. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (6. Veri- YBS)

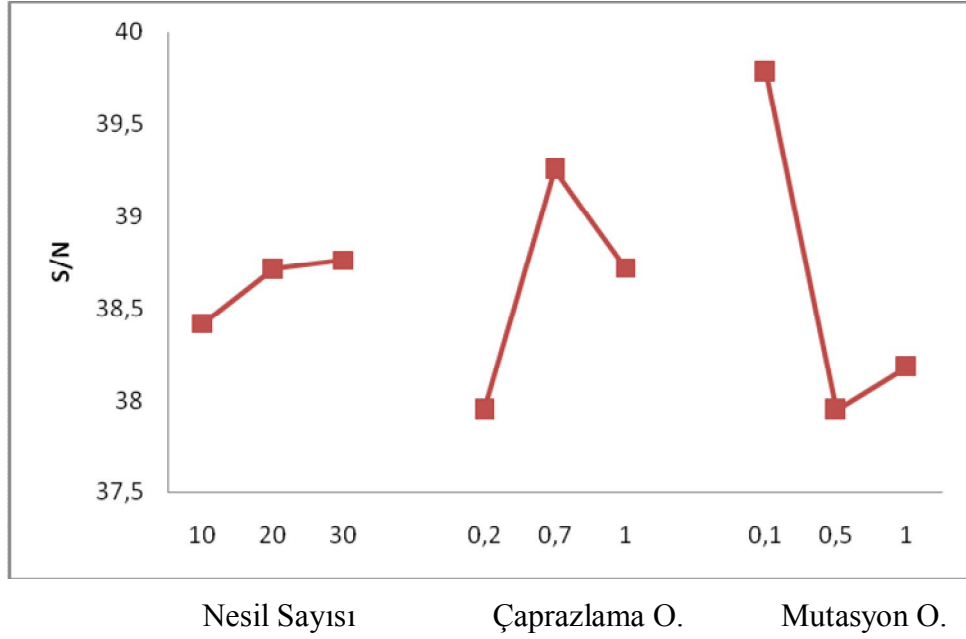
4.1.3. 1.-6. Veriler için GA kullanılarak B&O planının elde edilmesi için yapılan Taguchi optimizasyonu

Çizelge 4. 15. S/N değerleri

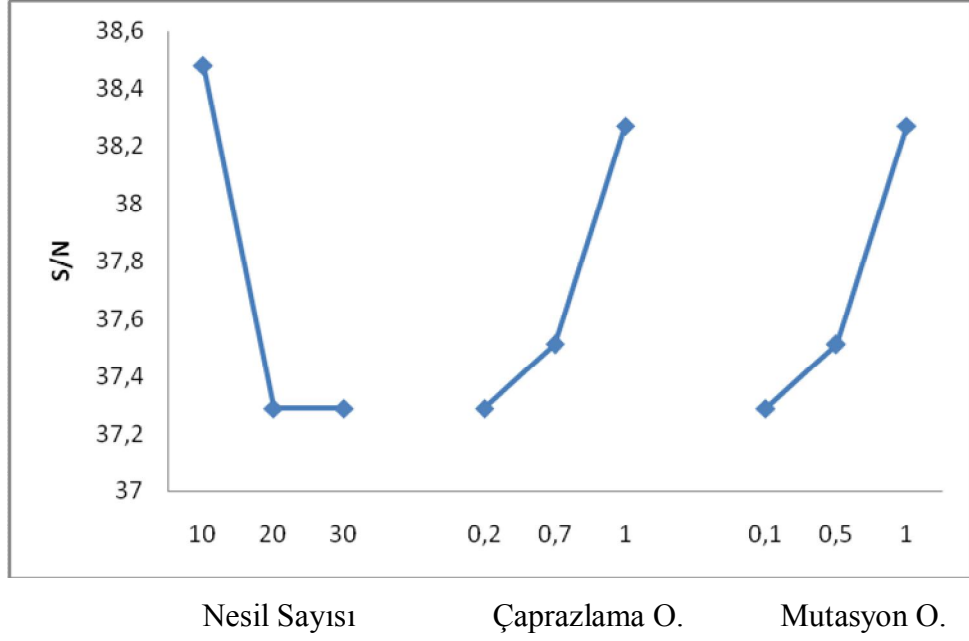
SEA No	Performans İstatistiği					
	GA ile B&O elde edilmesi					
	1.veri	2.veri	3.veri	4.veri	5.veri	6.veri
1	38.42	37.72	39.172	40	35.39	40
2	38.42	37.72	40	36.48	35.92	36.48
3	38.42	40	37.721	36.48	37.72	37.08
4	37.72	37.08	38.416	36.48	35.39	40
5	38.42	37.72	37.721	35.39	38.42	37.08
6	40	37.08	37.721	37.08	36.48	37.08
7	37.72	37.08	38.416	36.48	38.42	37.08
8	40.92	37.08	38.416	39.17	35.92	39.17
9	37.72	37.72	37.721	35.39	35.39	37.72
ort	38.64	37.69	38.367	36.99	36.56	37.96

Çizelge 4.16 1. Veri için ortalama S/N etkileri

Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1. Seviye	38.42	37.95	39.78
2. Seviye	38.71	39.25	37.95
3. Seviye	38.76	38.72	38.18
Optimum Seviye	3	2	1

**Şekil 4.13.** Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (1. Veri-GA)**Çizelge 4.17.** 2. Veri için ortalama S/N etkileri

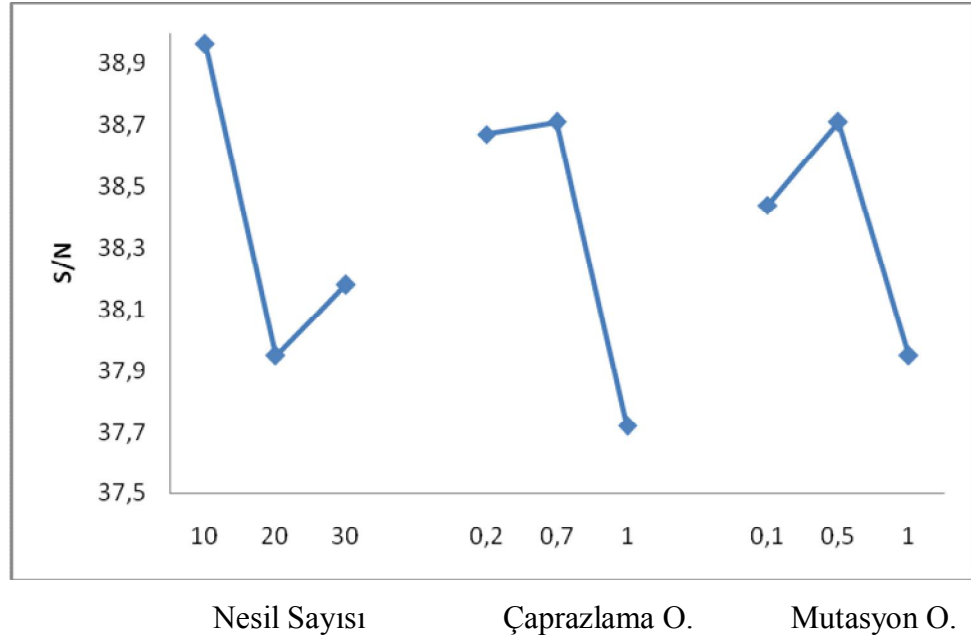
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1. Seviye	38.48	37.29	37.29
2. Seviye	37.29	37.51	37.51
3. Seviye	37.29	38.27	38.27
Optimum Seviye	1	3	3



Şekil 4.14. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (2. Veri-GA)

Çizelge 4.18. 3. Veri için ortalama S/N etkileri

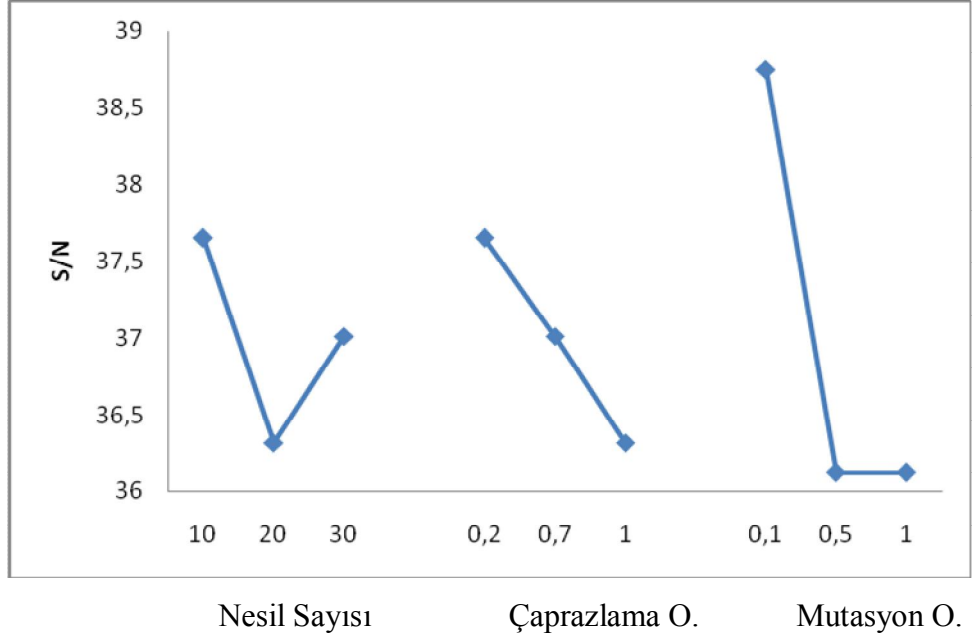
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1.Seviye	38.964	38.67	38.44
2.Seviye	37.95	38.71	38.71
3.Seviye	38.18	37.72	37.95
Optimum Seviye	1	2	2



Şekil 4.15. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (3. Veri-GA)

Çizelge 4.19. 4. Veri için ortalama S/N etkileri

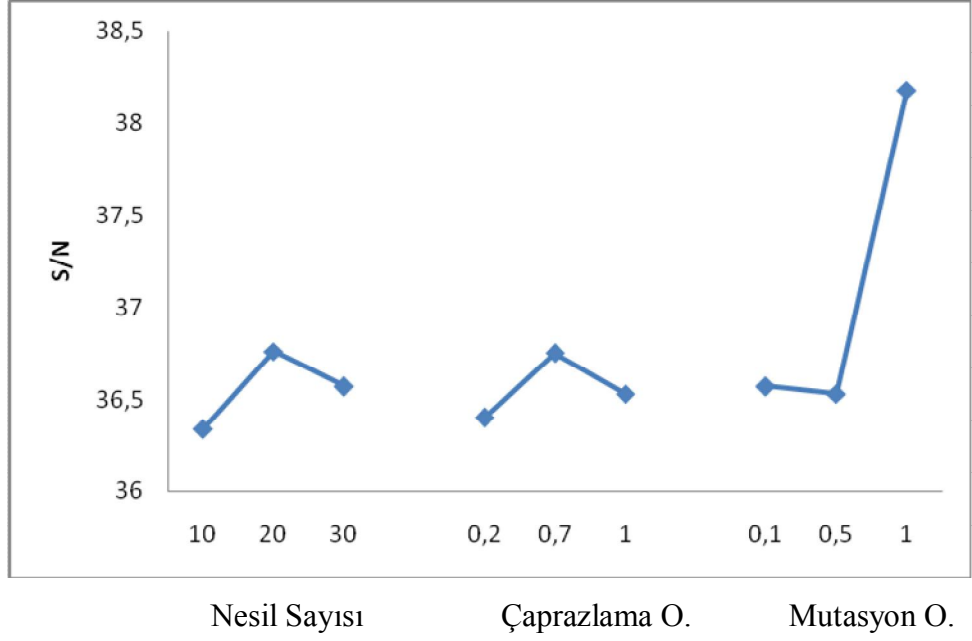
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1. Seviye	37.65	37.65	38.75
2. Seviye	36.32	37.01	36.12
3. Seviye	37.01	36.32	36.12
Optimum Seviye	1	1	1



Şekil 4.16. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (4. Veri-GA)

Çizelge 4.20. 5. Veri için ortalama S/N etkileri

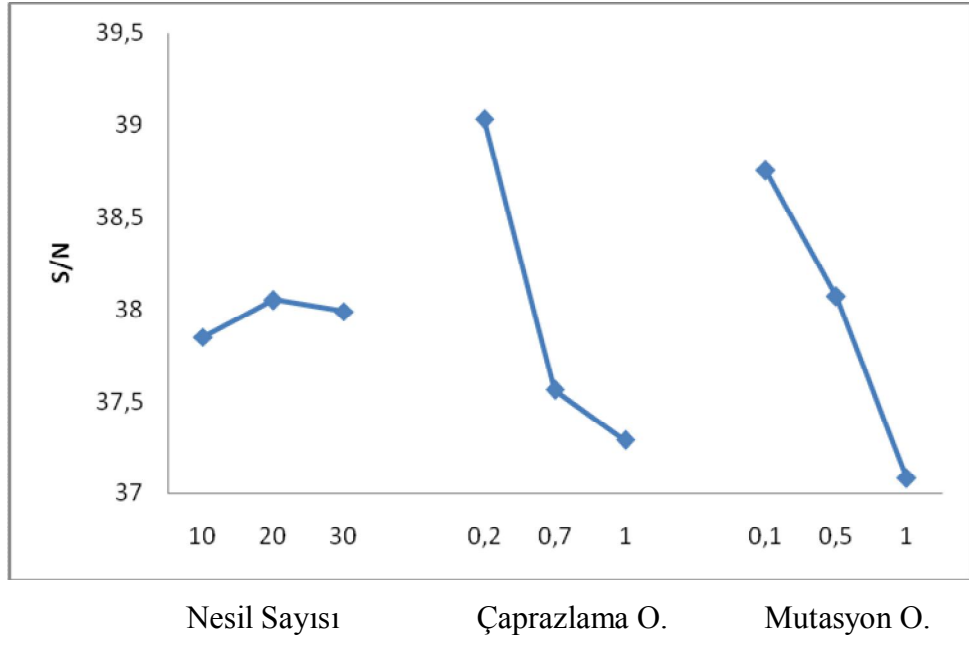
Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1. Seviye	36.34	36.4	36.57
2. Seviye	36.76	36.75	36.53
3. Seviye	36.57	36.53	38.18
Optimum Seviye	2	2	3



Şekil 4.17. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (5. Veri-GA)

Çizelge 4.21. 6. Veri için ortalama S/N etkileri

Seviye No	Nesil sayısı	Çaprazlama oranı	Mutasyon oranı
1. Seviye	37.85	39.03	38.75
2. Seviye	38.05	37.56	38.07
3. Seviye	37.99	37.29	37.08
Optimum Seviye	2	1	1



Şekil 4.18. Parametrelerin sonuç üzerinde etkisi (6. Veri-GA)

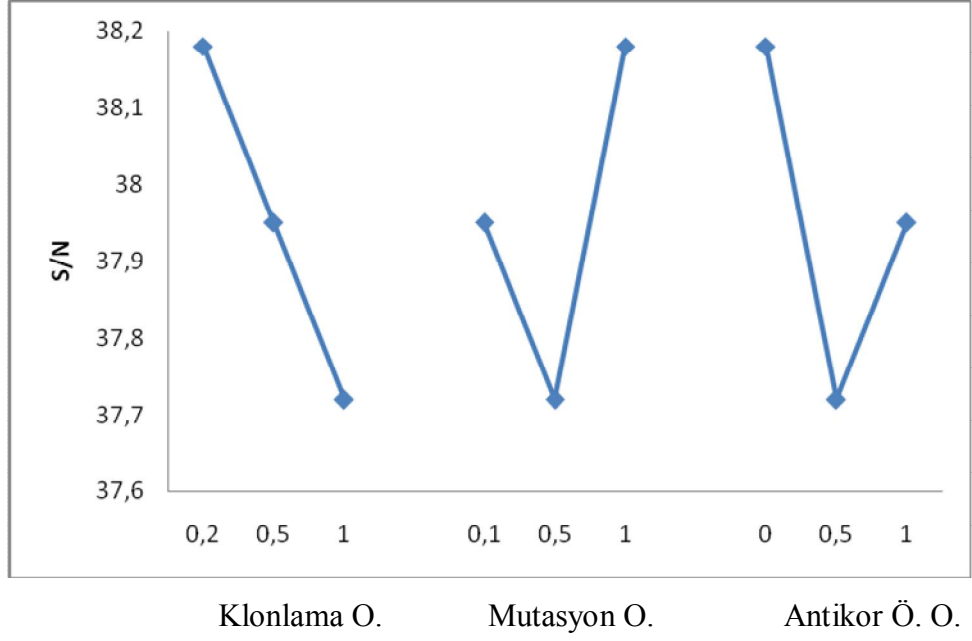
4.1.4. 1.-6. Veriler için YBS kullanılarak B&O planı elde edilmesi için yapılan Taguchi optimizasyonu

Çizelge 4. 22. S/N değerleri

SEA No	Performans İstatistiği					
	YBS ile GİM elde edilmesi					
	1. veri	2.veri	3.veri	4.veri	5.veri	6. veri
1	38.42	37.72	37.08	36.48	32.77	37.08
2	37.72	37.72	37.72	35.39	33.56	36.48
3	38.42	37.08	36.48	35.92	32.77	36.48
4	37.72	37.08	37.08	35.92	33.15	36.48
5	37.72	37.72	36.48	35.39	32.04	35.92
6	38.42	38.42	38.42	36.48	33.15	37.72
7	37.72	37.08	36.48	35.39	31.7	35.92
8	37.72	37.72	36.48	34.89	29.63	36.48
9	37.72	37.72	36.48	35.39	31.7	36.48
ort	37.95	37.58	36.96	35.69	32.27	36.56

Çizelge 4.23. 1. Veri için ortalama S/N etkileri

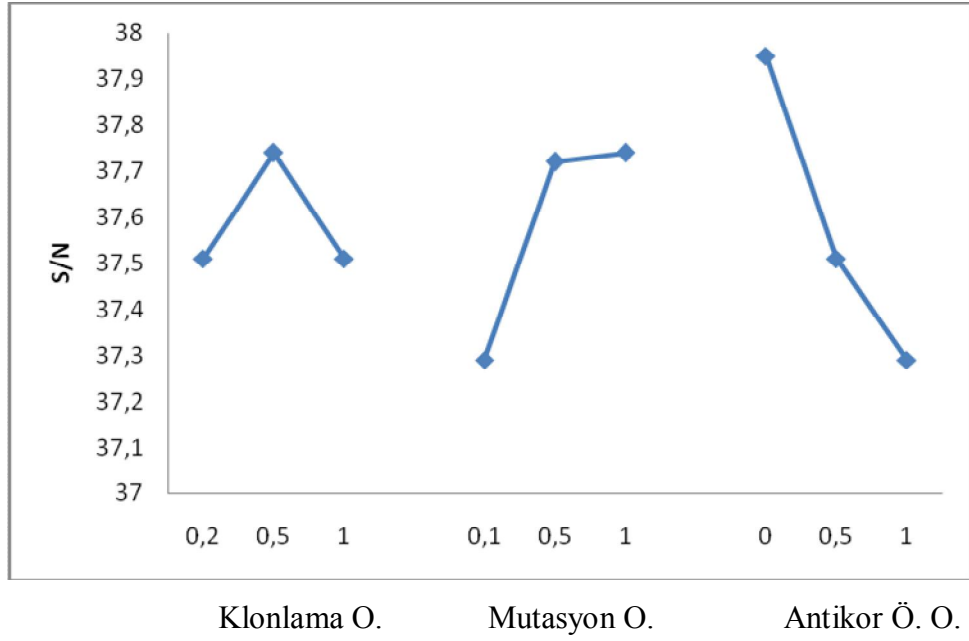
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	38.18	37.95	38.18
2.Seviye	37.95	37.72	37.72
3.Seviye	37.72	38.18	37.95
Optimum Seviye	1	3	1



Şekil 4.19. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (1. Veri- YBS)

Çizelge 4.24. 2. Veri için ortalama S/N etkileri

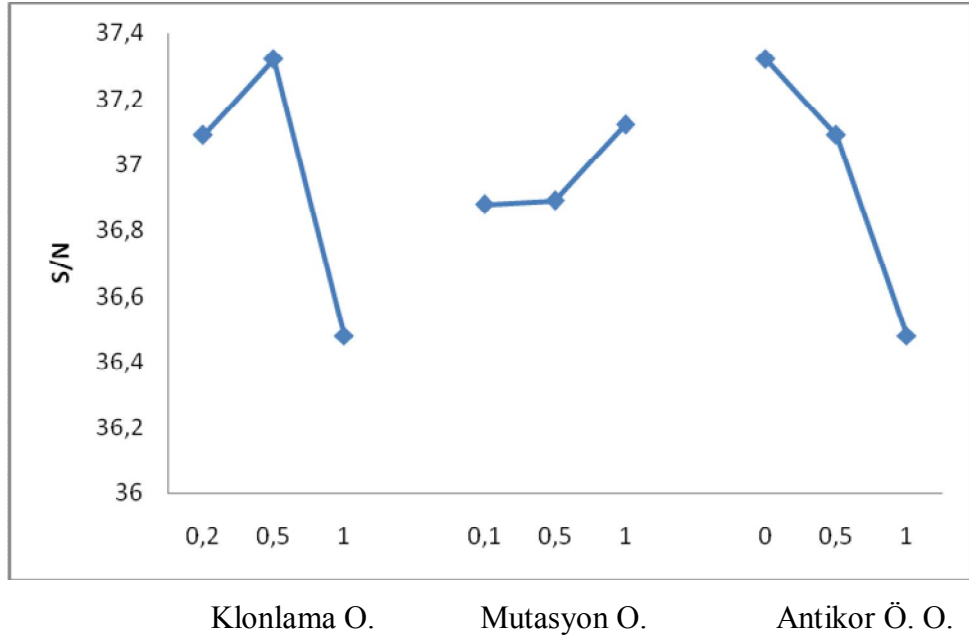
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	37.51	37.29	37.95
2.Seviye	37.74	37.72	37.51
3.Seviye	37.51	37.74	37.29
Optimum Seviye	2	3	1



Şekil 4.20. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (2. Veri- YBS)

Çizelge 4.25. 3. Veri için ortalama S/N etkileri

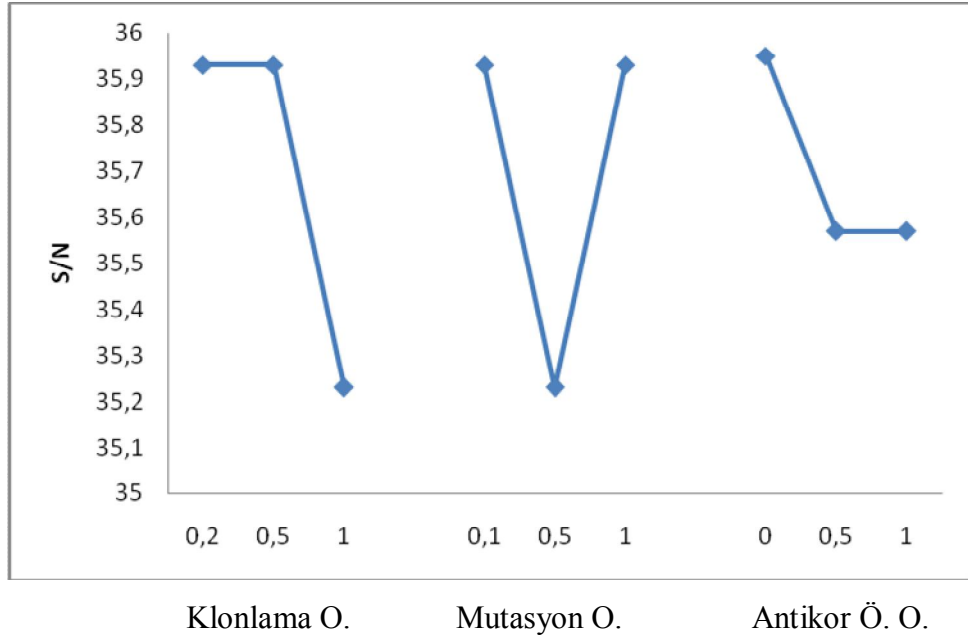
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	37.09	36.88	37.32
2.Seviye	37.32	36.89	37.09
3.Seviye	36.48	37.12	36.48
Optimum Seviye	2	3	1



Şekil 4.21. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (3. Veri- YBS)

Çizelge 4.26. 4. Veri için ortalama S/N etkileri

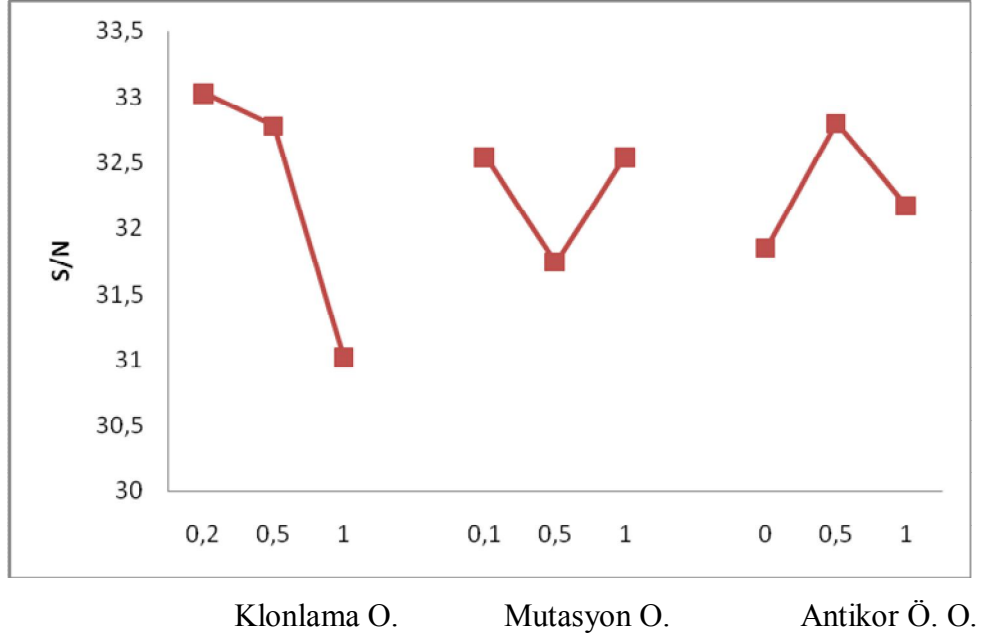
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	35.93	35.93	35.95
2.Seviye	35.93	35.23	35.57
3.Seviye	35.23	35.93	35.57
Optimum Seviye	1-2	1-3	1



Şekil 4.22. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (4. Veri- YBS)

Çizelge 4.27. 5. Veri için ortalama S/N etkileri

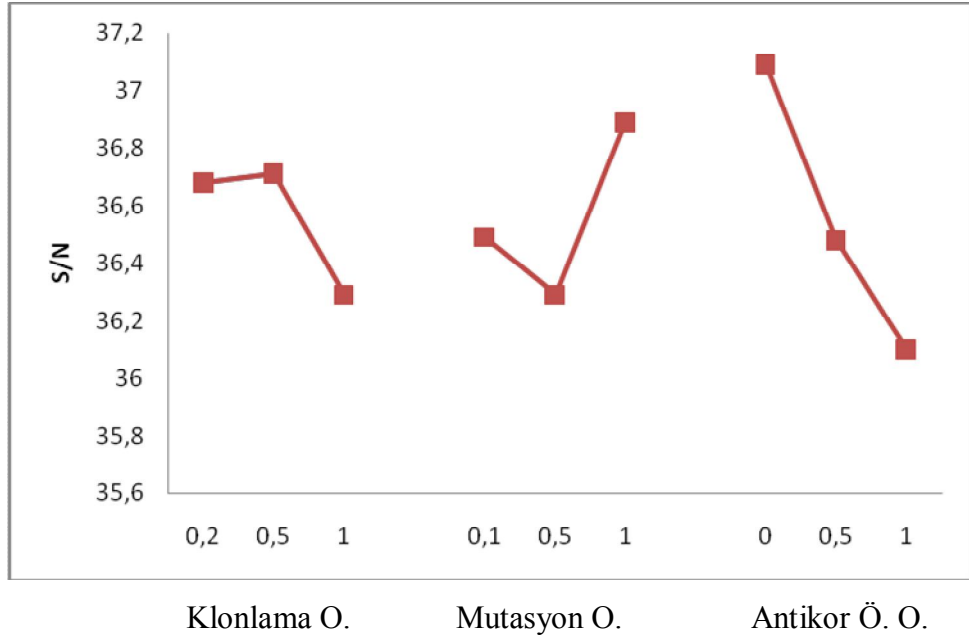
Seviye No	Klonlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	33.03	32.54	31.85
2.Seviye	32.78	31.74	32.80
3.Seviye	31.01	32.54	32.17
Optimum Seviye	1	1-3	2



Şekil 4.23. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (5. Veri- YBS)

Çizelge 4.28. 6. Veri için ortalama S/N etkileri

Seviye No	Klamlama oranı	Mutasyon oranı	Antikor öldürme oranı
1.Seviye	36.68	36.49	37.09
2.Seviye	36.71	36.29	36.48
3.Seviye	36.29	36.89	36.1
Optimum Seviye	2	3	1



Şekil 4.24. Parametrelerin ortalama S/N etkileri (6. Veri- YBS)

4.1.5. Taguchi ile yapılan optimizasyon değerlendirilmesi

Yapılan optimizasyonda genel olarak bütün parametrelerin sonuçlar üzerinde etkili olduğu gözlenmiştir. Bütün optimizasyonlar incelendiğinde GA ile GİM elde edilmesinde nesil sayısı, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı parametreleri için bütün verilerde minimum değeri veren seviyeler sırasıyla 2 3 2, 1 2 2, 3 3 2, 2 3 2, 1 2 1, 3 3 2 dir. Aynı şekilde YBS ile GİM elde edilmesinde nesil sayısı, çaprazlama oranı ve mutasyon oranı parametreleri için bütün verilerde minimum değeri veren seviyeler sırasıyla 2 2 3, 2 2 1, 3 2 1, 2 1 1, 1 2 3, 3 1 2 dir.

B&O stratejisini belirlemek için yapılan optimizasyon çalışmasında klonlama oranı, mutasyon oranı ve antikor öldürme oranlarının belirtilen parametre seviyelerinde yapılan Taguchi optimizasyonunda GA ve YBS için sırasıyla şu şekilde optimum seviyeler belirlenmiştir. GA için; 3 2 1, 1 3 3, 1 2 2, 1 1 1, 2 2 3, 2 1 1; YBS için 1 3 1, 2 3 1, 2 3 1, 1-2 1-3 1, 1 1-3 2, 2 3 1 dir. Görüldüğü gibi her bir veri için her bir parametre etkisi farklı olmaktadır. Çalışmanın bundan sonraki kısımlarında her bir

aşamada Taguchi optimizasyonundan elde edilen optimum parametre değerleri kullanılarak GİM ve B&O stratejileri elde edilmiştir.

Buraya kadar hem GİM hem de B&O stratejileri için optimum durumlar elde edilmiştir. Ancak, elde edilen optimum durumlar kullanılan L₉ ortogonal dizisinde olmayabilir. Dolayısıyla optimum şartlara karşılık gelen parametre seviyelerine göre doğrulama analizleri yapılmıştır. Optimum şartlarda elde edilen GİM ve B&O stratejileri bir nokta tahmin olduğundan belirli bir güven seviyesinde bu değer kontrol edilmelidir. Doğrulama analizlerinden elde edilen sonuçlar ve %95 önem seviyesinde hesaplanan güven aralıkları Çizelge 4.29-4.30'de verilmiştir.

Çizelge 4.29. GA için doğrulama analiz sonuçları ve güven aralıkları

GA						
Veri Tipleri	B&O			GİM		
	Doğrulama Sonucu	Güven Aralığı		Doğrulama Sonucu	Güven Aralığı	
1. Veri	0.009	0.008	0.011	0.26	0.024	0.305
2. Veri	0.01	0.009	0.012	0.1	0.035	0.235
3. Veri	0.01	0.009	0.011	0.17	0.046	0.678
4. Veri	0.01	0.009	0.011	0.02	0	0.104
5. Veri	0.012	0.011	0.013	0.007	0	0.012
6. Veri	0.01	0.007	0.014	0.08	0.3	0.009

Çizelge 4.30. YBS için doğrulama analiz sonuçları ve güven aralıkları

YBS						
Veri Tipleri	B&O			GİM		
	Doğrulama Sonucu	Güven Aralığı		Doğrulama Sonucu	Güven Aralığı	
1. Veri	0.012	0.012	0.012	0.119	0.18	0.325
2. Veri	0.012	0.011	0.013	0.07	0.01	0.086
3. Veri	0.012	0.011	0.015	0.12	0.019	0.121
4. Veri	0.015	0.015	0.016	0.09	0.042	0.091
5. Veri	0.021	0.017	0.024	0.025	0	0.003
6. Veri	0.013	0.013	0.014	0.065	0.021	0.126

4.2. Geçiş İhtimal Matrislerinin Elde Edilmesi

$a_t(i)$; $a_t = a_0 * P^t$ eşitliğinden elde edilen t zamanındaki i. elemanı, $a'_t(i)$ ise orijinal verilerin t zamanındaki i. verisini göstermek üzere;

$$Z = \min \sum_t \sum_i [(a_t(i) - a'_t(i))]^2$$

modelinin genetik algoritma (GA) ve yapay bağışıklık sistemleri (YBS) ile optimizasyonu sonucunda geçiş ihtimal matrisleri elde edilmiştir. Amaç fonksiyonunun amacı; orijinal veriler ile elde edilen verilerin farklarının karelerini minimum yapacak geçiş ihtimal matrisini elde etmektir.

GA ve YBS' nin doğasından kaynaklanan nedenlerle program her çalıştığında aynı sonuçları vermemektedir. Bu nedenle meydana gelen belirsizlikleri hesaba katmak için program 10'ar kez çalıştırılmış ve matrisin p_{ii} elemanları (i=5 hariç) %95 güven aralığında hesaplanmıştır. Matrisin $p_{i,i+1}$ elemanları da her bir satır toplamı 1'e eşit olacağından $(1-p_{ii})$ formülünden elde edilmiştir. Aşağıda YBS ve GA ile her bir veri seti için elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisleri gösterilmektedir.

1. Veri seti için GA ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.92 \pm 0.01 & 0.09, 0.08, 0.07 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.85 \pm 0.03 & 0.18, 0.15, 0.11 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.73 \pm 0.04 & 0.31, 0.27, 0.23 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.62 \pm 0.07 & 0.44, 0.38, 0.31 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

2. Veri seti için GA ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.94 \pm 0.02 & 0.08, 0.06, 0.05 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.81 \pm 0.06 & 0.25, 0.19, 0.13 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.68 \pm 0.06 & 0.38, 0.32, 0.26 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.56 \pm 0.11 & 0.55, 0.38, 0.34 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

3. Veri seti için GA ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.88 \pm 0.01 & 0.14, 0.12, 0.11 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.75 \pm 0.05 & 0.30, 0.25, 0.21 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.65 \pm 0.06 & 0.41, 0.35, 0.29 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.44 \pm 0.13 & 0.68, 0.56, 0.43 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

4. Veri seti için GA ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.99\pm 0.01 & 0.02,0.01,0 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.85\pm 0.08 & 0.23,0.15,0.07 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.71\pm 0.10 & 0.39,0.29,0.19 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.52\pm 0.11 & 0.59,0.48,0.37 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

5. Veri seti için GA ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.99\pm 0.01 & 0.02,0.01,0 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.94\pm 0.05 & 0.11,0.06,0.01 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.89\pm 0.07 & 0.18,0.11,0.04 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.72\pm 0.10 & 0.88,0.28,0.18 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

6. Veri seti için GA ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.94\pm 0.02 & 0.08,0.06,0.04 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.84\pm 0.04 & 0.20,0.16,0.12 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.61\pm 0.10 & 0.49,0.39,0.29 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.40\pm 0.13 & 0.73,0.60,0.47 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

1. Veri seti için YBS ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.93 \pm 0.02 & 0.09, 0.07, 0.05 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.80 \pm 0.11 & 0.31, 0.20, 0.09 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.66 \pm 0.12 & 0.46, 0.34, 0.22 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.47 \pm 0.14 & 0.67, 0.53, 0.39 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

2. Veri seti için YBS ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.92 \pm 0.03 & 0.11, 0.08, 0.05 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.80 \pm 0.08 & 0.28, 0.20, 0.12 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.69 \pm 0.10 & 0.41, 0.31, 0.21 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.47 \pm 0.23 & 0.76, 0.53, 0.30 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

3. Veri seti için YBS ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.89 \pm 0.03 & 0.14, 0.11, 0.09 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.78 \pm 0.05 & 0.27, 0.22, 0.17 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.59 \pm 0.09 & 0.50, 0.41, 0.32 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.43 \pm 0.10 & 0.67, 0.57, 0.47 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

4. Veri seti için YBS ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.99\pm 0.01 & 0.02, 0.01, 0 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.81\pm 0.16 & 0.35, 0.19, 0.03 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.64\pm 0.15 & 0.51, 0.36, 0.21 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.31\pm 0.13 & 0.82, 0.69, 0.56 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

5. Veri seti için YBS ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.99\pm 0.01 & 0.02, 0.01, 0 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.84\pm 0.14 & 0.30, 0.16, 0.02 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.68\pm 0.18 & 0.50, 0.32, 0.13 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.49\pm 0.22 & 0.73, 0.51, 0.29 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

6. Veri seti için YBS ile elde edilen örnek geçiş ihtimal matrisi

$$\begin{pmatrix} 0.94\pm 0.01 & 0.07, 0.06, 0.05 & 0.00 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.80\pm 0.09 & 0.29, 0.20, 0.11 & 0.00 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.57\pm 0.10 & 0.53, 0.43, 0.33 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.36\pm 0.14 & 0.78, 0.64, 0.50 \\ 0.00 & 0.00 & 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{pmatrix}$$

4.2.1. Gelecek yıllardaki yol durum tahminleri

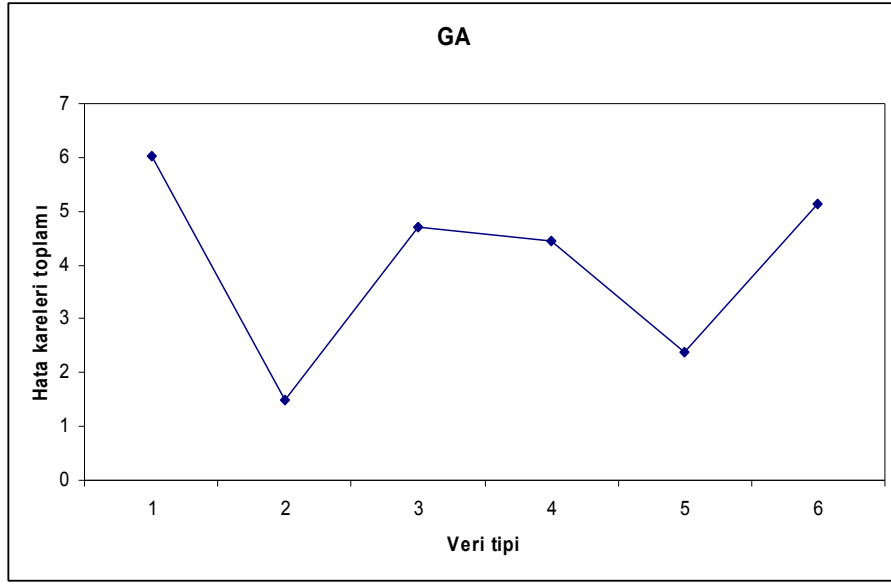
Her bir veri seti için, GA ve YBS ile elde edilen geçiş ihtimal matrisleri kullanılarak gelecek 5 yıl için performans durumları tahmin edildi. Elde edilen bu veriler daha sonra optimizasyon programında kullanılarak bakım onarım öncelik belirlemesi yapıldı.

Örnek bir yola ait 20 yıllık yol durumu aşağıdaki şekilde elde edilmiştir.

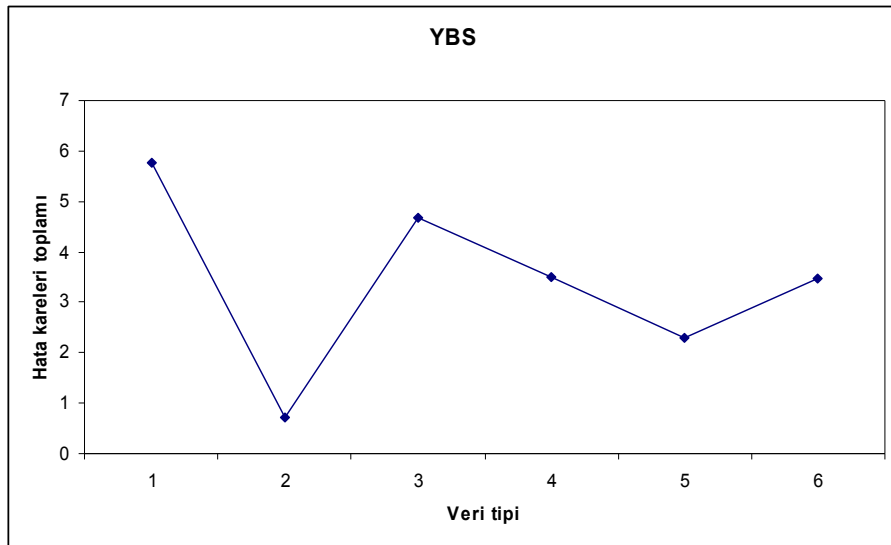
a(1) =	0.8788	0.1212	0	0	0
a(2) =	0.7723	0.1942	0.0335	0	0
a(3) =	0.6787	0.2341	0.0758	0.0114	0
a(4) =	0.5964	0.2516	0.1147	0.0333	0.0040
a(5) =	0.5241	0.2543	0.1452	0.0607	0.0158
a(6) =	0.4606	0.2475	0.1660	0.0888	0.0372
a(7) =	0.4048	0.2348	0.1778	0.1141	0.0685
a(8) =	0.3557	0.2189	0.1821	0.1345	0.1088
a(9) =	0.3126	0.2015	0.1806	0.1492	0.1562
a(10) =	0.2747	0.1836	0.1747	0.1581	0.2089
a(11) =	0.2414	0.1661	0.1659	0.1619	0.2647
a(12) =	0.2121	0.1494	0.1553	0.1614	0.3218
a(13) =	0.1864	0.1338	0.1436	0.1574	0.3787
a(14) =	0.1638	0.1194	0.1316	0.1509	0.4343
a(15) =	0.1440	0.1062	0.1198	0.1425	0.4875
a(16) =	0.1265	0.0943	0.1083	0.1331	0.5378
a(17) =	0.1112	0.0835	0.0974	0.1231	0.5848
a(18) =	0.0977	0.0739	0.0873	0.1129	0.6282
a(19) =	0.0859	0.0653	0.0780	0.1028	0.6680
a(20) =	0.0755	0.0576	0.0694	0.0931	0.7043

Her bir yol tipine ait gerçek veriler ve tahmin edilen veriler arasındaki hataların kareleri toplamları bulunarak GA ve YBS'de kurulan modeller ile en iyi hangi yol tipinin temsil edildiği bulunmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki her iki modelde de 2. yol tipinde

hataların kareleri toplamı minimum olmuştur (Şekil 4.25, Şekil 4.26, Çizelge 4.30). Yani modellerin en iyi 2. veri tipini temsil ettiği gözlenmiştir. GA ve YBS arasında yapılacak karşılaştırmada ise YBS, GA'ya göre daha küçük hata karesi toplamı sonuçları vermiştir. Çalışmanın diğer kısımlarında bakım onarım stratejileri bütün yol tipleri için elde edilmiştir.



Şekil 4.25. GA ile elde edilen verilerin veri tipi-hata kareleri toplam ilişkisi



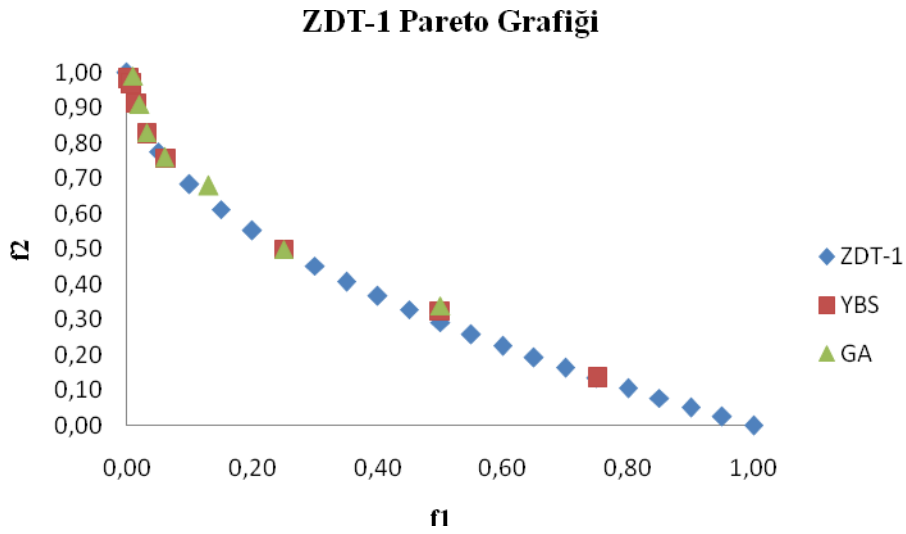
Şekil 4.26. YBS ile elde edilen verilerin veri tipi-hata kareleri toplam ilişkisi

Çizelge 4.31. GA ve YBS ile tahmin edilen veriler ve gerçek veriler arasındaki hata kareleri toplamları

	1. veri	2. veri	3. veri	4. veri	5. veri	6. veri
GA	6.0111	1.4867	4.7165	4.4423	2.372551	5.1254
AIS	5.7596	0.7199	4.6807	3.4967	2.2893	3.485

4.3. Algoritmaların ZDT1 Test Fonksiyonu ile Doğrulanması

Önerilen yeni algoritmaların performansını test etmek için literatürde sıklıkla test fonksiyonu olarak kullanılan ZDT1 fonksiyonu iki algoritma ile çözülmüş ve elde edilen Pareto grafikleri yaklaşık aynı şekilde elde edilmiştir (Şekil 4.27)



Şekil 4.27. ZDT-1 Pareto Grafiği

4.4. Örnek Çalışma

Bu çalışmada, geliştirilen modellerin bir Üstyapı Yönetim Sistemine adapte edilmesi ve bu modellerin çalışabilirliğini göstermek amacıyla örnek bir çalışma yapılmıştır. Genel olarak bir ağ çalışmasının başlıca amaçları şunlardır:

- Bir ağın yol durumunu değerlendirmek ve gelecekteki durumunu tahmin etmek,

- Beş (5) yıllık programlama periyodunda pilot ağı bakım ve onarım ihtiyaçlarını tahmin etmek,
- Beş (5) yıllık programlama periyodunda üstyapı performansında bu potansiyel programların etkisini belirlemek,

Çalışmamızda ilk kısımda 6 tip yol için elde edilen Markov GİM'leri kullanılarak yolun gelecekteki durumu tahmin edilmiş, kullanılan bu veriler ile gelecekteki duruma bağlı olarak gerekli kısıtları sağlayan 5 yıllık bakım-onarım (B&O) stratejisi elde edilmiştir. Aşağıda 6 tip yol durumu için GA ve YBS ile elde edilen bakım stratejileri gösterilmiştir (Çizelge 4.32- Çizelge 4.43). Şekil 4.28 – 4. 30'de sırasıyla GA ve YBS ile elde edilen B&O stratejilerinin maliyet, fayda (PSI artışı) ve fayda/maliyet karşılaştırmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar göstermiştir ki YBS ile elde edilen B&O stratejilerinin Fayda/Maliyet oranları GA ile elde edilen B&O stratejilerinin Fayda/Maliyet oranlarından daha yüksek çıkmıştır.

Çizelge 4.32. 1. Veri tipi için GA ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	1	3	105	1.3
2	0	0	0	3	3	125	1.5
3	0	0	1	2	3	76	1.1
4	0	0	3	1	3	84	1.2
5	0	0	3	3	3	112	1.4
Toplam						502	6.5

Çizelge 4.33 1. Veri tipi için YBS ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	2	3	116	1.4
2	0	0	0	1	3	91	1.2
3	0	0	0	2	3	106	1.4
4	0	0	0	1	3	91	1.2
5	0	0	0	2	3	106	1.4
Toplam						509	6.6

Çizelge 4.34. 2. Veri tipi için GA ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	1	3	61	0.8
2	1	1	1	3	4	148	1.3
3	1	0	1	4	3	118	0.9
4	1	2	2	1	3	48	0.9
5	1	0	2	2	3	56	1.0
Toplam						431	4.9

Çizelge 4.35 2. Veri tipi için YBS ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	1	0	1	1	3	72	1.0
2	1	1	2	1	3	76	1.1
3	0	1	0	1	3	73	1.0
4	1	1	2	2	3	91	1.2
5	1	1	3	2	3	98	1.3
Toplam						410	5.6

Çizelge 4.36 3. Veri tipi için GA ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	1	3	106	1.3
2	0	0	0	2	3	100	1.3
3	0	0	0	2	3	100	1.3
4	0	0	0	2	3	100	1.3
5	0	0	0	2	3	100	1.3
Toplam						506	6.5

Çizelge 4.37. 3. Veri tipi için YBS ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	1	3	96	1.3
2	0	0	0	1	3	53	0.9
3	0	0	0	2	3	86	1.2
4	0	0	0	1	3	53	0.9
5	0	0	0	1	3	53	0.9
Toplam						341	5.2

Çizelge 4.38. 4. Veri tipi için GA ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	1	3	19	0.4
2	0	0	0	1	3	14	0.4
3	0	2	3	2	3	84	1.2
4	0	2	3	2	3	60	0.9
5	0	1	2	1	4	52	0.5
Toplam						229	3.4

Çizelge 4.39. 4. Veri tipi için YBS ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	2	3	2	3	90	1.2
2	1	2	1	2	3	60	1.0
3	1	1	1	3	3	69	1.0
4	1	1	1	1	3	19	0.6
5	0	3	3	1	3	37	0.6
Toplam						275	4.2

Çizelge 4.40. 5. Veri tipi için GA ile elde edilen B&O Stratejisi

Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	1	3	18	0.3
2	0	2	0	1	3	34	0.6
3	0	2	2	2	4	95	0.8
4	1	0	3	3	3	78	1.1
5	0	2	2	2	3	49	0.8
Toplam						274	3.6

Çizelge 4.41. 5. Veri tipi için YBS ile elde edilen B&O Stratejisi

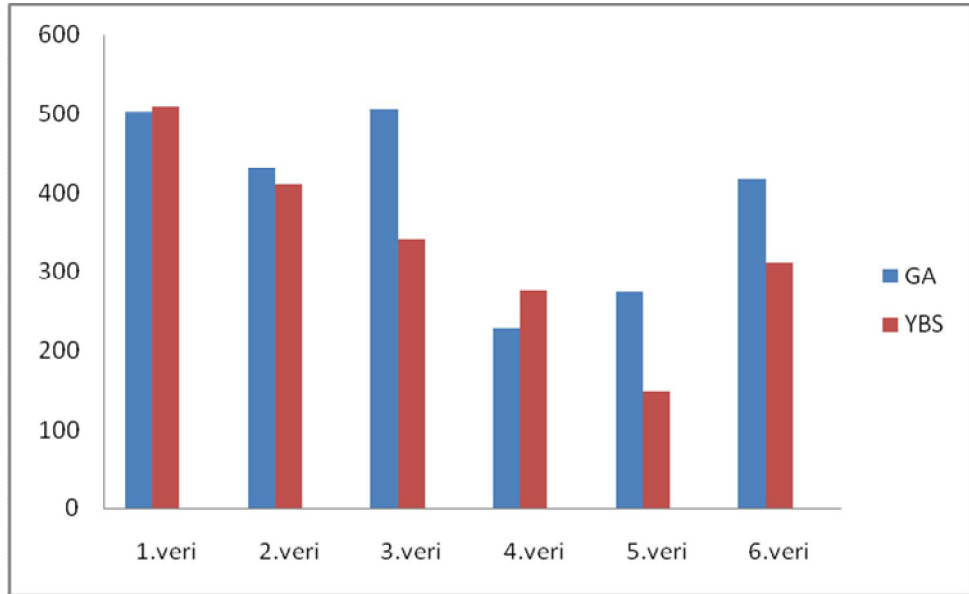
Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	1	1	1	2	3	25	0.7
2	1	0	1	2	3	22	0.5
3	1	1	1	1	4	29	0.6
4	1	2	2	1	3	42	0.8
5	1	3	1	2	3	30	0.7
Toplam						148	3.3

Çizelge 4.42. 6. Veri tipi için GA ile elde edilen B&O Stratejisi

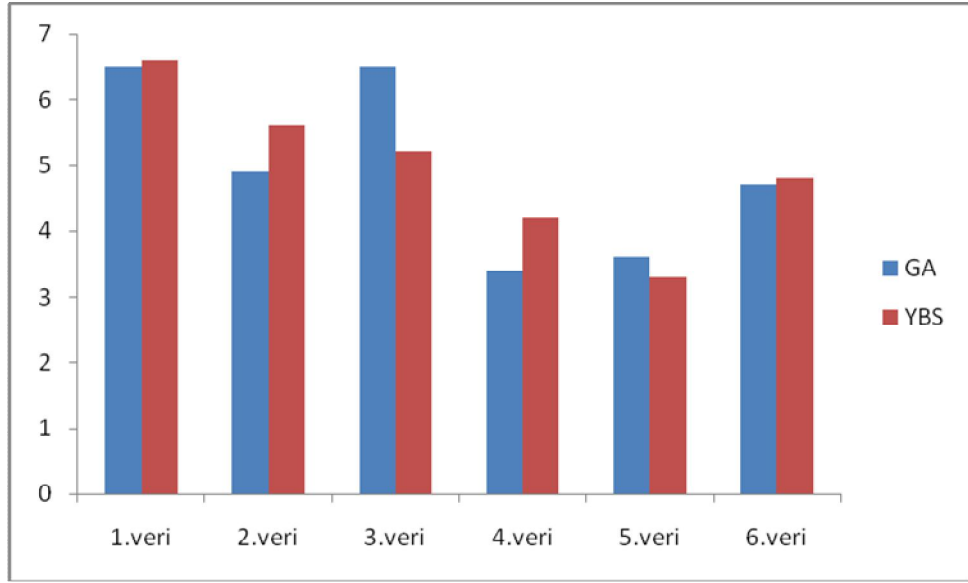
Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	0	0	1	3	56	0.7
2	0	3	3	3	3	126	1.5
3	1	1	2	2	4	71	0.9
4	0	1	3	1	4	90	0.9
5	0	1	1	1	4	74	0.7
Toplam						417	4.7

Çizelge 4.43. 6 Veri tipi için YBS ile elde edilen B&O Stratejisi

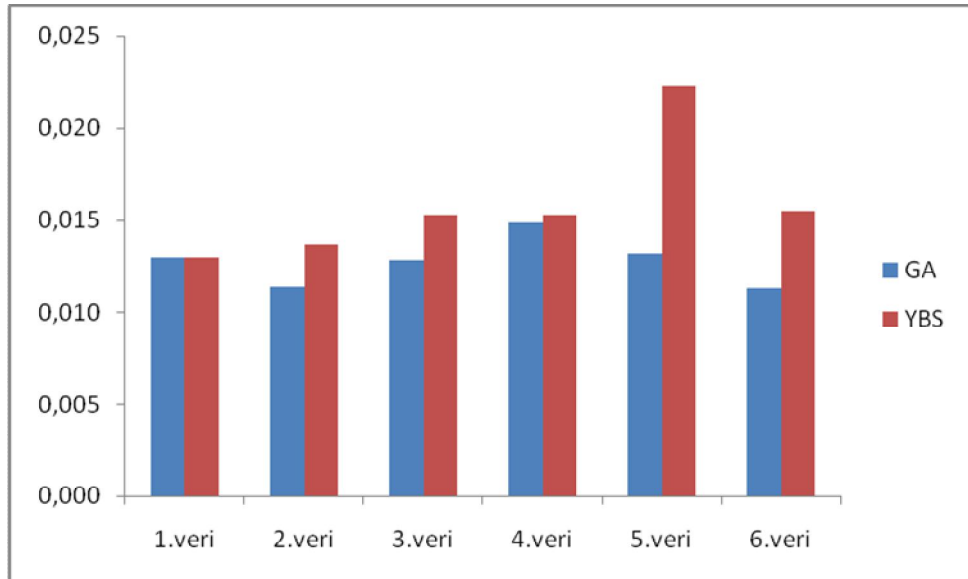
Bakım Yılı	5 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	4 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	3 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	2 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	1 durumunda bulunan yol kesimi için bakım tipi	Maliyet	Fayda
1	0	2	2	2	3	91	1.2
2	0	1	1	2	3	62	0.9
3	1	2	2	1	3	51	0.9
4	1	2	3	1	3	54	0.9
5	1	1	3	1	3	53	0.9
Toplam						311	4.8



Şekil 4.28. GA ve YBS ile elde edilen B&O stratejilerinin maliyet karşılaştırmaları



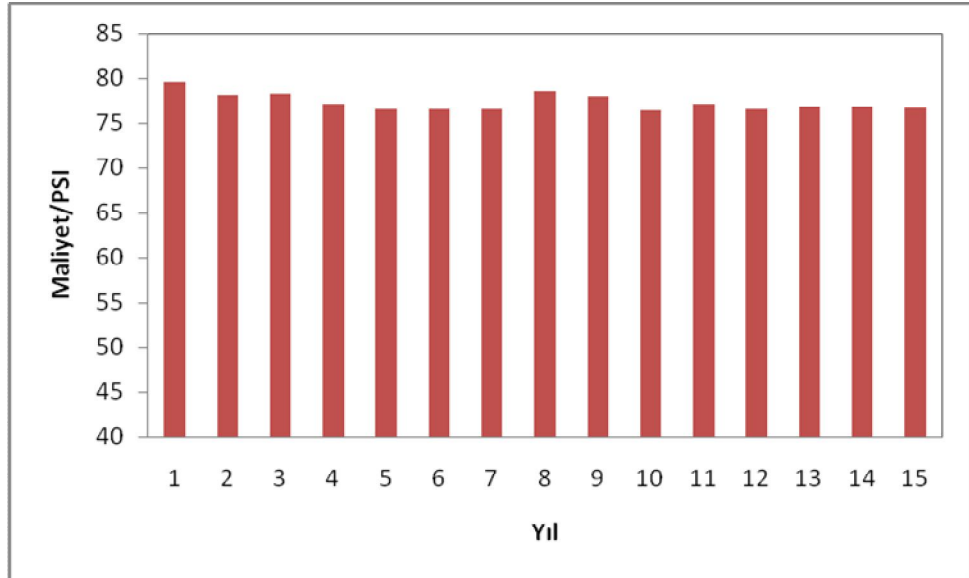
Şekil 4.29. GA ve YBS ile elde edilen B&O stratejilerinin kalite artış karşılaştırmaları



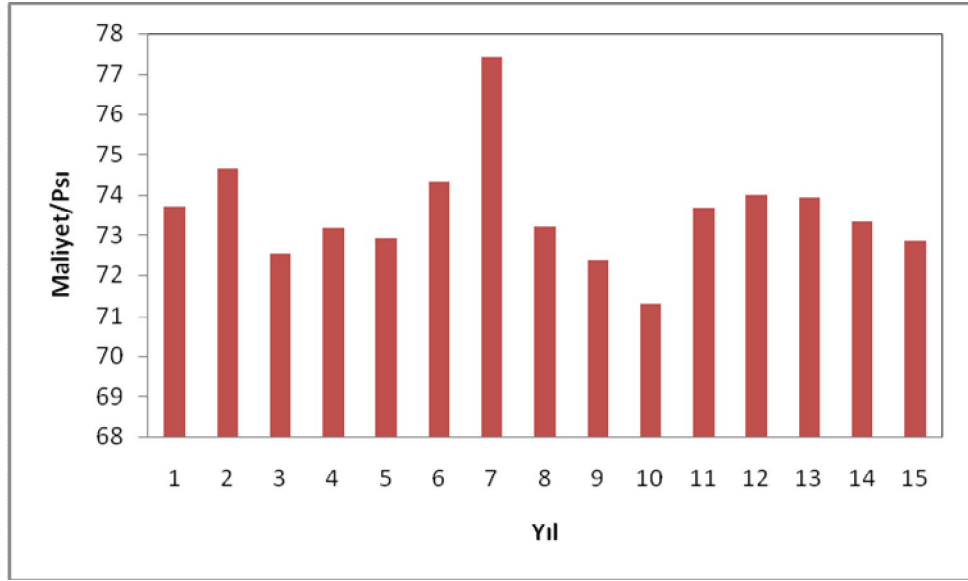
Şekil 4.30. GA ve YBS ile elde edilen B&O stratejilerinin fayda/maliyet karşılaştırmaları

4.4.1. Farklı planlama yıllarının B&O stratejileri üzerindeki etkilerinin incelenmesi

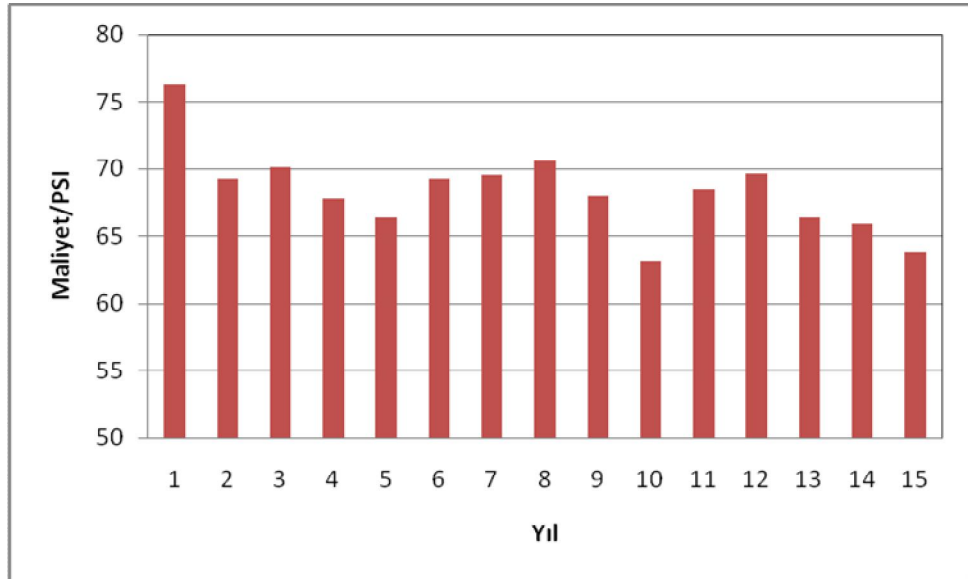
Yapılan çalışmada, farklı planlama yıllarının $\sum \text{Maliyet} / \sum \text{PSI}$ artışına etkisi incelenmiştir. 1-15 yıllık planlamalar için iskonto oranı gözönüne alınarak toplam bütçe miktarları hesaplanmıştır ve GA ve YBS ile her bir veri tipi için farklı yıllardaki $\sum \text{Maliyet} / \sum \text{PSI}$ etkileri incelenmiştir (Şekil 4.31- 4.42). GA ve YBS den elde edilen sonuçlar göstermiştir ki 10 yıllık bütçe planlaması her bir veride minimum $\sum \text{Maliyet} / \sum \text{PSI}$ oranını vermiştir. Aynı zamanda her bir veri için elde edilen sonuçlarda benzer grafikler elde edilmiş ve en uygun olmayan yıllar maksimum $\sum \text{Maliyet} / \sum \text{PSI}$ oranını veren 7. ve 8. yıllar olarak belirlenmiştir.



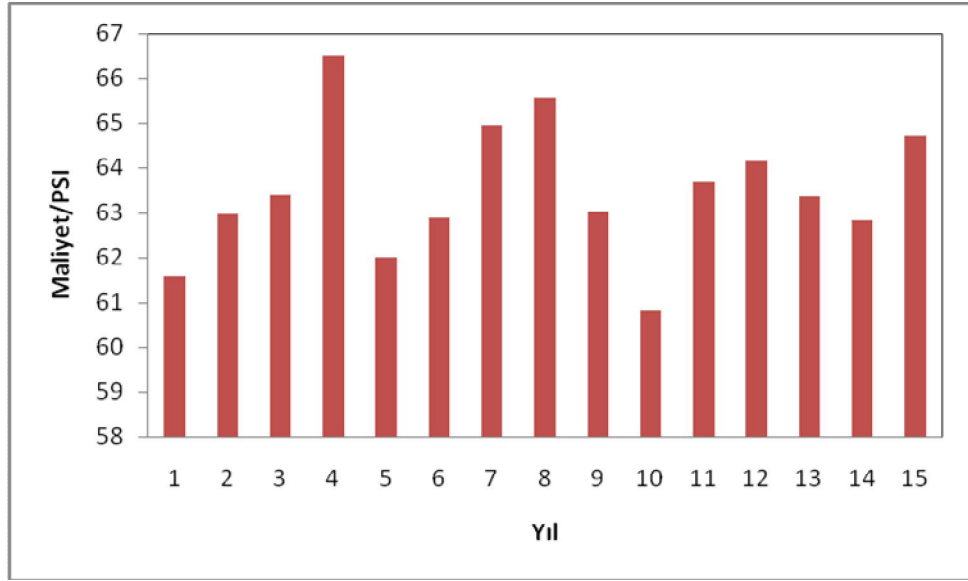
Şekil 4.31. YBS ile 1. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



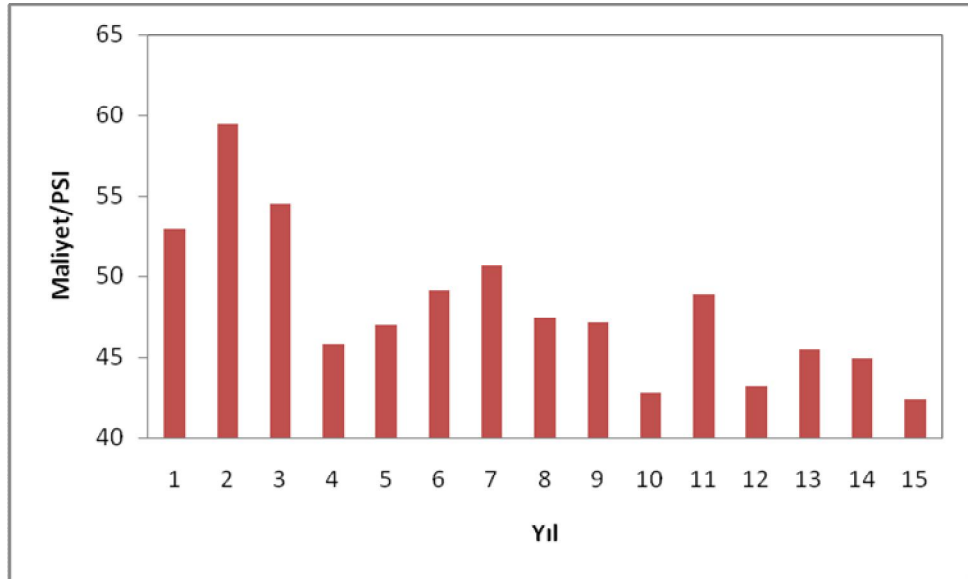
Şekil 4.32. YBS ile 2. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSİ ilişkisi



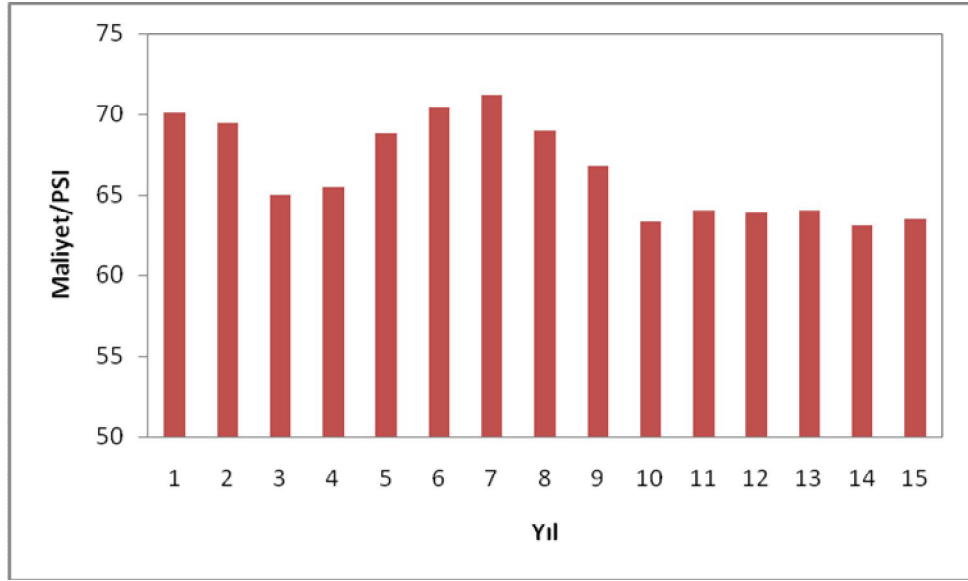
Şekil 4.33. YBS ile 3. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSİ ilişkisi



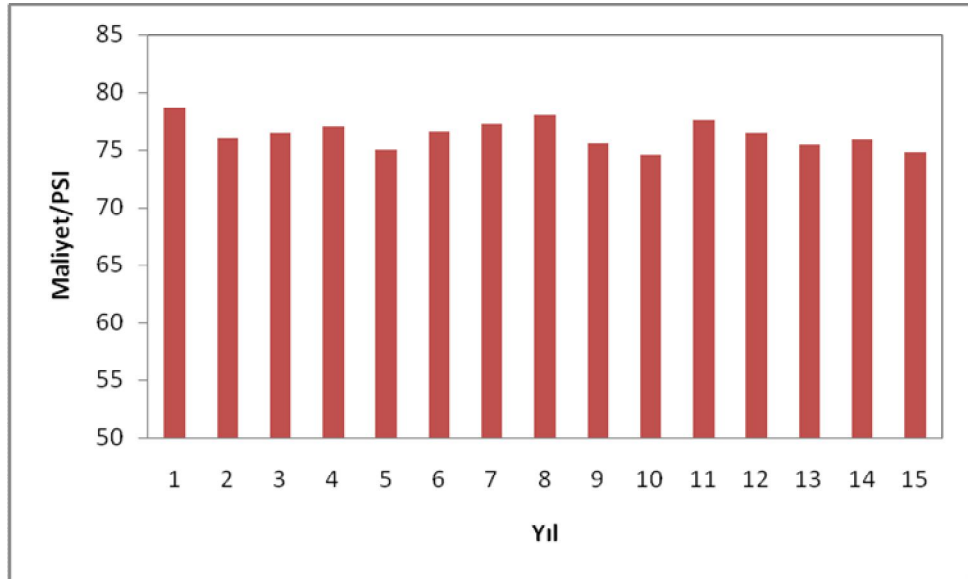
Şekil 4.34. YBS ile 4. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



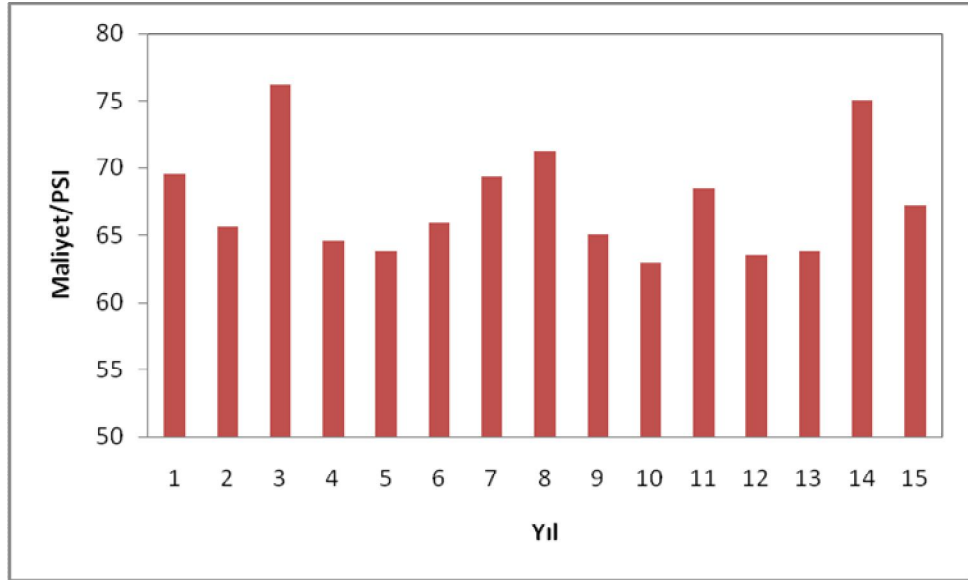
Şekil 4.35. YBS ile 5. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



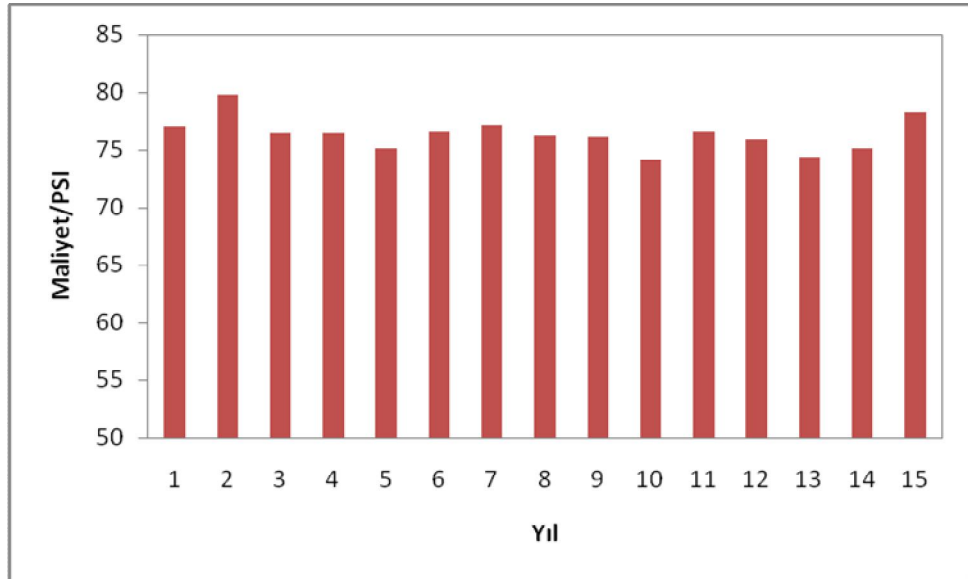
Şekil 4.36. YBS ile 6. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



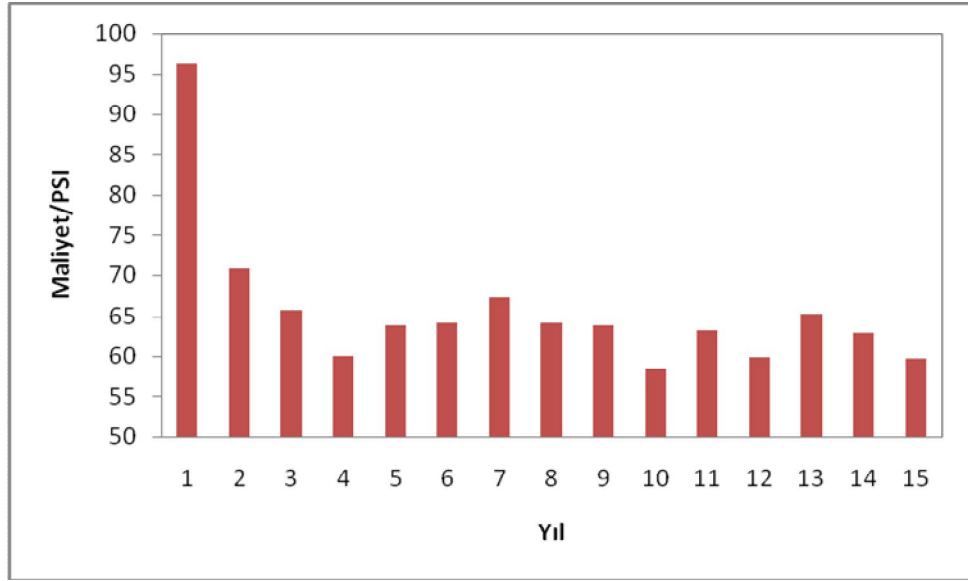
Şekil 4.37. GA ile 1. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



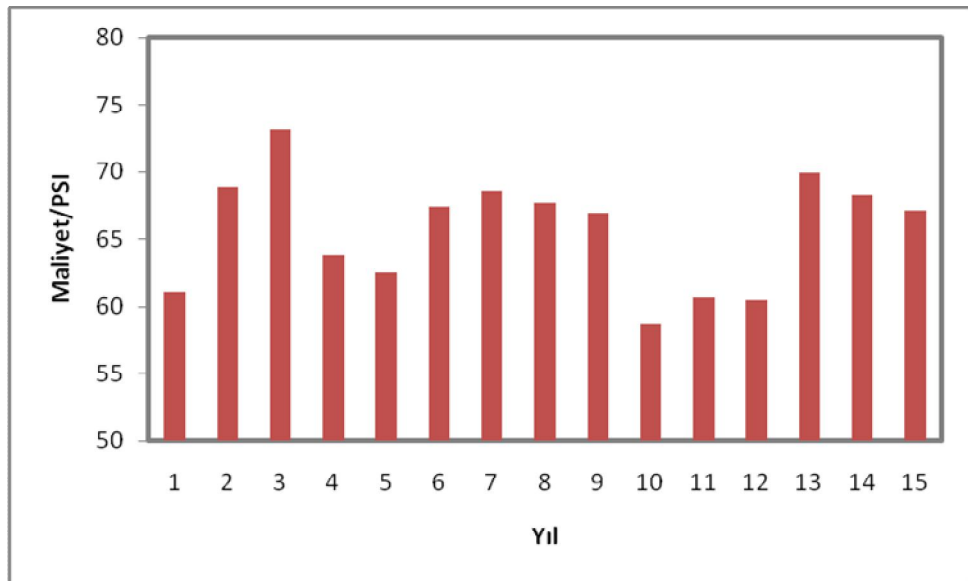
Şekil 4.38. GA ile 2. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



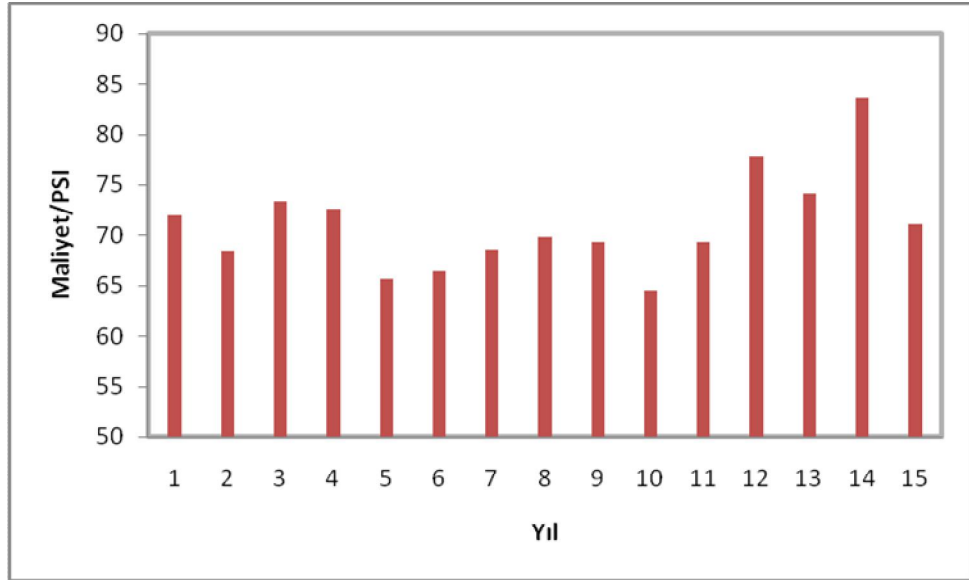
Şekil 4.39. GA ile 3. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



Şekil 4.40. GA ile 4. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



Şekil 4.41 GA ile 5. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi



Şekil 4.42. GA ile 6. Veri tipi için değişik planlama yılları-Maliyet/PSI ilişkisi

5. SONUÇ

5.1. Sonuçlar

- Taguchi optimizasyonu ile GA' da kullanılan Nesil sayısı, Mutasyon oranı, Çaprazlama oranı ve YBS'de kullanılan Klonlama oranı, Mutasyon oranı ve Antikor öldürme oranı gibi parametrelerin, her bir veri seti için sonuçlar üzerindeki etkisi araştırılmış ve her bir veri seti için optimum parametre seviyeleri belirlenmiştir. Çalışmanın devamında elde edilen optimum parametre seviyeleri kullanılarak her bir yol tipinin GİM'leri ve B&O stratejileri elde edilmiştir.

-Literatürden alınan 6 yol tipi için; Markov Modeli kullanılarak gerçek değerler ve üretilen değerler arasındaki hataların karesi toplamı YBS ve GA ile minimize edilerek yolun GİM'leri %95 güven aralığında elde edilmiştir.

-Elde edilen matrisler kullanılarak 6 tip yolun gelecekteki durumları tahmin edilmiştir.

-Her bir yol tipine ait gerçek veriler ve tahmin edilen veriler arasındaki hataların kareleri toplamları bulunarak GA ve YBS'de kurulan modeller ile en iyi hangi yol tipinin temsil edildiği bulunmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki her iki yöntemde de 2. yol tipinde hataların kareleri toplamı minimum olmuştur. Yani modellerin en iyi 2. veri tipini temsil ettiği gözlenmiştir. GA ve YBS arasında yapılacak karşılaştırmada ise YBS, GA'ya göre daha küçük hata karesi toplamı sonuçları vererek yol durumunu daha iyi temsil eden GİM'ler üretmiştir.

-YBS ve GA ile oluşturulan algoritmanın doğruluğu literatürden alınan ZDT1 fonksiyonu ile test edilmiştir. Her iki yöntemden elde edilen pareto grafiği her iki yöntem içinde gerçek grafikte örtüşmüştür.

-Amaç fonksiyonları olarak maliyet minimizasyonu ve kalite ($\sum PSI$ artışı) maksimizasyonu ele alınarak YBS ve GA ile çok amaçlı optimizasyon yapılmıştır ve pareto optimizasyonu ile 5 yıllık bakım onarım planı çıkarılmıştır ve her iki algorithmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki $\sum PSI / \sum Maliyet$ değerlerine göre YBS, GA'ya göre daha uygun B&O stratejilerini vermiştir.

-Farklı planlama yılları için (1-15) GA ve YBS ile elde edilen bakım-onarım stratejilerinde $\sum Maliyet / \sum PSI$ oranları karşılaştırılmış ve bütün yol tiplerinde planlama için en uygun yılın 10 yıl olduğu görülmüştür.

-Elde edilen bütün sonuçlar YBS'nin GA'ya göre daha iyi sonuç verdiğini göstermiştir.

5.2. Öneriler

-YBS ve GA için oluşturulan algoritmalarda çeşitli değişiklikler yaparak yeni algoritmalar geliştirilebilir.

-YBS ve GA'nın bir arada kullanıldığı sistemlerle daha iyi sonuçların elde edildiği programlar geliştirilebilir.

-Problem fayda/maliyet haline getirerek tek amaçlı bir çözüm yapılabilir,

-Bu çalışmada geliştirilen ÜYS sistemi, ülkemizde uygulanabilecek bir sistemdir. Ayrıca ihtiyaç duyulması halinde çeşitli değişiklikler rahatça yapılabilir. ÜYS' nin ülkemiz karayollarında kullanılması ile kısıtlı olan kaynaklarımızın daha verimli bir biçimde kullanılacağı, ayrıca yol üstyapısından kaynaklanan olumsuzlukların da önemli ölçüde azaltılacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

- Abaza, K. A., 2002. An Optimum Flexible Pavement Life-Cycle Analysis Model. *Journal of Transportation Engineering*, American Society of Civil Engineers (ASCE), 128 (6), 542-549.
- Abaza, K., A., Ashur, S., A., Al-Khatib. 2004, Integrated Pavement Management System With a Markovian Prediction Model, *Journal Of Transportation Engineering*, 130 (1), 24-33.
- Anonim, 2000. Building a Deterioration Model For Pavement Management Using Artificial Neural Networks, *Pavement Maintenance Decision Support*, 81-82.
- AASHTO, 1986, American Association of State Highway and Transportation Officials, p-III-7, Washington, USA
- Attoh Okine, N., O., 1997. Potential Application of Artificial Immune Systems in Pavement Management Decision Making. *Proceedings Infrastructure Condition Assessment Conference*, 504-513.
- Attoh Okine, N., O., 1997. Rough set Application to Data Mining Principles in Pavement Management Database. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 11(4), 231-237.
- 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*, 30, 291-302.
- Bosurgi, G., Trifiro, F., 2005, A Model Based on Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms for Pavement Maintenance Management. *The International Journal of Pavement Engineering*, 6(3), 201-209
- Burnet F. M. (1978), "Clonal Selection And After", *Theoretical Immunology*, 63-85.
- Cafiso, S., Graziano A.D., Kerali, H.R., Odoki, J. B., 2001. Multicriteria Analysis Method For Pavement Maintenance Management.
- Chua, D., K., H., 1989. Pavement Management System With Stochastic Mechanistic Modeling. PhD Thesis, University of Berkeley.
- Colucci-Rios, B., Sinha, K. C., 1985, Optimal pavement management approach using roughness measurements, *Transportation Research Record*, Vol. 1048, pp. ---
- Dasgupta, D., Forrest S., "Artificial Immune systems in Industrial Applications", In the proceedings of the Second International Conference on Intelligent Processing and Manufacturing of materials (IPMM), Honolulu, July 10-15 (1999).
- Dasgupta, D., 2006. *Advances In Artificial Immune Ssystems*. *IEEE Computational Intelligence Magazine*, 41-49.
- De Castro, L. N., Von Zuben, F., J., 2000. The Clonal Selection Algorithm with Engineering Applications. *GECCO 2000*, Las Vegas.
- De Castro, L., N., Von Zuben, F., 2001. Learning and optimization Using the Clonal Selection Principle. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Special Issue on AIS.
- Endo, S., Toma, N., and Yamada, K. 1998. Immune Algorithm for n-TSP. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man. and Cybernetics*, 3844-3849.

- Engin , O., Döyen., A., 2004. Artificial Immune Systems Applications in Industrial Problems. *G. U. Journal of Science*, 17(1), 71-84.
- Engin, O., Döyen, A., 2007. A New Approach to Solve Flowshop Scheduling Problems by Artificial Immune Systems. *Doğuş Üniversitesi Dergisi*, 8(1), 12-27.
- Farmer, J., D., Packard, N., H., Perelson, A. S., 1986. *The Immune System, Adaptation And Machine Learning*. Physica 22D.
- Ferreira, A., Picado-Santos, L., Antunes, A., 2002. A Segment-linked Optimization Model for Deterministic Pavement Management Systems. *The International Journal of Pavement Engineering*, 3(2), 95-105.
- Ferreira, A., Antunes, A., Picado-Santos, L., 2002. Probabilistic Segment Linked Pavement Management Optimization Model. *Journal f Transportation Engineering*, 128(6), 568-577.
- Finn, F., 1997. *Pavement Management Systems-Past, Present and Future*. National Workshop on Pavement Management in New Orleans.
- Forrest, S., Hofmeyr, S. A., Somayaji, A., 1997. *Computer Immunology*, Communication of the ACM, 40, 88-96.
- Forrest, S., Perelson,A., Allen, L., 1994. Self-Nonself Discrimination in a Computer, *Proceedings of the IEEE Symposium on Research in Security and Privacy*: 202-212.
- Freschi, F., Repetto, M., *Multiobjective Optimization by a Modified Artificial Immune System Algorithm*, Dept of Electrical Engineering, Politecnico di Torino, Italy.
- Fukuda, T., Mori, K., Tsukiyama, M., Dasgupta D., 1999. Parallel Search for Multi-Modal Function Optimization with Diversity and Learning of Immune Algorithm. *Artificial Immune Systems and Their Applications*.
- Fwa, T., F Chan, W., T., Hoque, K., Z., 1998. *Analaysis of Pavement Management Activities Programming by Genetic Algorithms*. *Transportation Research record* 1643, 1-6.
- Fwa, T., F., Chan, W., T., Hoque, K., Z., 2000. Multiobjective Optimization for Pavement Maintenance Programming, *Journal of transportation Engineering*, 126(5), 367-374.
- Ortiz-Garcia, J., J., Costello, S., B., Snaith, M., S., 2006. Derivation of Transition Probability Matrices for Pavement Deterioration Modeling. *Journal of Transportation Engineering*, 132(2), 141-161
- Garett, S.M., 2005. How Do We Evaluate Artificial Immune Systems? *Evolutionary Computation*, 13(2), 145-178.
- Garg, P., Shastri, A., An Improved Cryptanalytic Attack on Knapsack Cipher using Genetic Algorithm. *International Journal of Information Technology*, 3 (3), 145-152.
- Goldberg, D. E., 1989. *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*. Addison-Wesley.
- Goodman, R., A., 1998. *A Pavement Maintenance Management System Designed for the City of Winnipeg*. Master Thesis, Department of Civil Engineering University of Manitoba.
- Güroğlu, S., 2005. *An Evolutionary Methodology for Conceptua Design*. PhD Thesis, METU.

- 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., Zaniewski, J., 1994. *Modern pavement management systems*, Krieger Publishing Company, USA
- Haas, R., Hudson, W. R., 1978. *Pavement management systems*. McGraw Hill Book Company, USA.
- Hadi, M., N., S., Arfiadi, Y., 2001. Optimum Rigid Pavement Design by Genetic Algorithms. *Computers and Structures*,(79), 1617-1624.
- Hajek, J.J., Phang, W.A., 1989, Prioritization and Optimization of Pavement Preservation Treatments, *Transportation Research Record* 1216, pp 58-68
- Hart, E., Ross, P., Nelson, J., 1998. Producing Robust Schedules via an Artificial Immune System, *ICEC*, 464-469.
- Herabat, P., Tanghalsaki, A., 2005. Multiobjective Optimization Model Using Constraint-Based Genetic Algorithms for Thailand Pavement Management. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 6, 1137-1152.
- Hınıslıoğlu, S., Bayrak, Ü, O., 2004. Silis dumanı ve uçucu kül içeren yol betonlarının erken yaştaki eğilme dayanımlarının Taguchi yöntemi ile optimizasyonu. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 21 (2), 79-90.
- Hofmery, S.A., Forrest, S., 1999, Architecture for an Artificial Immune System, *Evolutionary Computation*, 7(1), 45-68.
- Hunt, J. E. & Cook, D. E., 1996, Learning Using An Artificial Immune Systems, *Network and Computer Applications dergisi*,19,189-212.
- Ishida, Y., 1996. The Immune System As A Self-Identification Process: A Survey And A Proposal. *IMBS'96*.
- Jackson, N., 1989, Operation of the Washington state pavement management system, *Transportation Research Record*, Vol. 1048, pp. 23-28.
- Jerne, N., K., 1974. Towards A Network Theory Of The Immune System, *Ann. Immunol.* 125C, 373-389.
- Jensen, M., Hansen, T., 1974. Robust solutions to job shop problems. http://wwwiuf.unifr.ch/~wangl/immune_reference.html. Jerne.
- Jha, M., K., Abdullah, J., 2006. A Markovian Approach for Optimizing Highway life-cycle with Genetic Algorithms by Considering Maintenance of Roadside Apputiances. *Journal of the Franklin Institue*, 343, 404-419.
- Kay, K., R., Mahoney, J., P., Jackson, N., C., 1993. *The WSDOT Pavement Management System*. Washington.
- Kephart, J. O., 1994, *A Biologically Inspired Immune System For Computure*, MIT Press.
- Kırbaş, U., Gürsoy, M., 2007. Üstyapı Yönetim Sistemlerinde Kullanılan Veri Türlerinin Sınıflandırma Yöntemleri, 7. Ulusal Ulaştırma Kongresi, 364-373.
- Kim, J., Bentley, P., J., 1999. An Artificial Immune Model for Network Intrusion Detection. 7th European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT'99).
- 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.

- Konak, A., Coit, D., W., Smith, A., E., 2005. Multiobjective Optimization Using Genetic Algorithms: A Tutorial. Reliability Engineering and System Safety.
- Kurt, M., Semetay, C., Genetik Algoritma ve Uygulama Alanları.
- Labi, S., Sinha, K., 2003. The Measures of Short-Term Effectiveness of Highway Pavement Maintenance, Journal of Transportation Engineering, 129 (6), 673-683.
- Li, N., Xie, W., C., Haas, R., n Reliability- based Processing of Markov Chains for Modeling Pavement Network Deterioration. Transportation Research Record 1524, 203-213.
- Liu, C., Hammad, A., Itoh, Y., 1996. Cost Optimization of Bridge Maintenance Using Genetic Algorithm. IABSE Congress, Copenhagen, 477-462.
- Livneh, M., Deterioration Modeling for Unlaid and Overlaid Pavements. Transportation Research Record 1524, 177-184.
- Luo, Z., Chou, E., Y., j., 2006. Pavement Condition Prediction Using Cluster wise Regression. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1974, 70-77.
- 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.
- Morcous, G., Rivard, H., Hanna, A. M., 2002. Case-Based Reasoning System for Modeling Infrastructure Deterioration", Journal of Computing in Civil Engineering, ASCE, 16 (2), 104-114.
- Marzouk , M., Moselhi, O., 2003. Constraint-Based Genetic Algorithm For Earthmoving Fleet Selection, Canadian Journal Civil Engineering, 30, 673-683.
- Mbwana, J., R., 1993, A Framework for Developing Stochastic Multiobjective Pavement Management Systems. Cornell University, 339-352.
- Mbwana, J., Turnquist, M., A., Optimization Modeling for Enhanced Network-Level Pavement Management System. Transportation Research Record 1524, 76-85.
- Mehnen, J., Wagner, T., Rudolph, G., Evolutionary Optimization of Dynamic Multi-objective Test Functions.
- Michalewicz, Z. 1996. Genetic Algorithms + data structures = evolution programs. Springer-Verlag.
- Moavenzadeh, F., 1976, Stochastic model for prediction of pavement performance, Transportation Research Record, 575, pp. 56-73. Okamoto & Ishida 1999
- Ortiz-Garcia, J., J., Costello, S., B., Snaith, M., S., 2006., Derivation of Transition Probability Matrices for Pavement Deterioration Modeling. Journal of Transportation Engineering, 132 (2), 141-161.
- Oltean, M., Grosan, C., Abraham, A., K'oppen, M., 2005. Multiobjective Optimization Using Adaptive Pareto Archived Evolution Strategy. Proceedings of the 2005 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'05).
- Ouyang, Y., Madanat, S., 2004. Optimal Scheduling of Rehabilitation Activities for Multiple Pavement Facilities: Exact and Approximate Solutions. Transportation Research Part A, 38, 347-365. Attoh Okine, N., O., 1997
- Owusu, E.B., Khazanovich, L., Titus-Glover, L., 1998. Mechanistic-Based Model for Predicting Reflective Cracking in Asphalt Concrete-Overlaid Pavement. Transportation Research Record 1629, 234-241.

- Pamuk, İ., Üstyapı Yönetim Sisteminin Karayollarımızda Uygulanabilirliğinin Araştırılması. Asfalt Sempozyum Notları, 7-18.
- 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.
- Pedigo, R. D., Hudson, W. R., 1982, Simplified pavement management at the network level, Transportation Research Record, Vol. 846, pp. 30-39.
- Prozzi, J., A., Madanat, S., M., 2003. Incremental Nonlinear Model for Predicting Pavement Serviceability Journal of Transportation Engineering, 129 (6), 635-641.
- Rada, G., R., Perl, J., Witczak, W., 1985, Integrated model for project-level management of flexible pavements, ASCE Journal of Transportation Engineering, Vol. 112, No. 4, pp. 381-399.
- Kay, K., R., Mahoney, J., P., Jackson, N., C., 1993. The WSDOT Pavement Management System
- 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
- Roosen, P., Uhlenbruck, S., Lucas, K., 2003. Pareto Optimization of a Combined Cycle Power System as a Decision Support Tool for Trading of Investment vs. Operating Costs. International Journal of Thermal Science, 42, 553-560. BB
- Rotar, C., Dumitrescu, D., Lung, R., 2006. Optimization Using an Evolutionary Hyperplane Guided Approach. Acta Universitatis Apulensis, 12.
- Shahin, M. Y., Becker, J. M., 1984, Development of performance prediction models for airfield pavements, Transportation Research Record, Vol. 985, pp. 25-33.
- Shahin, M. Y., 2002, "Pavement management for airports, roads, and parking lots", Kluwer Academic Publishers, London
- Sharaf, E. A., Sinha, K. C., 1984a, Estimation of pavement routine maintenance costs, Transportation Research Record, Vol. 981, pp. 55-58.
- Shekharan, A., R., 1998. Effect of Noisy Data on Pavement Performance Prediction by Artificial Neural Networks. Transportation Research Record 1643, 7-13.
- Shivatoki, A., Soleymani, H.R., 2006. Optimum Decision Making and Uncertainty Analyses At The Programming Level Of Pavement Management Systems, Transportation Research Board.
- Somayaji, A., Hofmeyr, S.A., and Forrest, S., "Principles of a Computer Immune System", Proceedings of the New Security Paradigms Workshop, 75-81 (1997).
- Steiner, H. M., Lynch, R. J., 1980. Priority-Setting method for road maintenance. Transportation Research Record, 774, 7-11.
- Sundin, S., Braban-Redoux, C., 2001, Artificial Intelligencen-Based Decision Support Technologies in Pavement Management. Computer- aided Civil and Infrastructure Engineering, 16, 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.

- Temiz, İ., Erol, S., 2004. xT20maxC1n/m/F/0+ PROBLEMİ İÇİN BULANIK GENETİK ALGORİTMA XXIV Ulusal Kongresi, 15-18 Haziran 2004, Gaziantep - Adana
- Terzi, S., 2004. Coğrafi Bilgi Sistemi Yardımıyla Karayolu Üstyapı Bakım Yönetim Modeli Geliştirilmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Üniversitesi.
- Timmis, J., Neal, M., 2001. A Resource Limited Artificial Immune System for Data Analysis. Knowledge-Based Systems, 14 (121). 130.
- Timmis, J., Neal, M., Hunt, J., 2000. An Artificial Immune System for Data Analysis, Biosystems. 55, 143-150.
- Tjan, A., Pitalako, D., 2005. Future Prediction of pavement Condition Using Markov Probability Transition Matrix. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 5, 772-782.
- Toma, N., Endo, S., Yamada, K., 1999. Immune Algorithm with immune network and mhc for adaptive problem solving. International Conference on Systems and Man and Cybernetics, Tokyo.
- Tsai, J.T., Heo, V.H, Liu, T.K., Chou, J.H., 2007. Improved Immune Algorithm For Global Numerical Optimization and Shop-Scheduling Problems, Appliden Mathematics and Computation, 194, 406-424.
- Tumuluru, S., J., Sokhansanj, S., 2007. Effect of Genetic Algorithm Operators on Convergence of a Function Minimum to Predict the Hardness of a Biomaterial Extrudate, ASAE Annual Meeting
- Ullidtz, P., 1987, Pavement Analysis, Elsevier Science Publishers B.V., Netherlands.
- Ullidtz, P., Modelling of Pavement Performance. 7th International Conference on Asphalt Pavements, 338-355.
- Veldhuizen, D., A., V., Lamont, G., B., 2000. Multiobjective Evolutionary Algorithms: Analysing the State of the Art. Evolutionary Computation, 8(2), 125-147
- Yang, J., Gunaratne, M., Lu, J., J., Dietrich, B., 2005. Use of Recurrent Markov Chains for Modeling the Crack Performance of Flexible Pavements. Journal of Transportation Engineering, 131(11), 861-872.
- Yüce, R., Oğraş., T., Türkiye Karayolları için Proje Seviyesi Üstyapı Yönetim Sistemi (PMS) İçinde Performans Modeli Geliştirilmesi. 449-462.
- Zhang, G., Zhang, G., Ma, J., Zhou, C., 2007. Three Real-Coded Genetic Algorithms with New Mutation Operators
- Tan, K., C., Goh, C., K., Mamun, A., A., Ei, E., Z., 2008. An evolutionary artificial immune system for multi-objective optimization. European Journal of Operational Research 187, 371-392.

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Erzurum'da tamamladı. 1997 yılında girdiği Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden bölüm dördüncüsü olarak mezun oldu. 2001-2003 yılları arasında Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2003 Ekim döneminde aynı Anabilim Dalı'nda doktora öğrenimine başladı.

Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde 2001-2006 yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. Halen Fatih Üniversitesi Çevre Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmaktadır.