

**GSM ŞEBEKELERİNDE FREKANS PLANLAMASININ VERİ
FÜZYONU İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ**

Serdar BİROĞUL

**DOKTORA TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2008

ANKARA

Serdar BİROĞUL tarafından hazırlanan GSM ŞEBEKELERİNDE FREKANS PLANLAMASININ VERİ FÜZYONU İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ adlı bu tezin Doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Prof.Dr. Çetin ELMAS

Tez Danışmanı, Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalı

Yrd.Doç.Dr. Aydın ÇETİN

Tez Danışmanı, Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof.Dr. İsmail COŞKUN

Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalı, GÜ

Prof.Dr. Çetin ELMAS

Elektrik Eğitimi Ana Bilim Dalı, GÜ

Prof.Dr. Ömer Faruk BAY

Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı, GÜ

Prof.Dr. Nihal Fatma GÜLER

Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalı, GÜ

Prof.Dr. Hayri SEVER

Bilgisayar Mühendisliği Ana Bilim Dalı, HÜ

Tarih: 15/07/2008

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nermin ERTAN

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Serdar BİROĞUL

**GSM ŞEBEKELERİNDE FREKANS PLANLAMASININ VERİ FÜZYONU
İLE GERÇEKLEŞTİRİLMESİ
(Doktora Tezi)**

Serdar BİROĞUL

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2008**

ÖZET

Karmaşık bir sistem yapısına sahip olan GSM (Global System for Mobile) teknolojisinin kurulması, işletmeye alınması, yönetilmesi zor bir süreçtir. Kaynakların kısıtlı olması sebebiyle ağ yönetimi ve optimizasyonu kritik hale gelen ekonomik bir faktördür. GSM baz istasyonu ağ yapısının çok büyük olduğundan her bir hücrede kaç tane frekans kanalının kullanılacağı ve hangi hücrelerde hangi frekansların kullanılacağı sorusu cevaplandırılmalıdır. Bu sorudan yola çıkarak aynı kanal ve bitişik kanal girişimi, devretme işlemi göz önüne alınarak frekansların kullanım modelinin kararı verilmelidir. Bu işlem aynı zamanda uzun vadede kapasitenin gelişimini tahmin etmek ve sistem kalitesini arttırmak içinde zorlayıcı bir faktördür. Bu çalışmada, GSM şebekesi baz istasyonlarının yayın kontrol kanalı (BCCH, Broadcast Control Channael) frekans planlaması veri füzyonu işlemi ile birlikte genetik algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bilim Kodu : 703.3.012
Anahtar Kelimeler :Veri füzyonu, GSM, frekans planlama, genetik algoritma
Sayfa Adedi : 157
Tez Yöneticisi : Prof.Dr. Çetin ELMAS

**IMPLEMENTATION OF FREQUENCY PLANNING USING DATA FUSION
FOR GSM NETWORK
(PhD Thesis)**

Serdar BİROĞUL

**GAZI UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2008

ABSTRACT

It is a hard process to set up, manage, and conduct the technology of GSM (Global System for Mobile) which has a complicated system. Network management and optimization is an economic factor having a significant role because of limited sources. Since the large network structure of base station, the question that is how many frequency channel and which frequency will be used in each cell should be responded. The usage model of frequencies should be decided by considering co-channel and adjacent channel interference and the process of handover based on this question. This is also is a compulsive factor for prediction of capacity evolution and to increase quality of system in the long term. In this study, frequency planning of broadcast control channel of GSM network base stations has been implemented using data fusion with genetic algorithm.

Science Code : 703.3.012

Key Words :Data fusion, GSM, frequency planning, genetic algorithm

Page Number: 157

Adviser : Prof.Dr. Çetin ELMAS

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren hocam Prof.Dr. Çetin ELMAS'a beni akademik camiaya kazandıran ve yardımlarıyla beni destekleyen hocam Yrd.Doç.Dr. Aydın ÇETİN'e, tezimi yapabilmem için bana gerekli imkanları sunan Telekomünikasyon Kurumu Başkan Yardımcısı Doç.Dr. Ertuğrul KARAÇUHA'a, GSM teknolojisiyle ilgili teknik bilgi ve verileri sağlayan Turkcell'e ve Turkcell'de çalışan bana yardım eden, tecrübelerini benimle paylaşan Naim Erol ÖZGÜNER, Güray YÜKSEL ve bana vakit ayırarak beni yönlendiren Halil KOŞAR'a, doktora çalışmam boyunca bana maddi destek sağlayarak doktora bursu imkanı sunan TÜBİTAK kurumuna, doktora çalışmam süresince beyin fırtası ekibi arkadaşlarım Arş.Gör. Uğur GÜVENÇ ve Arş.Gör. Yusuf SÖNMEZ'e, bu çalışmam süresince bana yardımları dokunan bölüm hocalarıma, gerekli vakit ayıramama karşın beni maddi ve manevi destekleriyle hiçbir zaman yalnız bırakmayan ve beni pozitif bakış açılarıyla hayata bağlayan biricik aileme teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	İV
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR.....	VI
İÇİNDEKİLER	VII
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	XI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	XII
RESİMLERİN LİSTESİ	XV
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XVII
1. GİRİŞ	1
2. VERİ FÜZYONU NEDİR	6
2.1. Veri Füzyon İşlemi.....	9
2.2. Algılayıcı Birleşimine Mühendislik Bakış Açılıarı.....	11
2.2.1. Algılayıcı tipleri	12
2.3. Çevrenin Üç Şekli	12
2.4. Veri Füzyonuna Yönelim	13
2.4.1. Probleme yaklaşım	13
2.5. Metodoloji.....	15
2.6. Veri Füzyonu Bilgi Modelleri	16
2.7. Veri Füzyonunun Uygulanması.....	17
2.8. Veri Füzyonu İşleminin Genel Evreleri	18
2.9. Veri Füzyonu Modelleri	19
2.10. Veri Füzyonunun Askeri Alana Uygulanması.....	20

Sayfa

2.11. Veri Füzyonunun Askeri Olmayan Alanlara Uygulanması	21
2.12. Veri Füzyon İşleminde Veri Madenciliği	23
2.12.1. Veri madenciliği süreci	25
2.13. Veri Füzyon İşlem Modelleri Ve Mimarileri.....	28
2.13.1. JDL modeli.....	28
2.13.2. Mimariler.....	31
2.13.3. JDL mimarisi.....	34
2.13.4. Birleşim algoritma yöntemleri	37
3. GSM SİSTEMİ	39
3.1. Baz İstasyonu Sistemi	41
3.2. Hareketli istasyon.....	41
3.3. Fiziksel Mimari	42
3.3.1. Fiziksel alt yapı	42
3.3.2. GSM'deki test ve ölçümler	42
3.4. GSM Ağı	43
3.5. GSM Ağındaki Bilgi Dağılımı	45
3.6. GSM Ağının Özellikleri	45
3.6.1. Hava ara yüzündeki sinyal kanalları	45
3.6.2. TRAU çerçevesi	49
3.6.3. Kapasite.....	49
3.6.4. Trafik ve kanal boyutlandırması	50
3.7. GSM'de Hücresel Sistemler ve Hücre Planlaması	50
3.8. Hücre Tasarımı	51

	Sayfa
3.9. Kanal Yükleme Planı	54
3.10. Girişim ve Frekans Planlama	55
3.11. Hücre Değişimi	59
3.12. Frekans Yeniden Kullanım Modeli	65
3.13. Kullanıma Uygun Frekans Sayısı	69
3.14. GSM Sisteminde Yapılan Çalışmalar.....	70
4. GENETİK ALGORİTMA	72
4.1. Genetik Algoritmaların Araştırma Teknikleri İçerisindeki Yeri.....	74
4.2. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları.....	76
4.3. Genetik Algoritmanın Kavramları	77
4.3.1. Temel kavramlar	77
4.3.2. Yeniden üretim işlemi	79
4.3.3. Başlangıç yığınının oluşturulması.....	80
4.3.4. Uygunluk değeri.....	80
4.3.5. Genetik operatörlerin uygulanacağı dizilerin seçilmesi.....	82
4.3.6. Dizi gösterimi.....	82
4.3.7. Seçim mekanizmaları	83
4.3.8. Genetik operatörler.....	86
4.3.9. Genetik algoritmanın çalışma prensibi.....	92
4.4. Genetik Algoritmanın Uygulanması	94
4.4.1. Genetik algorithmada şema teoremi.....	94
4.4.2. Basit bir genetik algoritma örneği.....	98

Sayfa

5. FREKANS PLANLAMANNIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ	102
5.1. Programın Özellikleri.....	102
5.2. Programa Ait Veri Tabanı Yönetim Sistemi	105
5.3. Bilecik İli İçin BCCH Frekans Planlamannın Gerçekleştirilmesi	107
5.4. Bilecik İlinin BCCH Frekans Planlamannın Sonuçları	137
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	144
KAYNAKLAR	147
ÖZGEÇMİŞ	156

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1 Askeri alanda veri füzyonu uygulamaları.....	20
Çizelge 2.2. Askeri olmayan alanda veri füzyonu uygulamaları	22
Çizelge 4.1. Rasgele oluşturulmuş başlangıç popülasyonu ve rulet tekerleğindeki payı.....	98
Çizelge 4.2. Genetik Algoritma ile üreme işlemi çizelgesi.....	99
Çizelge 4.3. Genetik Algoritma ile çaprazlama işlemi çizelgesi	100
Çizelge 4.4. Genetik Algoritma ile şema teoremi	101

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. JDL tarafından oluşturulan üst düzey veri füzyon işlem modeli	29
Şekil 2.2. Ham veri seviye füzyonu	32
Şekil 2.3. Özellik seviye füzyonu	33
Şekil 2.4. Karar seviye füzyonu	34
Şekil 2.5. Merkezi birleşim	35
Şekil 2.6. Otonom birleşim	36
Şekil 2.7. Hibrit birleşim.....	36
Şekil 2.8. Birleşim algoritmaları	37
Şekil 3.1. NSS'in mantıksal yapısı.....	40
Şekil 3.2. BSS'in mantıksal altyapısı	41
Şekil 3.3. Hücreler ve kapsama alanlarına göre gerçek biçimleri.....	51
Şekil 3.4. Hücresel ağ yapısı	51
Şekil 3.5. 4 farklı hücre kümesine ayrılmış aynı frekans değerini kullanan alan yapısı	55
Şekil 3.6. Ortak frekans girişimi	56
Şekil 3.7 Hücre yeniden kullanım modelleri.....	67
Şekil 3.8. 4/12 modelli hücresel yapı	68
Şekil 4.1. Araştırma Teknikleri.....	75
Şekil 4.2. Popülasyon, kromozom, gen yapıları ve kodlama işlemini gösteren tümleşik yapı	79
Şekil 4.3. GA kodlama biçimleri.....	83
Şekil 4.4. Rulet Tekerleği seçme operatörü	84

Şekil	Sayfa
Şekil 4.5. Tek Noktalı Çaprazlama	87
Şekil 4.6. Çok Noktalı Çaprazlama.....	87
Şekil 4.7. Pozisyona dayalı çaprazlama	88
Şekil 4.8. Sıraya dayalı çaprazlama	88
Şekil 4.9. Kısmi planlı çaprazlamada 1.adım.....	88
Şekil 4.10. Kısmi planlı çaprazlamada 2. adım.....	89
Şekil 4.11. Değişim operatörünün uygulanması	90
Şekil 4.12. Komşu iki genin değişimi	90
Şekil 4.13. Keyfi iki genin değişimi.....	90
Şekil 4.14. Keyfi üç genin değişimi	91
Şekil 4.15. Kaydırmalı gen değişimi.....	91
Şekil 4.16. Genetik işlem sonrası dizi durumu	91
Şekil 4.17. Fonksiyon eniyileme örneği.....	98
Şekil 4.18. Seçim işlemi için kullanılacak rulet tekerleği.....	99
Şekil 5.1. Sisteme ait genel yapı	102
Şekil 5.2. Veri tabanı yönetim yapısı	105
Şekil 5.3. Eş frekans girişimi	109
Şekil 5.4. Komşu frekans girişimi.....	109
Şekil 5.5. İki hücrenin tek bir ortak hücre olması durumu.....	114
Şekil 5.6. İki hücrenin iki veya daha fazla ortak hücre olması durumu.....	115
Şekil 5.7. Bu çalışmada kullanılan kromozom yapısı	121
Şekil 5.8. Bu çalışmada kullanılan ve çözüm uzayını eniyi temsil eden tek bir kromozoma ait yapı.....	121

Şekil	Sayfa
Şekil 5.9. Frekansların olduğu kromozom yapısı.....	122
Şekil 5.10. Çaprazlama, değişim ve özel değişim operatörlerinin uygulanma alanı	122
Şekil 5.11. Çok noktalı çaprazlama operatörünün uygulanması.....	122
Şekil 5.12. Rastgele iki gen değişimi ile değişim operatörünün uygulanması.....	123
Şekil 5.13. Özel değişim operatörünün uygulanması	123
Şekil 5.14. Eş kanal ve komşu kanal frekans girişimi	126
Şekil 5.15. Farklı hücelere ait girişim değerlerinin aynı olması durumu	127
Şekil 5.16. Hücelere ait toplam konuşma trafiğinin hesaplamaya katılması	127
Şekil 5.17. Girişim değerleri farklı durumdaki trafik değerlerinin çözüme etkisi ...	128
Şekil 5.18. Mesafe kısıtının şekil üzerinde gösterimi	133

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 5.1. Bilecik ilinin coğrafi durumu.....	107
Resim 5.2. Bilecik iline ait ICDM tablosu.....	108
Resim 5.3. Düzeltmeler sekmesi.....	111
Resim 5.4. UnCertain/UnKnown hücre bilgileri.....	112
Resim 5.5. Bilecik iline ait ICDM optimize edilmiş olan tablonun gösterilmesi ...	116
Resim 5.6. Erlang tablosunun sisteme yüklenmesi.....	117
Resim 5.7. ICDM tablosuna göre ana hücre ve harici hücrelerin belirlenmesi	118
Resim 5.8. Frekansı bulunacak olan hücrelerin, harici hücre ve frekansların listesinin yüklenmesi.....	119
Resim 5.9. GA ile çözüme başlanmadan önceki son ayarlamalar	120
Resim 5.10. BCCH planlamada kullanılan kısıtlar ve bunlara ait ceza puanı değerleri.....	125
Resim 5.11. Devretme işlemine ait dosyanın programa yüklenmesi.....	131
Resim 5.12. Devretme işlemi dosyası ve yeni listenin oluşturulması.....	132
Resim 5.13. En iyi bireye ait toplam ceza ve uygunluk değerinin grafikte gösterimi.....	134
Resim 5.14. GA'nın çalıştırılması durdurulduktan sonraki hücrelere ait frekanslar listesinin gösterilmesi.....	135
Resim 5.15. Sonuç frekansların ICM tablosunda gösterimi	136
Resim 5.16. Sonuç frekansların hücre isimleriyle birlikte excel dosyasına aktarılması	137
Resim 5.17. Bilecik merkeze ait 13 tane baz istasyonun frekanslarının bulunması	138
Resim 5.18. Bilecik merkeze ait 13 tane baz istasyonun frekanslarının excelde gösterimi	139

Resim	Sayfa
Resim 5.19. Bilecik iline ait handover kısıtının dahil edildiği toplam baz istasyonlarının frekans atama sonuçları	140
Resim 5.20. Frekansların hücelere göre dağılımının excel sayfasında gösterimi.....	141
Resim 5.21. Bilecik iline ait handover kısıtının dahil edilmediği toplam baz istasyonlarının frekans atama sonuçları	142
Resim 5.22. Frekansların hücelere göre dağılımının excel sayfasında gösterimi...	143

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
C	Taşıyıcı
C_{ij}	i. kromozomdaki ceza puanına sahip j. gen
C_{max}	En son işin tamamlanma süresi
C(si(t))	s _i (t)'nin en fazla tamamlanma zamanı
D_s	Frekans yeniden kullanım uzaklığı
f	Uygunluk işlevi
f(H)	t. nesilde H şeması ile gösterilen dizinin ortalama uygunluk değeri
f(si(t))	s _i (t)'nin uygunluk değeri
H	Örnek şema
K_i	Çok yönlü antenin kullanıldığı i. sıradaki ortak kanal girişim hücrelerinin sayısı
l	Kromozom uzunluğu (gen sayısı)
n	Yığındaki kromozom sayısı
o(H)	Şema derecesi
p_c	Çaprazlama operatörü uygulama olasılığı
pm	Değişim operatörü uygulama olasılığı
q	Ortak kanal girişim azalım faktörü
q_k	k. ortak kanal girişim hücresindeki ortak kanal girişim azalım faktörü
P_k	k. kısıta ait ceza puanı
P(si(t))	t. nesildeki i. dizinin seçilme olasılığı
R	Hücre yarıçapı
si(t)	t. nesildeki i. dizi
t_{kıs}	kısıt sayısı

Simgeler	Açıklama
γ	Gerçek arazi çevresi ile saptanan yayılma yol kayıp eğimi
$\delta(H)$	Şema uzunluğu

Kısaltmalar	Açıklama
AGCH	Access Grant Channel
AOA	Angle of Arrival
AUC	Authentication Center
BCH	Broadcast Channel
BCCH	Broadcast Control Channel
BER	Bit Error Rate
BSC	Base Station Controller
BSIC	Base Station Identity Code
BSS	Base Station Subsystem
BTS	Base Transceiver Station
C / I	Carrier / Interference
CCCH	Common Control Channel
CCI	Co-Channel Interference
CDMA	Code Division Multiple Access
COMINT	Communication Intelligence
DC	Data base correlation methods
DCCH	Dedicated Control Channel
DoD	(United States) Department of Defence
DRX	Discontinuous Reception
DTX	Discontinuous Transmission
EIR	Equipment Identity Register
ELINT	Electronic Intelligence
ESM	Electronic Support Measurement

Kısaltmalar	Açıklama
E-OTD	Enhanced Observed Time Difference Positioning
FCCH	Frequency Correction Channel
ETSI	European Telecommunications Standards Institute
FACCH	Frequency Correction Channel
FDMA	Frequency Division Multiple Access
GA	Genetik Algoritma
GoS	Grade of Service
GSM	Global System for Mobile Communication
HCI	Human Computer Interaction
HLR	Home Location Register
ICDM	Inter Cell Dependency Matrix
IFF	Identification Friend or Foe
IMEI	International Mobile Equipment Identity
IMSI / MSISDN	International Mobile Subscriber Identity / Mobile Subscriber ISDN Number
ISDN	Integrated Services Digital Network
JDL	The U.S. Defense of Department's Joint Directors Laboratories
LA	Location Area
LAC	Location Area Code
LCR	Level Crossing Ratio
LOS	Line Of Sight
MS	Mobile Station
MSC	Mobile Switching Center
MTI	Motion Target Indicator
MUSIC	Multiple Signal Classification
NLOS	Non Line Of Sight
NMR	Nuclear Magnetic Resonance

Kısaltmalar	Açıklama
NPT	Non-Proliferation Treaty
NSS	Network Switching Subsystem
PCH	Paging Channel
PCM	Pulse Code Modulation
PLMN	Public Land Mobile Network
PSTN	Public Switched Telephone Network
OLAP	On Line Analytical Processing
QoS	Quality of Service
RACH	Random Access Channel
RSS	Received Signal Strength
S / N	Sign / Noise
SACCH	Slow Associated Control Channel
SAT	Supervisory Audio Tone
SCH	Synchronization Channel
SDCCH	Stand-alone Dedicated Control Channel
SIM	Subscriber Identity Module
SIR	Signal to Interference Ratio
TCH	Traffic Channel
TDMA	Time Division Multiple Access
TOA	Time of Arrival
TRAU	Transcoder and Rate Adaption Unit
TRU	Transceiver Unit
TRX	Transmitter/receiver
VLR	Visitor Location Register

1. GİRİŞ

Veri füzyonun uygulandığı GSM teknolojisi çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Doğal olarak bu tür bir teknolojinin kurulması, işletmeye alınması, yönetilmesi ve optimize edilmesi büyük bir iştir. Kaynakların kısıtlı olması sebebiyle ağ optimizasyonu gittikçe kritik hale gelen bir ekonomik faktör olmaktadır. Bir GSM ağının en uygun açıdan derecelendirilmesi ağ parametrelerinin, istatistiklerinin, sinyalleşme protokollerinin ve alarmlarının kapsamlı analizini gerektirmektedir.

Dünyadaki her bir GSM operatörünün sınırlı sayıda kullanabildiği frekans sayısı vardır. Ülkemizde GSM 900 MHz bandında 25 MHz verme yönünde ve 25 MHz alma yönünde olmak üzere 125 adet 200 KHz'lik taşıyıcı frekansa ayrılmıştır. Toplam 125 frekans kanalının 124 tanesi etkin olarak kullanılmaktadır.

Frekans sayılarının sınırlı olması durumunda birbirinden farklı belirli sayıda hücrenin kaçınılmaz olarak aynı ya da komşu frekansların kullanılması gerekmektedir. Hücresel sistemlerin tasarımında temel ilke frekansın yeniden kullanım şekilleridir. Frekansın yeniden kullanımı coğrafi olarak farklı alanları kapsayan aynı taşıyıcı frekans üzerinde radyo kanallarının kullanımı olarak tanımlanır. Binlerce abonenin tek bir şehir alanında bulunduğu düşünülürse sistem kapasitesini arttırmak için frekansların yeniden kullanılması problemi ve bununla birlikte sistemin geliştirilmesinin önemi de artmaktadır.

Böylesi bir yapıda her bir hücrede kaç tane frekans kullanılabilir ve bu frekanslar hangi sıklıkla kullanılmalıdır sorusu cevaplandırılmalıdır. Bu sorudan yola çıkarak aynı kanal ve komşu kanal girişimi de göz önüne alınarak kullanılacak frekans tekrar kullanım desenine karar verilmelidir. Bu işlem aynı zamanda uzun vadede kapasitenin gelişimini tahmin etmek için de zorlayıcı bir faktördür. Bu sebeple frekans planlamada şebekenin büyüme şekline göre daha sonra değiştirilebilecek bir planlamanın yapılması gerekmektedir. Her ne kadar şebekenin kuruluşu aşamasında bir hücre deseni oluşturulmaya çalışılsa da uygulama sahasında değişik alanların bir arada olabileceği gibi aynı istasyonda farklı yönlere bakan hücrelerin

yüksekliklerinde farklı olabilmesi mümkündür. Böylelikle şebekenin hem tek düze bir yapıda olmadığı hem de büyümenin bölgelere bağlı olarak lineer olmadığı görülür.

Her bir hücrede bulunan BCCH frekans planlaması ve tekrar kullanım sıklığı tüm sistem performansını ve kapasitesini etkilemektedir. Hücrenin etki alanı, bölgenin koordinatları, yüksekliği ve anten gibi faktörler göz önüne alınarak zorunlu sınırlamalara göre tasarım yapılmalıdır.

Elektromanyetik dalgalar kaynaktan uzaklaştıkça zayıflıyor olsalar bile uzak mesafelere yayın yapabilmektedir. Bu yüzden aynı taşıyıcı frekansı kullanan hücreler arasında girişimin olması kaçınılmazdır. Hücresel sistemlerde girişim gürültüden daha önemlidir. Kalite, hücresel sistemlerde taşıyıcı gücü/girişim gücü oranı ile belirlenmektedir.

Yoğun bir GSM şebekesine olumsuz etki eden girişimlerin en yaygın türü ortak frekans girişimidir. Frekans girişimi bir hücredeki frekans setleri ile diğer komşu hücrelerdeki frekans setlerinin aynı olması durumunda meydana gelir. İlgilenilen taşıyıcı ve diğer herhangi bir taşıyıcı için aynı frekans kullanıldığında diğer taşıyıcıdan alınan sinyalin gücü büyük olursa sistemde kalite sorunu ortaya çıkar.

Komşu kanal frekanslarının, taşıyıcı frekans ile karşılaştırıldıklarında çok güçlü sinyal şiddetine sahip olmalarına izin verilmez. Farklı frekanslarda olmalarına rağmen bu güçlü sinyalin bir kısmı mevcut taşıyıcı ile karışabilir ve kalite problemine sebep olabilir. Taşıyıcı frekansların iyi kanıtlanmış yeniden kullanım modellerine göre yeniden kullanılması ile hem ortak kanal karışması hem de komşu kanal karışması problemleri en aza indirgenmelidir.

Bu çalışmada frekans planlama işlemi mevcut şebekeden alınan gerçek verilere dayanılarak çözüm gerçekleştirilmiştir. Böylesi bir problemde elde edilen verilerin sistemi en iyi ifade edecek şekilde yorumlanması ve karar sisteminin çekirdeğini oluşturması için veri füzyonu işleminin de gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Veri füzyonu esas olarak bir bilgi bütünleştirmesi problemidir. Bu yöntem çoklu algılayıcıdan gelen verilerin birleştirilerek ilgili durum için tek bir algılayıcı kullanımından daha iyi bir analiz yapılmasına ve daha iyi kararların verilmesini sağlamaktadır. Bu tez çalışmasına ait veri füzyonun tanımlaması için “birçok algılayıcıdan gelen verilerin birleştirilip yorumlanarak ilgili sistem veya durum için karar veya kontrol mekanizmasının çekirdeğini oluşturan işlemler kümesidir” şeklinde bir tanımlama yapmakta mümkündür.

Veri füzyonundaki kritik problem, algılayıcılardan gelen verilerin toplanması ya da karmaşık yapılara uygulanmasının dışında problemin kesin sonucunda karmaşık algoritmalar ve paralel işlemciler kullanmak suretiyle analiz edilmeleridir.

Füzyon sistemlerinde tasarım, uyarılma, modelleme, işlem yapma, veri birleştirme, çeşitli sensör verilerinin değerlendirilmesi ve bilgi özümlemesi oldukça zor ve karmaşıktır. Özellikle uygun veri eksik olduğu zaman bu problemler daha zor ve daha karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Böylesi sistemlerde probleminin belirlenmesi, verilerin ayrıştırılmasında veya istenilen özellikte olanların belirlenip seçilmesinde veri madenciliği, veri tabanının oluşturulması, verilerin araştırılması, verinin modelleme için gerekli hazırlıkların yapılması, bir modelin oluşturulması ve bu modelin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Frekans planlama problemi NP (Nonpolynomially Bounded, polinomal olmayan) problemi olarak nitelendirilmelidir. Problemin zorluk derecesinin bilinmesi problemin çözümü için en iyi yöntemin uygulanmasını sağlar. Eğer bir denklem ya da sistem polinomal değilse çözümlenmesi zor sistemdir. NP problemler için kısa sürede gerçek çözümü bulan yöntemler mevcut değildir. Bu nedenle NP problemleri için gerçek çözüme en yakın sonucu bulmak amacıyla yaklaşık çözüm algoritmaları geliştirilmiştir. Yaklaşık çözüm algoritmaları, problemin gerçek olmayan ancak geçerli bir çözümü kısa sürede bulabilirler. Pratikte karşılaşılan problemlerin çoğu için kesin çözümden ziyade kısa sürede yaklaşık bir çözümün bulunması istenmektedir.

Frekans planlama probleminde belirli şartlar altında belirli kısıtların sağlanması gerektiğinden kısıtlı en iyileme problemi sınıfına girmektedir. Kısıtlı eniyileme probleminin çözümünde belirli matematiksel ifadeler veya kurallara dayanan algoritmalar kullanılır. Bazı algoritmalar gerçek çözümü bulmayı garanti edemezler. Bunun yerine en iyiye yakın çözümü garanti eden algoritmalar kullanılır.

Bu tezde ortaya konan problemin çözümünde genetik algoritma kullanılmıştır. GA sezgisel bir metot olduğundan dolayı verilen bir problem için bilinen metotlarla çözülemeyen ya da çözüm zamanı problemin büyüklüğü ile üstel olarak artan problemlerde kesin sonuca çok yakın çözümler verebilir. GA fonksiyon eniyilemesi, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücresel üretim gibi alanlarda başarılı uygulama alanları bulunmaktadır. GA araştırmalarının önemli bir bölümü fonksiyon eniyilemesi ile ilgilidir. GA geleneksel eniyileme tekniklerine göre zor, süresiz ve gürültü içeren fonksiyonları çözümede daha etkindirler.

Türkiyede, GSM 900 MHz bandında yer alan 10-19 ve 81-120 aralığındaki frekanslar Turkcell'in kullanımına verilmiştir. Türkiye gibi bir ülkenin sadece 50 adet frekans ile bütün her yerine yüzde yüz kalitede hizmet verilmesi imkânsızdır. Bu duruma çözüm sağlamak için operatörler frekans kullanımı ve hangi sıklıkla kullanacaklarına karar vermek için çeşitli hesaplamalar ve yapılar kullanmaktadır. *Bu doktora tez çalışmasında Turkcell'e ait GSM şebekesi kullanılmış ve gerekli teknik bilgi ve alt yapı Turkcell'den sağlanmıştır. Turkcell'e ait baz istasyonlarının BCCH frekans planlaması veri füzyonu işlemi ile birlikte genetik algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir.*

Bu tezde bölüm 2'de veri füzyonu işlemi ayrıntılı olarak tanımlanmış ve hangi problemlerde veri füzyonunun nasıl gerçekleştirileceği belirtilmiştir. Ayrıca bu çalışmada neden veri füzyonu işleminin uygulanması gerektiği anlatılmıştır. Bölüm 3'de GSM sistemi anlatılmış ve belli başlı temel sorunları ortaya konmuştur. GSM sisteminde temel problemlerinden biri olan frekans planlamanın sağlıklı ve doğru yapılmasının neden şart olduğu belirtilmiştir. Bölüm 4'de frekans planlamanın NP problem olarak nitelendirilmesinden dolayı bu tip eniyileme problemlerinde başarılı

sonuçlar ortaya koyan sezgisel bir arama tekniği olan genetik algoritma anlatılmıştır. Bölüm 5’de Turkcell’den alınan teknik ve alt yapı desteği sayesinde Bilecik iline ait BCCH frekans planlama işlemi ve zm gerçekleştirilmiştir. Bu zm değerleri gerçek şebeke sistemine uygulanarak genetik algoritma ile veri füzyonu işleminin sağlıklı bir şekilde uygulanmasıyla frekans planlama işleminin başarılı olarak gerçekleştirildiği gösterilmiştir. Bölüm 6’da bu doktora tez çalışmasına dair sonuçlar ve değerlendirmeler belirtilmiştir.

2. VERİ FÜZYONU NEDİR

Veri füzyonu (data fusion) kelimesi literatürde çoklu algılayıcı füzyon (multi-sensor fusion), çoklu algılayıcı veri füzyonu (multi-sensor data fusion), algılayıcı füzyon (sensor fusion), algılayıcı veri füzyonu (sensor data fusion), bilgi füzyonu (information fusion), iz birleştirme (combination of evidence), gözlem sentezi (synthesis of observation) gibi tanımlamaları da içermektedir [1-6]. Ayrıca kaynaşım (merging), birleşim (combining), sinerji (synergy), tamamlama ve toplama (integration and aggregation), algılayıcı yönetimi (sensor management [7]), algılayıcı koordinasyonu (sensor coordination [8]), algılayıcı planlaması ve kontrolü (sensor planning and control [9]) gibi ifadeler de füzyon ile aynı kavramı belirtmektedir.

Veri füzyonu esas olarak bir bilgi bütünleştirilmesi problemi. Bu yöntem çoklu algılayıcıdan gelen verilerin birleştirilerek ilgili durum için tek bir algılayıcı kullanımından daha iyi bir analiz yapılmasına ve daha iyi kararların verilmesini sağlamaktadır.

Klein'e (1999) göre veri füzyonu; çok seviyeli, çok yüzlü bir yöntem olarak belirtilen veri birleştirme işi, otomatik bulma, kurma, değişkenleri birbirleriyle bağlama, bir kanıya varma ve verinin farklı kaynaklardan gelen bilgilerle birleşmesi işini yapan bir işlemler sürecidir [10]. Weisstein'e (2003) göre; iki veya daha fazla algılayıcılarla ya da iki veya daha fazla biçimlerdeki bir algılayıcının çalışmasıyla elde edilen veriden arzu edilen bilgiyi çıkarma ve birleştirme olarak da belirtilir [11]. Hall ve arkadaşlarına (1997,2004) göre; fiziksel olaylar, hareketler veya durumlar hakkında sonuç çıkarmak için mevcut teknolojiler doğrultusunda çoklu algılayıcılardaki bilgilerin birleşimidir [4,12]. Robotik uygulama açısından Richardson ve Marsh'a (1988) göre; gözlenen sistemin kazancının çoklu algılayıcılardan gelen veriler ile en iyi durum vektörlerinin oluşturulmasıyla hesaplanmasıdır [13]. Parametrelerin tam olarak belirlenmesinde McKendall ve Mintz'e (1992) göre; algılayıcılardan gelen çoklu ölçüm değerlerinin birleştirilerek parametrelerin tek bir ölçüm modelinin oluşturulması problemi [14]. Luo ve Kay'a (1995) göre; farklı kaynaklardaki bilgilerin birleştirilerek her durumda sistemi temsil edecek tek bir düzenin

oluşturulması işlemidir [5]. Goodman ve arkadaşlarına (1997) göre; farklı hedeflerin oluşturduğu bilinmeyen sayıdaki ve bilinmeyen nesnelere izlerinin birleştirilerek yerlerinin ve bilgilerinin elde edilmesidir [6].

Bu tez çalışmasının temeli olan veri füzyonunu “birçok algılayıcıdan gelen verilerin birleştirilip yorumlanarak ilgili sistem veya durum için karar veya kontrol mekanizmasının çekirdeğini oluşturan işlemler kümesidir” şeklinde bir tanımlama yapmakta mümkündür.

Veri füzyonu çoklu algılayıcılardan gelen verileri bütünleştirmek sureti ile mevcut durumu daha iyi analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Burada daha iyi teriminden kasıt; daha hassas, daha güvenilir ve daha hızlı olunması demektir. Daha hassas olmaktan kasıt örneğin askeri uygulama alanında bir tankın sadece tank olmayıp bir T72 model olduğunun belirlenmesidir. Daha güvenilir olmaktan kasıt belirsizliğin azaltılmasıdır. Örneğin hedefin 0,70 ve 0,80 güvenlik seviyesi dört araçtan biri olduğunu söylemek yerine 0,95 güvenlik seviyesi ile iki araçtan biri olduğunu söyleyebilmektedir. En son olarak ta hızlı analiz yani sürenin kısa olması çoklu hedeflerle uğraşırken önem kazanmaktadır.

Veri füzyonu canlıların her zaman yaptıkları ama farkında olmadıkları bir işlemdir. İnsanlar ve hayvanlar çeşitli duyularını kullanarak yeteneklerini geliştirir ve bunları hayatta kalmak için kullanır. Örneğin sadece görme ve dokunma duyularına bağlı olarak bir maddenin yenilebilirliğine değer biçmek mümkün olmayabilir. Fakat yenilebilirliğin değeri görme, dokunma, koklama ve tatmanın bir kombinasyonu ile sağlanabilir. Benzer olarak göremeyen biri için olması yakın tehlikelerin uyarısını işitme duyusu sağlayabilir. Bu nedenle çok algılayıcı veri füzyonu tehditlerin kimliğinin ve çevrenin daha kesin değerlendirilmesini yapmak için yani yaşama şanslarını artırmak için doğal olarak insan ve hayvan tarafından istek dışı olarak da olsa yapılmaktadır [4].

Çok algılayıcı veri füzyonu geliştirilmeye çalışılan yeni bir konudur. Algılayıcı birleşim teknolojisi birçok uygulamalarda kullanılmaktadır. Görünüşte yapılan her bir uygulama birbirinden farklı birer teknik istemektedir. Bu alanda yapılan son incelemeler teorik olarak genel yapıyı ortaya koymasına rağmen bu alanda halen detaylı çalışmalar devam etmektedir [4,12,15,16]. Son yıllarda çoklu algılayıcı veri füzyonu hem askeri hem de askeri olmayan uygulamalarda önemli bir yere sahip olmaktadır. Veri füzyon teknikleri bir tek algılayıcı kullanılarak elde edilen sonuçlardan daha da geliştirilmiş hassasiyet elde etmek için çeşitli algılayıcılardan aldığı veriyi ve ortak olan veri tabanından aldığı ilgili bilgileri birleştirmektedir [7,12,17,18].

Algılayıcılar aynı veya farklı tipte olabilmektedir. Algılayıcı tipleri arasında radar, termal, akustik, lazer, optik veya spektrografik analiz veya kimyasal tespit algılayıcıları olabilir. Farklı tip algılayıcıların kendilerine has güçlü ve zayıf noktaları bulunmaktadır. Dolayısıyla çoklu algılayıcılarla yapılan veri füzyonu bir algılayıcı gücünün diğer algılayıcının zayıf tarafını karşılaması yüzünden tek algılayıcı uygulamalara göre daha iyi sonuç vermektedir.

Veri füzyonundaki kritik problem algılayıcılardan gelen verilerin toplanması ya da karmaşık yapılara uygulanmasının dışında problemin kesin sonucunda karmaşık algoritmalar ve paralel işlemciler kullanmak suretiyle analiz edilmeleridir. Buradaki diğer bir önemli husus ise ilk başta işlenen algılayıcı verilerinin karar sistemine uygun bir zaman içinde uygun bir bilgi biçiminde verilmesidir.

Füzyon işleminin gerçekleştirilmesinde bir algılayıcı kullanmaktansa çok algılayıcı kullanarak aşağıdaki bir çok avantaj sağlanabilir.

- Sağlamlık ve güvenilirlik; bir veya birkaç bilgi eksik veya bozuk olsa bile sistem kullanıma hazırdır.
- Kapsam genişletilebilir.

- Sistem hassaslığındaki arttırma ve ortaya çıkan bilginin yüksek kalitede olması ve veri alanındaki boyutluluk artırılır.
- Belirsizlik azaltılır. Daha fazla tamamlanmış kullanılabilir bilgi çeşitli hipotezler arasından iyi olanların belirlenmesini sağlar.
- Veri birleştirme işlemi sırasında bilgi kalitesini izleme kabiliyeti sağladığı gibi algılayıcılardan gelen sinyallerin birleşiminde ayarlamaya da izin verir.
- Toplam sonuçlarda bir ilerleme olması için bağımsız veya gereksiz veri sonuçları ek olarak birleşmeye katılabilir [19,20].

2.1. Veri Füzyon İşlemi

Yüzeysel olarak bakıldığında veri füzyonu düşüncesi açık ve basit görülebilir ama birleştirme sistemlerinin tasarım ve uyarlaması aşırı derecede karmaşık görevlerdir. Modelleme yapmak, işlem yapma, veri birleştirme, çeşitli sensör verilerinin değerlendirilmesi ve bilgi özümlemesi oldukça zor ve karmaşıktır. Özellikle uygun veri eksik olduğu zaman bu problemler daha zor ve daha karmaşık bir yapıya dönüşmektedir. Bu güçlüklerle rağmen araştırma ve geliştirme çabaları önemli yüksek sistem başarısı için büyük hızla devam etmektedir. Çoklu sensör veri füzyon işlemlerinde asıl amaç bilgi sistemlerinden gelen verilerin doğru bir durum değerlendirmesini gerçekleştirmektir.

Veri füzyon fikri yeni olmamasına rağmen yeni algılayıcıların ortaya çıkması, teknolojinin ilerlemesi ve gelişen donanımın düzelmesi gerçek zamanlı veri füzyonunun artarak mümkün kılınmasını sağlamaktadır [21,22]. 1970'lerin başlarından itibaren bilgisayar alanındaki gelişmeler yapay zekâ programlarına uygulama alanları sağlamıştır [23]. Hesaplama ve algılamadaki yeni gelişmeler insanların ve hayvanların veri füzyon kabiliyetlerinin donanım ve yazılımda bir benzerliğinin oluşturulmasını sağlamıştır. Son zamanlarda veri füzyon yöntemleri otomatik tanımlı hedefleri izlemek için yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Amerika Savunma Dairesi (DoD, U.S. Department of Defence) tarafından yapılan önemli

harcamalar sayesinde veri füzyon teknikleri ilgili tekniklerin toplamından daha da hızlı geliştirilmiştir.

Gerçek mühendislik kuralları, belirli bir standartlaştırılmış özel anlamlı terimlerle, güçlü matematiksel modellemelerin toplamıyla ve kabul edilen sistem tasarım ilkeleriyle kuvvetlendirilmiştir [7,12,18].

Veri füzyonunun en temel karakteristik özelliği gözlenen enerji veya parametrelerle karar veya sonuç arasında konum, karakteristik, varlığın tanımı, çevrenin ve ilgili diğer varlıkların gözlenen yorumlarıyla ilgili hiyerarşik bir yapıyı içerir. Örneğin bir hedef izleme uygulamasında algılayıcılardan gelen veriler açılal yönün, mesafenin ve mesafe oranının hesabında kullanılabilceği gibi hedefin durumu ve hızının da hesabında kullanılabilir. Benzer olarak radar çapraz bölgesi, kızılötesi tayf ve görsel şekil gibi hedef niteliklerinin gözlemleri hedefi sınıflara ayırmak için kullanılmaktadır. Son olarak hedefin hareketini ve gözlemciye göre hedefin bağıl hareketini anlamak hedefin amacının anlaşılmasında önemlidir.

Çoklu algılayıcılı veri füzyon uygulamaları geniş bir alana yayılmıştır. Askeri uygulamalarda; otomatik hedef tanıma (akıllı silahlar), insansız taşıtlara rehberlik, uzaktan algılama, dost-düşman-tarafsız- tanıma (IFFN) sistemleri gibi savaş alanı gözetimi ve otomatik tehlike tanıma sistemlerini içine alır [24]. Askeri olmayan uygulamalarda, imalat işleminin kontrol edilmesi, karmaşık makineciliğin temel kondisyon bakımı, robotik ve tıbbi uygulamaları içine alır [25]. Tarihsel olarak veri füzyon metotları öncelikle askeri uygulamalar için geliştirilmiştir. Bununla beraber son zamanlarda bu metotlar sivil uygulamalarda da uygulanmaktadır ve iki alan arasında bilgi paylaşımı gerçekleştirilmektedir [26]. Veri füzyonun uygulanması ve tekniklerinin görüldüğü ve ortak çalışmaların yapıldığı birçok konferans düzenlenmektedir. Veri birleştirme teknikleri, dijital sinyal işlemini, istatistiksel tahmini, kontrol teorisini, yapay zekâyı ve klasik sayısal metotları içine alan daha geleneksel prensiplerin değişik uygulanış biçimlerinden çıkarılmıştır [27,28].

2.2. Algılayıcı Birleşimine Mühendislik Bakış Açıları

Bir algılayıcı diğer algılayıcıların çalışmadığı durumda hatalı değerler üretmesine rağmen sistemin devamını sağlayabilir. Algılayıcı sayısındaki artış ise belirsizliği azaltarak sistem performansının iyileşmesine ve güvenin artmasını sağlar. Varshney yaptığı çalışmalarda sensör sayısındaki artışın olası sistem hatalarını azalttığını göstermiştir [29]. Kesin bir sonuç vermese bile fazla sayıdaki algılayıcının kullanımı bir olay hakkındaki hipotezin şüphesini azaltır. Bununla birlikte en yeni uygulamalardan biri “akıllı” sistem yaratmak için eski teknolojilerin yeni olanlarıyla birleştirilmesi gerekir.

Tekli algılayıcı sistemlerde bir hedeften veya ilgili nesneyi tanımlamak için tek bir algılayıcıdan alınan veriler veya görüntüler analiz edilir. Bu görüntü doğrudan bir hedefin mevcut olup olmadığını göstermez. Bu sadece özel tipteki nesnelerin uyup uymadığını belirlemek için analiz edilmesi gereken bir imza veya özel bir işaret verir. Eğer uyum iyi ise bir hedefin mevcut olduğu sonucuna varılabilir. Eğer uyum yoksa o zamanda hedefin mevcut olmadığı sonucu çıkarılır (gerçekte uyum analiz sadece nesnenin tipine değil nesnenin davranışı ve eylem yaptığı çevreye göre yapılır). Uyum ne kadar iyi ise hedefin mevcut olma olasılığı da o kadar fazladır.

Çoklu algılayıcı sistemlerde birçok hedef farklı tipteki algılayıcılarla tespit edilebilecek şekilde çoklu özel işaretler (imzalar) oluşturan hareketlere sahiptir. Örneğin hareket halindeki bir tank kızıl ötesi algılayıcıların saptadığı optik ve termal görüntü sağlar. Ayrıca sismik olarak akustik bir imzada yaratmaktadır. Uygun algılayıcılarla bu çeşitli işaretler elde edilip analiz edilerek hedefin tipi ve davranışı tespit edilebilir. Örneğin tank gibi büyük bir hedef taret, topu, paletleri ve motoru gibi ufak detaylara ayrılır. Bu detaylardan her biri farklı algılayıcılar için potansiyel bir sinyal üreticidir. Veri füzyonu tüm bu sinyallerin işlenip bütünleştirilerek hedefin ne olduğunun tanımlanmasıdır. Bu şekilde hem hassasiyet (bu bir tanktır) hem de kesinlik (bu bir T72 tankıdır) artar hem de daha hızlı karar verme sağlanabilir.

2.2.1. Algılayıcı tipleri

Çoklu algılayıcılar farklı tipte (görüntüleme, SAR, kızıl ötesi, akustik, kimyasal vs), veya aynı tipte ancak farklı yerlerde olan veya aynı yerde olup farklı zamanda veri alan algılayıcılardan oluşabilir. Aynı tipten oluşmuş çoklu algılayıcılar kapsama alanını artırıp olayların daha geniş bir görüntüsünü verebilir. Farklı tipten oluşmuş olan çoklu algılayıcılar ise daha hassas ve tam bir görüntü sağlayabilir.

Bir algılayıcı sıcaklık, basınç, ışık/enerji, ivme vs. gibi fiziksel bir olayı algılayarak bunu kolaylıkla gösterebilecek ve aktarılacak bir sinyal üretebilir. Bir kızıl ötesi algılayıcı belli bir nesnenin bir insan mı yoksa bir kamyon mu olduğunu gösteremez. Algılayıcının bildirdiği yegâne şey belli bir hacim içindeki sıcaklık okumalarıdır. Dolayısıyla algılayıcının gördüğü şeyin ne olduğunu belirlemek için ek verilere ihtiyaç vardır. Genel olarak algılayıcı, işlemci ve depolayıcı aynı yapı içine konulabilir ancak yine de bunların üç farklı fonksiyonu vardır. Şu anda ki yönelim “akıllı algılayıcılar” oluşturmak için algılayıcıya belli bir miktar işleme kapasitesi katmaktır. Bu özellikler içinde teşhis, kalibrasyon ve programlama yeteneği verilebilir.

2.3. Çevrenin Üç Şekli

Genel olarak veri füzyonu tasarlanmış dünya, gerçek dünya ve düşman dünya olmak üzere üç tip çevreye uygulanır.

Tasarlanmış Dünya; takım tezgâhı veya makine parçaları gibi tasarlanmış dünyada neler olduğu ve nasıl çalışıldığı hakkında tüm bilgiler bilinmektedir. Daha da ötesi bu dünyadaki çevre ve olup bitenler tam olarak kontrol edilebilmektedir. *Gerçek Dünya;* çevresel izleme gibi gerçek dünya durumları çok daha karmaşıktır. Kaydedilen fiziksel olay hakkında kısmi olarak bilgi bilinir ve üzerinde çok az kontrol edilebilirlik bulunmaktadır. Varlıkların hareketleri gerçek dünyayı etkilemesine rağmen gerçekte onu kontrol etmek çok zordur. *Düşman Dünya;* savunma sistemleri genellikle düşman bir dünya için yapılmaktadır. Düşman dünya belli açılardan

gerçek ve tasarlanmış dünyaya benzer. Bazı kısımları anlayıp kontrol edilebilir ancak bazı kısımlar üzerinde ise çok az anlama ve kontrol edilebilirlik vardır. Buradaki anahtar husus düşman dünyada hareketlere düşmanca karşılık veren bir rakip olmasıdır. Düşman dünyada rakip algılayıcıları kilitlemek ve sahte sinyaller oluşturmak suretiyle nesnelere yanlış tanımlanmasına veya yerlerinin hatalı olarak belirlenmesine çalışılır.

2.4. Veri Füzyonuna Yönelim

Algılayıcılarla yapılan geleneksel çalışmalarda tek bir algılayıcıdan gelen veriler eşleştirilir. Veri füzyonun da ise farklı tipte veya farklı yerlerde bulunan çoklu algılayıcılardan gelen çoklu veriler eşleştirilir. Veri eşleştirme analizi veya hedef tipini tanımlamak için Bayesian, Dempster-Shafer veya oylama algoritmaları gibi bir takım özel geliştirilmiş algoritmalarının kullanımı gerekmektedir.

2.4.1. Probleme yaklaşım

Genel olarak veri füzyonu bilgi bütünleştirme problemleri gibi geniş kapsamlı bir problem sınıfını temsil eder. Bu veriler genelde algılayıcılardan gelir ancak bir kere veri girişi yapıldı mı kaynağın artık önemi yoktur. Bu tip problem birçok alanda mevcuttur. Bunlar içinde, NPT (Genişleme anlaşması, Non-Proliferation Treaty) teyidi, konvansiyonel silahlar, sağlık (hasta takibi gibi), üretim işlem kontrolü, uyarlamalı kontrol ve çevre izlemesi sayılabilir.

Daha ileri analiz yapmadan bu alanların bağımsız aynı zamanda da birbiri ile ilişkili kısımları olacağı gayet açıktır. Hangisine vurgulama yapılacağını seçmek için bunların bir araya toplanıp öncelik verilmesini sağlayacak boyutlara ihtiyaç vardır. Bu boyutlar şunlar olabilir; gerçek zaman kontrolü, veri tabanı karakteristikleri, belirsizlik derecesi, hedef pazarların karakteristikleri, portföy analizi.

Gerçek zaman kontrolü; gerçek zamanlı veri füzyonu zaman kısıtlaması altında çalışıldığından dolayı daha karmaşıktır. Bu da sınırlı zaman içinde yapılabilecek

işlem miktarını sınırlamakta ve daha güçlü bir sistem gerektirmektedir. Zamanın önemli olup olmaması basit olarak sistemin çevreyi kontrol etmeye mi çalışıldığı veya daha sonra rapor edilecek şekilde ne olup bittiğini izleme mi yaptığını bağlıdır. Eğer bir savaş alanı veya üretim izleniyorsa gerçek zamanlı veri füzyonu gereklidir. Diğer taraftan sadece veri toplanıp bunlar daha sonra raporlanıyorsa (örneğin çevresel kirlenmeyi veya trafik akışı izleniyorsa) bu gerekli olmaz. Bazı durumlarda da ham veriler depolanarak hem veri füzyonu hem de veri analizi daha sonra yapılabilir. Diğer durumlarda ise veriler toplanarak veri füzyonu yapıldıktan sonra işlenmiş veriler daha sonra analiz edilmek üzere saklanabilir.

Veritabanı Karakteristikleri; uygulama alanı ile değişen iki tane temel veri tabanı karakteristiği vardır; boyut ve karmaşıklık. Ancak bazen fazla veriden dolayı boyut ve karmaşıklık düzeyleri uygulama alanını net olarak tanımlayamaz. Veritabanının boyutu yapılan ölçüm sayısı ile değişir ki bu da algılayıcı sayısı ve örnekleme hızına bağlıdır. Algılayıcı sayısı kapsanmak istenen alan ve istenilen hassasiyete göre değişir. Örnekleme hızı istenilen hassasiyete, çevrenin veya ölçülen karakteristiğin değişim hızına ve bu değişikliklerin tahmin edilebilirliğine bağlıdır. Karmaşıklık, veritabanındaki nesne sayısına ve bunlar arasındaki ilişki sayısına bağlıdır. Büyüklük ve karmaşıklık gerekli olan iki tane bağımsız boyuttur. Büyüklük sistemin depolama kapasitesini, karmaşıklıkta işleme kapasitesini zorlaştırmaktadır [30].

Belirsizlik derecesi; belirsizlik derecesi, veri füzyonun ana amacının belirsizlik derecesinin düşürülmesi ve birçok durumda buna karşı nasıl yanıt verileceğinin belirlenmesi açısından önemlidir. Bu belirsizlik gerçek ölçümlerden ortaya çıkan durumda bu durumun nasıl değişebileceği veya bu duruma nasıl yanıt verileceği hususlarında ortaya çıkabilir. Veri füzyonu bu üç tip belirsizlikte gelişme sağlayabilir ki bu da durumun gerçek zaman kontrollü olması halinde nasıl yanıt verileceği hususunda karar verilmesinde yardımcı olur.

Çoklu algılayıcı kullanarak bir algılayıcıda problem olduğu ve bu algılayıcının diğerleri ile uyumsuz olan okumalar yaptığı anlaşılabilir. Dolayısıyla daha fazla algılayıcıdan gelen ek bilgi mevcut durumla ilgili belirsizliği azaltır. Çünkü bir

algılayıcının zayıflığı diğerinin güçlü yönü ile giderilebilir. Ancak bunu yapmak için çok sayıda algılayıcıdan gelen tek bir hatalı işareti belirlemek gerekir ki bu tek bir algılayıcıdan gelen işareti yorumlamadan daha karmaşık bir işlemdir.

Hedef pazarların karakteristikleri; veri füzyonu için bir pazarın veya alanın çekiciliğini etkileyen birkaç karakteristik unsur vardır. İlk olarak pazarın büyüklüğü ve büyüme hızı önemlidir. Ancak kaynaklar ve pazara olan finans seviyesi de göz ardı edilemez. İkinci olarak pazarın yeni veri füzyonu teknolojisini kabul etmesi de önemlidir. Diğer hususların aynı olması durumunda yeni teknolojiyi kabul eden pazar buna karşı çıkan pazardan çok daha fazla olacaktır.

Portföy analizi; portföy analizi birbirini destekleyen veri füzyonu çalışmalarının bir araya kümelmesi açısından önemlidir. Bu yüzden çeşitli veri füzyonu alanları arasındaki benzerlikleri anlamak önemlidir. Belli bir alana çok dar bir şekilde odaklanmak alanlar arasındaki potansiyel sinerjiyi kaçırma riskini de beraberinde getirmektedir.

2.5. Metodoloji

Veri füzyonu çalışmasını desteklemek için kullanılan metodoloji doğal lisan yönelimli bilgi modellemesidir. Kullanıcı bir problemi veya bir seri şartı tanımladığı veya açıkladığından dolayı (sözlü veya yazılı olarak) doğal lisan ifadeleri bir formal bilgi modelinde haritalanır.

Şartların veya uygulamaların bütünleştirilmesi bu formal bilgi modellerini birleştirmek suretiyle yapılır. Geliştirme süreci sırasında bilgi modelinin geçerliliği ve tutarlılığı kullanıcılar tarafından kontrol edilir ve daha sonraki veritabanı tasarımı uygulaması için gruplanır.

Bilgi modellemesi, istenilen bilginin tam olarak tanımlanmasını sağlar. Bu bilgi hedef veya özellik karakteristikleri, algılayıcı veya özel işaret karakteristikleri, çeşitli tipteki hedefleri tanımlayan şablon, şekil veya çeşitli mahallerde bulunan özel

algılayıcılardan alınan işaretlerle ilgili olabilir. Bilgi modellerinin ve alınan verilerin büyük bir kısmı tekrar etkin bir şekilde kullanılabilir. Bazı durumlarda bu yeniden kullanım özel uygulama alanlarına yarar sağlayabilir. Diğer durumlarda ise birçok alanı etkileyen daha geniş bir sinerji ortaya çıkmaktadır [31].

2.6. Veri Füzyonu Bilgi Modelleri

Genellikle detaylı veri füzyonu modelleri tanklar, uçaklar, robotik kollar ve takım tezgâhları gibi özel uygulama alanlarına odaklanmaktadır. Bir açıdan bu modeller iyidir çünkü bunlar özel nitelikli nesnelere ve kullanıcıların bildikleri ve anladıkları ilişkilere odaklanır. Ancak belli bir seviyeye odaklanmak başka uygulama alanlarına bakmakla ortaya çıkacak sinerjinin kaybolmasına da sebep olabilir. Aşağıda önerilen bilgi modelleri bu genel modeli özel alanlara uygular. Basit genel bir bilgi modeli beş tane nesne tipine sahiptir; hedefler, davranışlar, çevreler, özel işaretler ve algılayıcılar. Temel hususlar ise şu şekildedir:

- Bir hedef bir veya daha fazla çevre içinde bulunabilir.
- Bir hedef bir veya daha fazla özelliğe sahip olabilir.
- Bir hedef bir veya daha fazla davranış gösterebilir.
- Bir çevre içinde bir davranış gösteren bir hedef özel işaret veya imza oluşturur.
- Bir davranışa sebep olan özellik özel işaret veya imza oluşturur
- Bir özel işaret veya imza bir veya daha fazla algılayıcı tarafından tespit edilebilir.
- Bir algılayıcı bir veya daha fazla özel işareti veya imzayı tespit edebilir.

Örneğin, tank veya roket taşıyıcısı gibi bir hedef çölde, bataklıkta veya düz bir arazide bulunabilir. Çevre kuru, yağmurlu, karlı veya sisli olabilir. Belli tip hedefler belli çevrelerde operasyon yapamayabilir. Hedefler hareket etme, tank taretini hareket ettirme, ateş etme, bir roketi harekete geçirme veya roketi ateşleme gibi davranışlarda bulunabilir. Burada da belli davranışlar ancak belli hedeflere uyar. Bir çevrede belli bir davranışta bulunan bir hedef özel bir işaret veya imza oluşturur. Bir

roket atar bir roketi ateşlediği zaman görüntüsel, radar, termal, akustik ve sismik olarak çok sayıda özel işaret veya imza meydana getirir. Ancak bu imzaların oluşması bulunulan çevreye bağlıdır.

2.7. Veri Füzyonunun Uygulanması

Askeri alanda ordu, veri füzyon araştırmalarında son derece hızlı bir şekilde uygulamaya yönelik yeni modeller yaratmaya çalışmaktadır. Gelişen teknoloji ile birlikte ordu da bu son teknolojilerin öncelikli kullanıcısı ve teknoloji ile birlikte veri füzyonu yapılarının ve algoritmalarının gelişmesinde öncülük yapmaktadır.

Askeri savunma sistemleri için veri füzyonunun nitel avantajları pek çok kişi tarafından bahsedilmektedir. Waltz (2004), taktik olarak geliştirilen askeri sistemlere olan şu faydalarından bahseder; güçlü işlemsel performans, genişletilmiş kamuflaj, kesinleştirilmiş ve arttırılmış güven, azaltılmış belirsizlik, iyileştirilmiş hedef buluşu, arttırılmış uzaysal kararlılık, iyileştirilmiş sistem güvenilirliğidir. Waltz (1992), Monte Carlo nümerik çalışmalarını havadan havaya nişan ve düzeltilen işbiriksiz hedef tanıma için veri füzyonunu kullanmıştır [12,17].

Ölçümlerin gürültülü veri içermesi durumunda hedefin durumu ve hızının tespiti, klasik istatistiksel tahmin problemi olarak değerlendirilmektedir [4]. Modern teknikler, Kalman filtresi ve onun değişik modelleri gibi sıralı tahmin tekniklerinin kullanımını içermektedir. Hedef tanımını ortaya koymak için gözlenen hedef nitelikleri ve belirtilmiş benzerlikler arasında bir dönüşüm meydana getirilmelidir. Benzerlik tahmini için bir araya getirme algoritmaları, sinir ağları veya Bayesian çıkarımı, Dempster-Shafer metodu, ağırlıklı karar teknikleri gibi karara bağlı metotlara dayanan modeller gerekmektedir [32,33].

Çeşitli çoklu algılayıcılar ve füzyon işlemlerini kullanarak iyileştirilmiş sistemlerin bu nitel kavramlarına ve nicel hesaplamalarına rağmen etkili ve verimli bir veri füzyon olgusunun gerçekleştirilmesi zor ve karmaşık olmaktadır. Uygulama alanlarında veri füzyonu gerçekten bir algılayıcı grubunda en uygun tek bir

algılayıcının kullanımıyla elde edilen sonuçlardan daha kötü sonuçlar da elde edilebilir. Bu da yanlış veri (özellikle veri belirsizlikleri veya tutarsızlıkları bilinmiyorsa) veri füzyonunun birleşiminden yanlış sonuçların üretilmesine neden olur. Belirli bir uygulama için veri füzyon işleminin uygulanmasında dikkat edilmesi gereken önemli noktalar şunlardır:

- Belirlenmiş olan uygulama için hangi tür algoritmaların ve tekniklerin uygun ve en iyi yöntem olduğunun kararının verilmesi,
- Ne tür veri füzyon mimarisinin kullanılacağına kararının verilmesi,
- Her bir bağımsız algılayıcıdan gelen verilerden maksimum oranda istenen verileri almak için hangi işlemler gerekir,
- Veri füzyon işlemiyle hangi hassasiyetle gerçeğe uygun verilere ulaşılabilir,
- Dinamik yapıda füzyon işlemi nasıl en iyilenebilir (optimize),
- Verinin elde edildiği ortam toplam çalışmayı nasıl etkiler,
- Çok algılayıcılı veri füzyon hangi şartlar altında sistemi düzeltir.

2.8. Veri Füzyonu İşleminin Genel Evreleri

Birleştirme işlemi, bilgi ve birleştirme ürününde ki soyutlamanın, istenilen işlemin bağımsız olarak genel bölümlerinin ard arda gelmesiyle bileşenlerine ayrılabilir [34].

- Veri içerisindeki her bir özellik, algoritma birleştirilmesi için en uygun olan standart referans sistemine dönüştürülür.
- Bilgi tabanına uyumu denetlenir. Sıraya konmuş veri sembolleri üzerinde anlamsal bir kontrol yapılır ve birleştirme için veri seçimi sağlanır.
- Onaylanmış veri ve tasarımın bir parçası için bir veya daha fazla benzer ölçümler kabul görür. Benzer bir ölçüm sembollerinin bir veya daha fazlasının temeli üzerinde iki bağımsız varlık arasındaki benzerliğin derecesine karar verilir.
- Birleştirme adımı, eğer bütün karşılıklı ölçümler arasında yeteri kadar benzerlik varsa bunu belirlemek için çeşitli ilişkilerin ve başlangıç değerlerinin

toplanmasını yöneten bir karara varılır. Başlangıç değerleri için bu ilişkilerin nispi katkılarına ek bir katkı gerekebilir.

- Birleşme geçerli olan verideki nitelik değerlerini kullanan bir modeldir.

2.9. Veri Füzyonu Modelleri

Veri birleştirme modelleri şunlardır:

- Fiziksel modeller,
- Özellik tabanlı sonuç çıkarma teknikleri (parametrik ve teorik bilgi),
- Kavramsal temelli modeller,

Fiziksel modeller kolaylıkla ve doğru olarak gözlemlenebilen veya hesaplanabilen nesne ayrımını kopyalarlar. Fiziksel modeller, modellenmiş eşlemeyle ya da hedef işaretlerinin düzeltilmesiyle bir nesnenin teşhis edilmesini ve sınıflandırmanın tahmin edilmesini gerçekleştirir. Bu kategorideki teknikler simülasyon, tahmin (Kalman filtresi, maksimum olasılık, en az kareler yaklaşımı) ve dizimsel metotları içerir.

Özellik tabanlı sonuç çıkarma teknikleri, sınıflandırmada veya benzerlik belirlemede veri planlamayla benzerlik saptaması işini yapar. Bunlar parametrik ve teorik bilgi teknikleri olarak ayrılırlar. Parametrik, klasik sonuç çıkarma, Bayesian, Dempster-Shafer ve genellenmiş kanıt işlemlerini kapsar. Teorik bilgi teknikleri, parametrik şablonları, yapay sinir ağları, küme algoritmalarını, oylama metodlarını, termodinamik ölçüm tekniklerini, kalıp tanımayı ve korelasyon ölçümlerini kapsar.

Kavramsal tabanlı modeller analistçiler tarafından kullanılan karar verme işlemini diğerlerinden daha iyi yapmaya ve otomatikleştirmeye çalışır. Kavramsal tabanlı modeller mantıksal şablonları, bilgi tabanlı sistemleri ve belirsiz (bulanık) ayar teorisini kapsar.

2.10. Veri Füzyonunun Askeri Alana Uygulanması

U.S. DoD, askeri savunma alanında vericiler, platformlar, silahlar ve askeri üniteler gibi dinamik varlıkların yeri, niteliği ve teşhisini içine alan problemler üzerine odaklanmıştır. Bu dinamik veriler savaş düzeni veritabanı veya savaş düzeni gösterimi olarak nitelendirilir. Bir savaş düzeni veri tabanı savunma amaçlı işlemlerde düşman durumu hakkında daha yüksek kararlılıkta sonuç çıkarımlarını gerektirir. Uygulamalarla ilgili DoD'un örnekleri; okyanus gözetimi, havadan havaya savunmayı, savaş alanı bilgisi, gözetimi ve hedef elde etmeyi, stratejik uyarı ve savunmayı içerir. Bu alanların gösterimi Çizelge 2.1'de verilmiştir [4].

Çizelge 2.1. Askeri alanda veri füzyonu uygulamaları

Özel uygulamalar	Veri füzyonu ile sonuç çıkarımı	Öncelikli veri takibi	Gözetim alanı	Algılayıcı alanı
Okyanus gözetimi	Bulma, iz sürme, hedef bilgilerini edinme	-EM sinyalleri -Akustik sinyaller -Nükleer ölçümler -Gözlem değerlendirmeleri	- Yüzlerce deniz mili sahası -Hava/toprak yüzeyi ve toprak altı	-Gemiler -Uçaklar -Denizaltıları -Kara -Okyanus
Havadan havaya ve karadan havaya savunma	Bulma, iz sürme, uçak bilgileri edinme	-EM sinyalleri	- Stratejik amaçlı yüzlerce millik alan - Taktiklerin oluşturulacağı alan	-Kara -Uçaklar -Gemiler
Savaş alanı bilgisi, gözetimi ve hedef edinme	Bulma ve potansiyel alanın bilgilerini edinme	-EM sinyalleri	- Yüzlerce millik savaş alanı	-Kara -Uçaklar
Stratejik uyarılar ve savunma	Olmaları muhtemel stratejik senaryolar. Patlayıcı savaş başlıkları ve balistik alanların bulunması	-EM sinyalleri -Nükleer ölçümler	- Dünya çapında gözetim	-Uydular -Uçaklar -Kara

Okyanus gözlem sistemleri, okyanusta bulunan nesnelere rotalarını bulmak, izlemek ve tanımak için tasarlanmıştır. Deniz kuvvetlerinin hızlı operasyonlarını desteklemek, denizaltı savaş sistemlerini ve örnek araçlara rehberlik için kullanılan otomatik sistemlerdir. Algılayıcı grupları; radar, sonar, elektronik istihbarat (ELINT), haberleşim istihbaratı (COMINT), kızılötesi ve sentetik aralık radar (SAR) yapılarını içerir [35].

Havadan havaya ve karadan havaya savunma sistemleri, uçaksavarların ve algılayıcıları keşfetmek, izlemek ve tanımak için geliştirilmiştir. Bu savunma sistemleri; radar, pasif elektronik destek ölçümleri (ESM), kızılötesi, dost-düşman ayırt etme (IFF) algılayıcıları, elektro-optik görüntü algılayıcılarından oluşur. Bu sistemler karşı hava sahası, savaş düzeni olgusu, ani baskınlara karşı uçakların rotasının düzenlenmesi, hedef önceliği, yol güzergâhı planlaması ve diğer etkinlikleri destekler. IFF sistemleri, tanımlanmamış düşman savaş uçaklarını gizlice ve işbiriksiz olarak nitelendirmektedir. Dünyanın her tarafındaki silah sistemlerindeki gelişmelerin ve üretim sayılarının artışı, silah kökenli milliyetçilik ve silah kullanımının ülkeler arasındaki artışı IFF sistemlerinin tanımının hızla ve sürekli olarak değişmesine sebep olmaktadır [4].

Diğer uygulamalarda savaş alanı istihbaratı, gözetimi ve hedef elde etme sistemleri potansiyel kara hedeflerini ortaya çıkarmak ve tanımlamak için kullanılır. Mayın tarlalarının yerini ve yüksek değerli hedeflerin otomatik hedef tanınması örnek olarak verilebilir. Algılayıcılar hareketli hedef göstergeli (MTI) radar yoluyla havadan takip, sentetik aralık radarı, pasif elektronik destek ölçümleri, resim keşfi, temel zeminli akustik algılayıcıları, uzaktan kumandalı araçları, elektro-optik algılayıcıları ve kızılötesi algılayıcıları içerir [26].

2.11. Veri Füzyonunun Askeri Olmayan Alanlara Uygulanması

Veri füzyonun uygulandığı diğer alanlar ise akademik, ticari ve endüstriyel gibi sivil uygulamalardır. Bu alanda robotik uygulamaların tamamlanabilmesi, endüstriyel üretim sistemlerinin otomatik kontrolü, akıllı binaların geliştirilmesi, yapay zekânın geliştirilmesi ve tıbbi uygulamalar bulunmaktadır. Bu alanlarla ilgili gösterim Çizelge 2.2’de verilmiştir [4].

Çizelge 2.2. Askeri olmayan alanda veri füzyonu uygulamaları

Özel uygulamalar	Veri füzyonu ile sonuç çıkarımı	Öncelikli veri takibi	Gözetim alanı	Algılayıcı alanı
Bakım koşulları	-Sistem hatalarının bulunması -Sistem düzeltmeleri	-EM sinyalleri -Akustik sinyaller -Manyetik -Sıcaklık -X ışınları -Titreşim	-Mikroskopik denetim	-Gemiler -Uçaklar -Kara
Robotik	-Engel tanımı ve konumu -Nesnelerin başarıyla kullanımı	-TV -Akustik sinyaller -EM sinyalleri -X ışınları	-Robotik olarak mikroskopik hareketler	-Robot vücudu
Tıbbi uygulamalar	Tümör, normal olmayan ve hastalıklı hücrelerin bilgisi ve konumu	-Xışınları -NMR -Sıcaklık -IR -Görsel denetim -Kimyasal ve biyolojik veriler	- İnsan vücudu	-Laboratuar
Çevresel gözlem	Doğa afetleri gibi beklenmedik büyük felaketlerin bilgisi ve konumu	-SAR -Sismik ölçümler -EM -Kimyasal ve biyolojik veriler	- Dünya çapında gözetim	-Uydular -Uçaklar -Kara -Yer altı verileri

Hem askeri hem de askeri olmayan alanlarda kullanılan ikinci bir alan, turbomakinacılık, helikopter eğitimi ya da endüstriyel imalat gibi karmaşık mekanik donanımların kontrol edilmesidir. Bir sürüş eğitimi uygulaması için mevcut algılayıcılar hız, sıcaklık, yağ çöküntü algılayıcıları, akustik algılayıcı ve kızılötesi ölçümleri içerebilir. Bir bilgisayar bağlantılı kondisyon kontrol sistemi milin eksenden kaçıklığı ya da yatak bozukluğu gibi arızaların önceden tahmini veri füzyonu ile gerçekleştirilebilir. Böylesi arızaların önceden tahmini ile bakım, güvenlik, iyileştirme ve iş emniyeti için yapılan harcamaların azalacağı beklenmektedir [36,37]. Böyle sistemler helikopterler ve diğer yüksek maliyetli sistemler için geliştirilmeye başlanmıştır. Veri füzyon için belli başlı zorluklar ise eşit olmayan aynı veri tiplerini üretmeyen algılayıcılar, sinyal farklılığı ve sisteme eklenen gürültülerdir.

Askeri olmayan uygulamalar için veri füzyon sistemine bir örnekte tıbbi teşhislerin gerçekleştirilmesidir. Günümüzde gelişmiş algılayıcılar tıbbi uygulamalar için geliştirilmekte ve geniş uygulama alanı bulmaktadır. Nükleer manyetik rezonans

(NMR), akustik görüntüleme ve tıbbi testler gibi algılayıcılar tıbbi teşhislerde kesin sonuçlara ulaşmada kolaylık sağlamaktadır.

Askeri ve askeri olmayan uygulamalarda yapılan çalışmalarla bu teknolojiyi geliştirmek için karşılıklı olarak elde edilen sonuçlar ve bilgiler sürekli olarak paylaşılmaktadır [26].

Günümüzde dünyada yapılmış ve yapılmakta olan büyük yapılarda ve yatırımlarda veri füzyon işlemi kullanılmaktadır. Ancak bu işlemin gerçekleştirilmesi ve sisteme uygulanması büyük maddi kaynaklar ve büyük uğraşlar gerektirmektedir.

Ayrıca bir önemli etkende birçok noktadaki algılayıcılardan gelen verilerin doğru değerlendirilmesidir. Birçok noktadan gelen bu ham veriler hem çok karmaşık hem de çok fazla bilgi içermektedir. Bu bilgiler doğrultusunda doğru veri füzyonu yapısının oluşturulamaması ve karar mekanizmasının doğru sonuç üretememesi çok daha kötü ve maliyetli sorunlara sebep olabilir. Bunun içindir ki veri füzyonu çok karmaşık olduğu kadar bir o kadar da zor olan bir süreçtir.

2.12. Veri Füzyon İşleminde Veri Madenciliği

Veri madenciliği, çok büyük veri tabanlarındaki ya da veri ambarlarındaki veriler arasında bulunan ilişkiler, desenler, değişiklikler, sapma ve eğilimler, belirli yapılar gibi ilginç bilgilerin ortaya çıkarılması ve keşfi işlemidir. Genel olarak bilgi keşif süreci aşağıdaki sıralı adımlardan oluşmaktadır:

- Veri Temizleme; gürültü, hatalı, eksik ya da ilgisiz verilerin veri kaynağından temizlenmesi,
- Veri Entegrasyonu; birden çok ve heterojen veri kaynaklarının tek bir kaynaktaki birleştirilmesi,
- Veri Seçimi; analiz edilecek doğru veri kümelerinin veri tabanından seçilmesi,

- Veri Dönüşümü; özet ya da toplama işlemleri ile verilerin uygun veri madenciliği için dönüştürülmesi ya da güçlendirilmesi,
- Veri Madenciliği; veri desenlerini ortaya çıkarmak için akıllı yöntemlerin uygulandığı esas süreç,
- Desen Değerlendirmesi; ilginçlik ya da ölçümler üzerine kurulu değişik veri desenlerinin belirlenmesi,
- Bilgi Sunumu; kullanıcıya madenden çıkarılmış bilgileri sunmak üzere görsel sunum tekniklerinin kullanılması.

Veri madenciliği, veri tabanı teknolojisi, istatistik, makine öğrenim, örüntü tanımı, yapay sinir ağları, verilerin görselleştirilmesi ve uzaysal veri analizi gibi farklı disiplinlerde yer alan tekniklerin bir birleşimini içerir. Bu disiplinlerin aralarındaki kesin sınırları tanımlamak zor olduğu gibi bu alanlar ile veri madenciliği arasındaki kesin sınırları tanımlamak da zordur [38].

Geniş ilişkisel veri tabanı sistemlerinde ve veri ambarlarında ilk dört süreç; veri temizleme, veri entegrasyonu, veri seçimi ve veri dönüşümü veri ambarları oluşturarak ve bazı OLAP (On Line Analytical Processing) işlemleri uygulayarak gerçekleştirilebilir.

Bir veri madenciliği sisteminin aşağıdaki görevlerden bir veya birkaçını gerçekleştirmesi gerekmektedir.

Sınıf tanımlama; veri topluluğunun özetlenmesine sınıf tanımlama adı verilir. Veri topluluğunun kısa ve net bir özetini belirleyip bu veri topluluğunu diğerlerinden ayırır. İki ya da daha fazla veri topluluğunun karşılaştırılmasına sınıf karşılaştırma ya da sınıf ayırımı denir. Sınıf tanımlama sadece sayı, toplam ya da ortalama gibi özellikleri değil veri dağılımı üzerindeki değişiklikler gibi özellikleri de tanımlamalıdır.

Birliktelik; bir nesne kümesindeki ilişkilerin işbirliğidir. Çoğunlukla verilen bir veri kümesi içerisinde sıklıkla beraber gözlenen nitelik-değer kuralı biçiminde ifade edilir.

Sınıflandırma; sınıflandırma, bir deneme veri setini (sınıfı belirlenmemiş veri kümesi) analiz eder ve verilerdeki özelliklere bağlı olarak her sınıf için bir model oluşturur. Sınıflandırma sürecinde veri tabanındaki her sınıfı daha iyi anlamaya ve gelecekteki verilerin sınıflandırılmasına yarayacak karar ağacı ya da sınıflandırma kuralları üretilir.

Tahmin; nesnelere kümesindeki eksik verilerin ya da belirli özelliklerin olası değerlerini tahmin eder. Alanla ilgili özellikler kümesinin bulunmasını (bir takım istatistiksel analizler yoluyla) ve seçilen benzer özellikteki nesne ya da nesnelere bağlı olarak değer dağılımının tahmin edilmesini içerir. Tahmini kuvvetlendirmek ve kalitesini arttırmak için genellikle regresyon analizi, genelleştirilmiş doğrusal model, korelasyon analizi ve karar ağaçları kullanılan yapılarıdır. Genetik algoritmalar ve sinir ağları modelleride tahmin yönteminde kullanılmaya başlanan yeni yöntemlerdir.

Kümeleme; küme, birbirlerine benzeyen veri nesnelere topluluğuna verilen addır. Kümeleme analizi de veri ile doldurulmuş kümeleri belirlemek için kullanılır. Benzerlik, kullanıcı ya da uzmanlar tarafından belirlenmiş olan mesafe fonksiyonları ile ifade edilebilir. İyi bir kümeleme metodu küme içi benzerliğin alçak seviyede ve kümeler arası benzerliğin yüksek seviyede olmasını garantileyecek biçimde yüksek kalitede sınıflar üretir.

2.12.1. Veri madenciliği süreci

Başarı için en önemli anahtar, sistemli bir süreç takibidir. Veri madenciliği için altı adımlı bir süreç önerilmektedir. Bunlar; probleminin belirlenmesi, veri madenciliği veri tabanının oluşturulması, verinin araştırılması, verinin modeller için hazırlanması, bir model oluşturulması, modelin değerlendirilmesidir. Bu adımların kısaca açıklamaları ise aşağıda verilmiştir.

İş probleminin belirlenmesi; her şeyden önce veri madenciliği yapmak için ön koşul veriyi ve işi iyi anlamaktır. İlk önce çözülecek problemlerin belirlenmesi, verinin madencilik süreci için hazırlanması, sonuçların doğru bir şekilde yorumlanması ve tahminlerdeki ilişkilerde güven sağlanması gerekir.

Veri madenciliği veri tabanının oluşturulması; bu adım, sonraki iki adımla birlikte veri hazırlığının çekirdeğini oluşturur. Diğer tüm adımlardan daha fazla zaman ve uğraş gerektirir. Yapılacak herhangi bir projede bu adımlar projenin %60 - %95 zaman ve kaynağını tüketen adımlardır.

Verinin Araştırılması; iyi tahmini modeller oluşturulmadan önce verinin anlaşılması gereklidir. İşe çeşitli nümerik özetler çıkararak (ortalamalar, standart sapmalar vs. gibi tanımlayıcı istatistikleri içeren) ve verinin dağılımına bakarak başlamak her zaman önerilen bir yoldur. Çok boyutlu veriler için çapraz tablolamalar (pivot tablolar) yapılabilir. Amaç, bir sonuç tahmin etmek için kullanılacak en önemli sahalardan belirlenmesi ve hangi değerlerin kullanıldığında faydalı olacağını bulmaktır.

Verinin Modelleme İçin Hazırlanması; bu adım modeli oluşturmadan önceki son veri hazırlama adımıdır. Bu adımda 4 temel hedef vardır:

- a) *Değişkenlerin seçimi;* ideal olarak tüm değişkenler veri madenciliği aracına yüklenir ve hangilerinin en iyi tahminleyici olduğunun belirlenmesi yapılır. Modelin oluşması için harcanan zaman değişkenlerin sayısına bağlı olarak artar. Ayrıca konu dışı sütunların da kullanılması yanlış modellerin oluşumuna sebebiyet verebilir. Problem sahasındaki bilgilere dayanarak en uygun değişkenlerin kullanılması gerekir.
- b) *Satırların Seçilmesi;* değişkenlerin seçimi sırasında modelin oluşması için tüm kayıtların seçilmesi istenir. Ancak çok fazla veri varsa bu çok uzun sürebilir ya da mevcut bilgisayar imkânları yetmeyebilir. Çözüm, örnekleme (sampling), yani veri içerisinde rastgele bir alt veri kümesi seçmektir. Pek çok iş problemi için bu işlem bilgide eksiklik olmadan sonuca ulaşılmasını sağlar.

- c) *Yeni Değişkenlerin Oluşturulması*; genellikle ham veriden elde edilen yeni tahminleyiciler oluşturmak gerekir. Tek başına daha az etkili olan değişkenlerin aritmetik ya da cebirsel işlemlerle bir araya getirilmesi gerekebilir.
- d) *Değişkenlerin Dönüştürülmesi*; seçilen araç, verinin nasıl temsil edileceğini belirlemek üzere kullanıcıyı yönlendirebilir. Örneğin yapay sinir ağları kategorik ölçümleme gerektirebilir. Değişkenler belirli bir değer aralığına sığacak şekilde ölçeklendirilebilir. Sınıflandırma için kullanılan birçok karar ağacı sürekli verinin belirli aralıklarda gruplandırılmasına gereksinim duyar [39].

Bir Modelin Oluşturulması; model oluşturmadaki en önemli olgunun bu işlemin yinelemeli bir süreç olduğunun hatırdan çıkarılmaması gerektiğidir. İş probleminin çözümünde en faydalı olabilecek modelin bulunması için alternatif modellerin araştırılması gerekecektir. İyi bir model ararken öğrenilenler geriye dönüp kullanılan verinin değiştirilmesine hatta problemin yeniden tanımlanmasına sebep olabilir.

Tahmin edici model oluşturma süreci en doğru ve güvenilir tahminleri elde etmek için iyi tanımlanmış bir eğitim ve geçerlilik protokolü gerektirir. Böyle bir protokole bazen denetlenen öğrenme adı verilir. Denetlenen öğrenmenin özü, modelin bir veri alt kümesi üzerinde denenmesi, test edilmesi ve verinin kalan kısmında onaylanmasında yatar [37].

Modelin Değerlendirilmesi; modelin oluşmasından sonra sonuçlarının değerlendirilmesi ve önemlerinin yorumlanması gerekir. Test sırasında elde edilen doğruluk oranı sadece modelin çıkarıldığı veri üzerinde uygulanabilir. Uygulamada modelin uygulandığı veri gerçek veriden farklılık gösterirse doğruluk değişebilir.

Veri madenciliği modeli çoğunlukla bir seferde bir olay ya da işleme uygulanır. Her yeni işlemin uygulanma süresi yani işlemlerin ne sıklıkta oluşacağı paralel bir algoritmanın gerekliliğini belirleyecektir.

Yukarıda yazılanlar doğrultusunda yapılacak bir çalışmada;

- Hangi veri tabanı ve hangi veriler üzerinde çalışılacağına karar verilmesi
- Verilerin içinden analizde işe yaramayacak olan verilerin çıkartılması
- Veriler içerisinde değişik ilişkiler kurularak yeni değişkenlerin eklenmesi
- Yapılacak olan veri madenciliğinin ne tür analiz yapacağına (sınıflandırma, kümeleme, tahmin) karar verilmesi gerekmektedir.

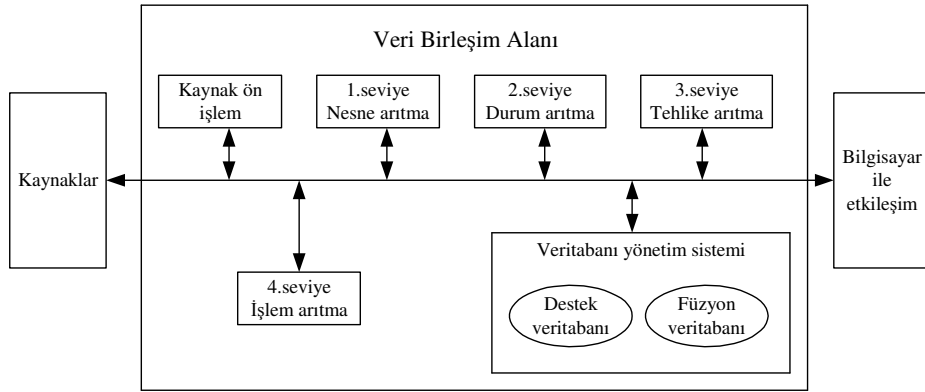
Veri füzyonu ve veri madenciliği alanlarında şu teknolojiler ve algoritmalar kullanılmaktadır. Kalman filtreleme algoritmaları, bayesian ağları ve bayesian teknikleri, demster-shafer algoritması, regrasyona dayalı teknikler (Step-wise regression ve multiple regression), sınıflandırma ağacı (Classification trees), duruma dayalı muhakeme (Case-based reasoning), veri görselleştirme (Data visualization), bulanık sorgulama ve analiz (Fuzzy query and analysis), doğrusal diskriminant analizi (Linear discriminant analysis), kalıp/örnek tanıma (Pattern recognition), temel bileşen analizi (Principle component analysis), yapay sinir ağları (Artificial neural Networks) ve genetik algoritma (Genetic algorithm).

2.13. Veri Füzyon İşlem Modelleri Ve Mimarileri

2.13.1. JDL modeli

Veri füzyonunun teknolojide uygulanabilirliğinin engellerden biri uygulamaya yönelik birleşim işlemini yapan bir terminolojinin eksikliğidir. IFF sistemleri gibi askeri uygulamalarda savaş alanı gözetimi ve otomatik hedef tanıma gibi ilişkili fakat farklı uygulamalar, korelasyon ve veri füzyon gibi temel ifadeler için farklı tanımlamalarla kullanılır. Askeri araştırmacılar ve sistem geliştiriciler arasındaki bilgi paylaşımını ve haberleşmeyi ilerletmek için 1986 yılında çeşitli laboratuvarların yöneticileri bir araya gelerek (JDL, the U.S. Defense of Department's Joint Directors Laboratories) veri füzyon çalışma grubunu kurmuşlardır. Bu çalışma grubu veri füzyonuyla ilgili terminolojiyi oluşturmak için çalışmalarına başlamış ve bu çalışmaların sonucunda veri füzyon için bir işlem modeli ve veri füzyon sözlüğü

oluşturmuştur [28]. JDL tarafından oluşturulan veri füzyon işlemine ait üst düzey işlem modeli Şekil 2.1’de gösterilmiştir [4,12].



Şekil 2.1. JDL tarafından oluşturulan üst düzey veri füzyon işlem modeli

JDL modeli iki katmanlı bir hiyerarşiye sahiptir. Şekil 2.1’de gösterildiği gibi veri füzyon işlemi; bilgi kaynakları, insan bilgisayar etkileşimi, kaynak ön işlemi, 1.seviye, 2.seviye, 3.seviye ve 4.seviye işlemleri ile açıklanır.

Bilgi kaynakları; şu üç şekilde olabilir ve giriş değerleri olarak kullanılabilir:

- 1) Yerel algılayıcılardan gelen veriler bir veri füzyon sistemiyle birleşir.
- 2) Çeşitli yerlerde dağıtılmış olarak bulunan algılayıcılar füzyon sistemine elektronik yolla bağlanır.
- 3) Referans verileri gibi diğer verilerde sisteme eklenir.

İnsan bilgisayar etkileşimi (HCI); komutların bilgi gereksinimleri, sonuçların insana yorumlanması, insanların ürettikleri sonuçların bilgisayara aktarılması gibi işlemlerin gerçekleşmesi sağlanır. HCI, füzyon işleminin sonuçlarını alarm, göstergelerle bildirim, coğrafik gösterimlerde ise pozisyon ve benzerlik bilgisi olarak kullanıcılara bildiren bir sistemdir.

Kaynak ön işlem (İşlem düzenleme); ilk işlem veriyi uygun işlemlere ayırmak ve verilere ait öncül bölmeleri yerine getirmektir. Kaynak ön işlemi, veri füzyon

sisteminin yükünü veriyi uygun işlemlere ayırarak azaltır. Kaynak ön işlemleri bir hedefin yerini ve hızını tahmin etmek için çoklu algılayıcı verilerinin sentezini gerçekleştirmektedir.

1. Seviye İşlem (Nesne arıtma); bu yöntem birbirinden ayrı nesnelere temsil eden arıtılmış işaretlerin konumsal, parametrik ve benzerlik bilgilerini birleştirir. 1. seviye işlemi dört ana işlevden oluşur.

1. Dönüştürülmüş algılayıcı verileri uygun bölümlere ve koordinatlara ayırır.
2. Bir nesnenin pozisyonu, kinematığı ve nitelikleri zaman içinde incelenir.
3. Verilerin istatistiksel tahmin tekniklerinde uygulanabilmesi sağlanır.
4. Bir nesnenin tanımını veya sınıflandırmasını gerçekleştirmek için istenen bilgilere ayrılır.

2. Seviye İşlem (Durum arıtma); nesnelere ve olaylar arasındaki mevcut zamandaki ilişkilerin tanımının yapıldığı işlemdir. Durum arıtma, nesnelere ilişkisel bilgilerini (fiziksel yakınlık, iletişim, nedenler ve diğer ilişkiler) anlamsal ifadelerle dönüştürmeye çalışır. Bu analiz çevresel bilgilerin kapsamında radyoelektrik, hidroloji, hava ve diğer faktörler hakkında yapılmıştır. Hem klasik hem de sezgisel teknikler 1. seviye işleminin sonuçlarının anlamını incelemek için kullanılır.

3. Seviye İşlem (Tehlike arıtma); şu anki mevcut sistemin gelecek zamandaki düşman tehditleri, dost ve düşman savunmaları hakkında sonuç çıkarımlarını gerçekleştirir. Tehlike değerlendirmesinin yapılması özellikle zordur. Çünkü sadece olası sonuçları hesaplamakla değil, düşman öğretisi, hazırlık seviyesi, politik çevre ve şimdiki durum hakkında bilgiye dayanmış bir düşmanın amacına değer biçmek gerekir. Baştanbaşa odaklanılan durumlar; amaç, öldürücülük ve fırsat üzerinedir. 3. seviye işlemi düşman stratejileri, taktikleri ve çevre hakkındaki şüpheli bilgilerin değerlendirilmesiyle ilgili olarak sürekli değişen senaryolar üretir. Oyun teorilerinde 3. seviye işlemi uygulanmaktadır.

4. *Seviye İşlem (İşlem arıtma)*; bir meta-işlem, diğer işlemlerle birlikte genel mimari yapısına katılabilir. 4. seviye işlem dört temel işlevi yerine getirebilir.

1. Gerçek zamanlı kontrol ve uzun dönem performans hakkında bilginin sağlanmasında veri füzyon yönteminin başarısını belirler.
2. Çok seviyeli füzyon işleminin geliştirilmesi için ne tür bilginin gerekli olduğunu tanımlar.
3. Uygun verileri toplayabilmek için ne tür kaynaklara gerek olduğuna (ne tür algılayıcı, ne tür özel amaçlı algılayıcı ve ne tür veri tabanı) karar verir.
4. Gerekli kaynakları hedeflenen amaçları başarmak için yöneltir.

JDL modeli genellemedir ve sadece ortak bir alanda anlama ve tartışmalara zemin hazırlayarak veri füzyonundaki çalışmalara ilerleme katmaktadır. Veri füzyon işlem modelli bilinen işlevleri yerine getirmek için algoritmaların ve tekniklerin kategorilerin hiyerarşik bir taksonomisi ile arttırılır. JDL modeli aslında askeri uygulamalar için geliştirilmiş olsa da askeri olmayan uygulamalar içinde açıkça uygulanabilir. Gerçekten JDL model terminolojisi veri füzyon işleminin uygulandığı her kesimde geniş kabul görmüş ve kullanılmıştır. Waltz, özellikle görüntü işlemede veri füzyon kavramlarını gerçekleştirmek için JDL modelinin nasıl genişletilebileceğini anlatmıştır. Halle ve Ogradnik (1988,2003), karmaşık meta algılayıcılarını açıklamak için modeli daha da genişletmiştir [40,41].

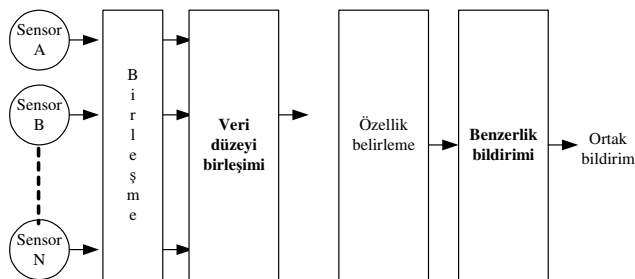
2.13.2. Mimariler

Buraya kadar veri füzyonunun askeri alandaki uygulamalarından örnekler verilerek bahsedildi. Bunlar genellikle hedef izleme, tehdit tanıma ve risk değerlendirmesini kapsamaktadır. Sonuç olarak askeri veri füzyonu sivil uygulamalara göre daha fazla ilerlemiştir. Tipik olarak askeri alanlarda birleşimin üç düzeyinin bulunduğu düşünülür. Bunlar ham veri seviye füzyonu/1. seviye/düşük seviyede füzyon, özellik seviye füzyonu/2. seviye/ orta seviyede füzyon, karar seviye füzyonu/3. seviye/yüksek seviyede füzyonudur.

Her ne kadar birleşim teknolojilerinin uygulamaları sadece askeri alanı içermese de, bu üç düzeyin tanımlaması literatür boyunca düşük/orta/üst düzey birleşimi veri/bilgi/karar ve algılayıcı/taktik/stratejik olarak ifade edilir. Birleşimin bir düzeyine verilen özel isim ne olursa olsun, her bir durumda aynı kavramlar aşağıdaki tanımların açıklaması gibi uygulanırlar [4,12,21].

Ham veri seviye füzyonu, algılayıcılardan gelen ham veri algılayıcı verilerinin aynı tipte ve ölçüde olması durumunda direkt olarak birleştirilebilir (eğer algılayıcılar, iki optik görüntü algılayıcı veya iki akustik algılayıcı gibi aynı fiziksel durumları ölçüyorsa). Ham verileri birleştirme teknikleri klasik olarak kullanılan meydana çıkarma ve tahmin metotlarını gerektirir. Diğer taraftan eğer algılayıcılardan gelen veriler aynı tipte ve ölçüde değilse veriler ortak bir ifade dili bulunarak bir özellik/durum vektörü seviyesinde ya da karar seviyesinde birleştirilmelidir.

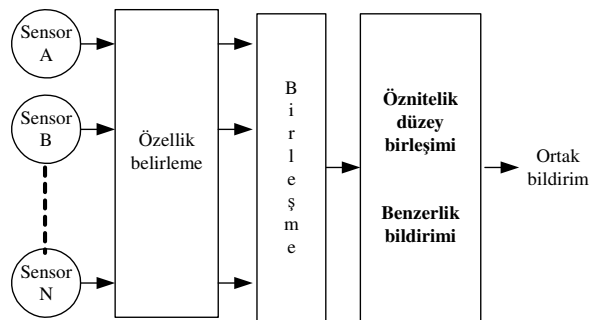
Şekil 2.2’de gösterilen mimari *ham veri seviye füzyonunu* yerine getirmektedir. Her bir algılayıcı nesneyi gözlemler ve ham veriler doğrudan birleştirilir. Daha sonra benzerlik bildirim işlemi gerçekleştirilir. Bu birleştirilmiş veriden bir özellik vektörü ve özellik vektörü ile benzerlik bildirimi arasında yapılan bir dönüşüm ile ortak noktalar elde edilir. Bu özellik tabanlı benzerlik bildirimi için sinir ağları, şablon metotları ve kümeleme algoritmaları gibi örnek tanıma çözüm metotları kullanılabilir. Ham verileri birleştirmek için gerçek algılayıcı verileri aynı ölçüde ve tipte olmalı ayrıca uygun olarak birleştirilebilir nitelikte olmalıdır.



Şekil 2.2. Ham veri seviye füzyonu

Özellik seviye füzyonu, algılayıcı verilerini temsil eden özelliklerin çıkarılmasını gerektirir. Özellik seviye füzyonunda özellikler çeşitli algılayıcılardan gelen veriler arasından elde edilir ve sinirsel ağlara, tamamlama algoritmalarına ve benzer metotlara dayanan model tanıma yaklaşımlarının girdisi olarak tek kademeli özellik vektörüyle birleştirilir.

Şekil 2.3’de gösterilen mimari *öznelik (özellik) seviye füzyonudur*. Her bir algılayıcı bir özellik vektörünü esas alan gözlemlenebilen veri sağlar. Bu özellikler sinir ağları ve kümeleme algoritmaları gibi benzerlik tanımlama tekniklerine uygulanacak şekilde tek bir özellik vektörü içinde birlikte kademelendirilir. Veri sıralaması ve benzerlik işlevleri bireysel algılayıcılardan özellik vektörlerini daha geniş olan tek bir özellik vektörüne birleştirmeden önce yapılmalıdır.

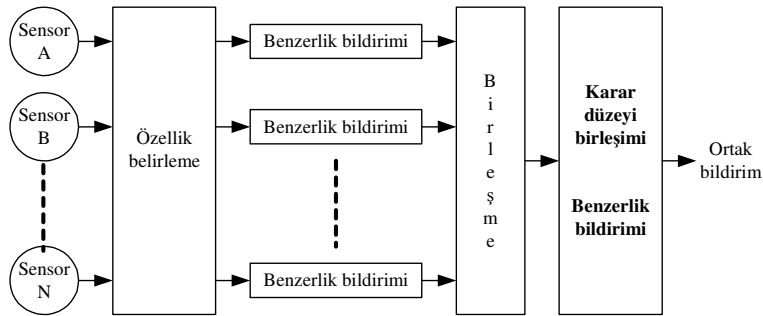


Şekil 2.3. Özellik seviye füzyonu

Karar seviye füzyonu, her bir bağımsız algılayıcı bilgilerinin bir varlığın konumu, nitelikleri ve kimliğinin başlangıç kararının verilmesinden sonra verilerin füzyonunu gerektirir. Karar seviye füzyon metotları, ağırlıklı karar metotlarını (oylama metotları), klasik sonuç çıkarımı, Bayesian sonuç çıkarımı ve Dempster-Shafer metotlarını içerir.

Şekil 2.4’de gösterilen mimari *karar seviye füzyonudur*. Bu mimaride her algılayıcı sadece kendi kaynak verisine dayanan benzerlik bildirim işlemini gerçekleştirir. Her bir algılayıcı takip edilen hedef niteliklerini hedef benzerliğinin bir başlangıç durumuna dönüştürür. Benzerlik bildirimleri, klasik çıkarımlar, Bayesian çıkarımlar,

ağırlık karar metotları veya Dempster-Shaffer metodu gibi karar seviye füzyon teknikleri kullanılarak birleştirilen ayrı verilerle sağlanır.



Şekil 2.4. Karar seviye füzyonu

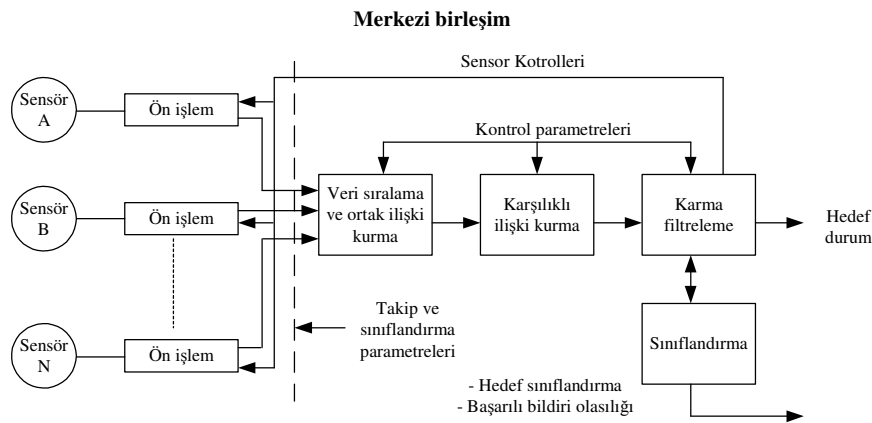
2.13.3. JDL mimarisi

Çok algılayıcıli veri füzyon sistemi geliştirmedeki ana noktalardan biri, veriyi birleştirmek için veya yaymak için verinin hangi yolları takip edeceğidir. Örneğin hareketli bir nesnenin pozisyonuna ve hızına karar vermek için yerel bilginin (gözlenen mesafe, açıklık ve yükseklik gibi) füzyonu ve gözlenen bir nesnenin kimliğine karar vermek için parametrik verilerin füzyonudur [12,21].

Bir nesnenin pozisyonu ve hızına karar vermek için yerel bilgi birleştirmede 3 seçenek vardır. 1) İşlenmemiş gözleme ilişkin verinin füzyonu 2) Durum vektörlerinin füzyonu (gözlemlenen nesnenin ayrı algılayıcılardan gelen pozisyon ve hız bilgilerinin vektöriyel olarak en iyi şekilde ifade edilmesi) 3) Hem işlenmemiş verinin hem de durum vektör verisinin füzyonuna arzu edildiği gibi izin veren bir hibrit (melez) yaklaşım. Bu alternatif füzyon mimarileri Şekil 2.5 – Şekil 2.7’de gösterilmiştir.

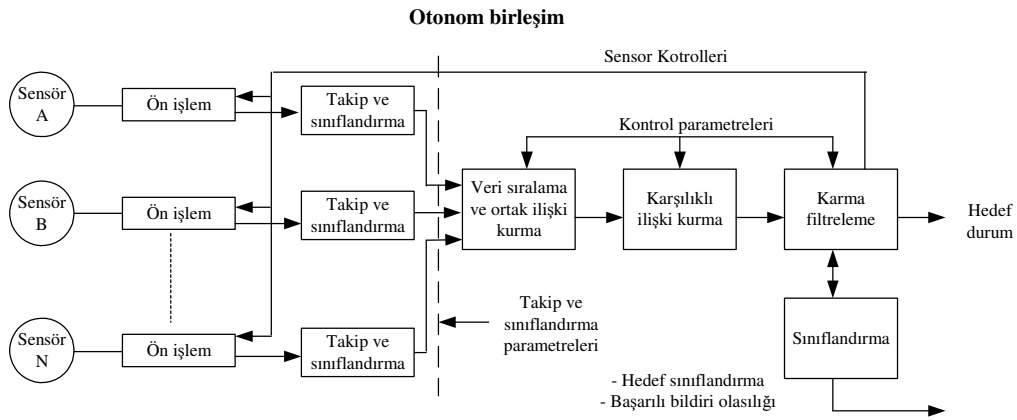
Şekil 2.5’de işlenmemiş verilere ilişkin veri füzyonu gösterilmiştir. Her bir algılayıcıdan gelen verilerin merkezi işleme uygunluk açısından algılayıcı verilerinden algılayıcı tabanlı bölümlere ve koordinatlardan en uygun anlamlı koordinatlara dönüştürülmesinde kullanılır. Daha sonra veriler hangi algılayıcı

verilerinin ortak birleştirmeye katılacağına karar verilmesi için bir araya getirilir. Bu da çoklu algılayıcıda çok hedefli çevrede aynı fiziksel varlıkların veya hedeflerin hangi gözlemlerinin temsil ettiğine karar vermek için gereklidir. Böylece ortaklığın sonucunda hangi gözlemden gözleme veya hangi gözlemden var olan hedef izlemenin yapılacağına karar verilebilir. Bu ortaklık problemi yoğun hedef izlemeli uygulamalarda karmaşık olabilir. Bu merkezileştirilmiş yaklaşım veriyi birleştirmek için birleşim ve korelasyonun doğru olarak yapılabildiğinin kabul edildiği teorik düşüncede en verimli yoldur. Bununla beraber bu yaklaşım algılayıcılardan gelen ham verinin merkezi işleme kolaylığı veya bilgisayara göre sayısal verilere dönüştürülmüş (yerel iletim hatları veya diğer mekanizmalar ile) olmasını da gerektirir.



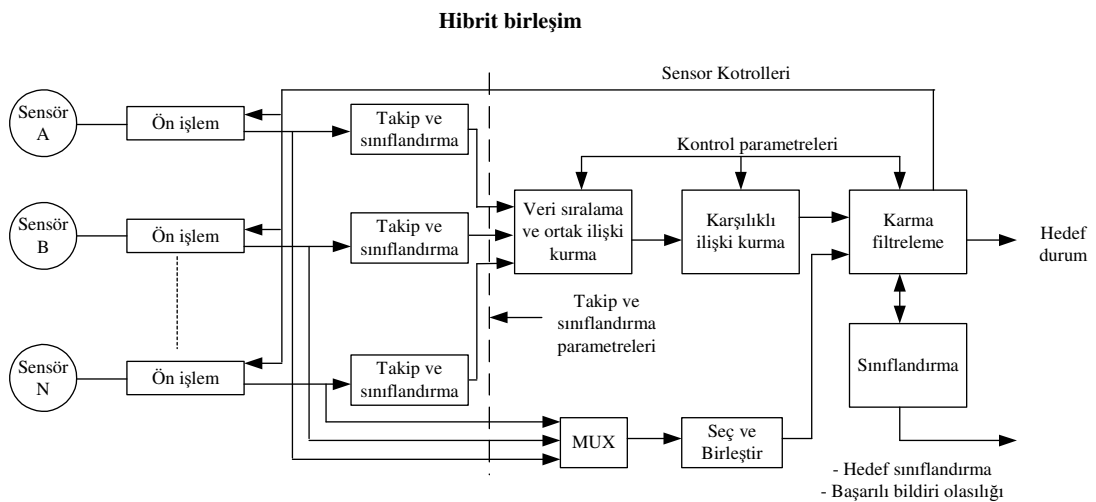
Şekil 2.5. Merkezi birleşim

Şekil 2.6'da her bir bağımsız algılayıcının tek kaynaklı pozisyon tahmini ve her bir algılayıcıdan bir durum vektörünün sağlandığı dağıtılmış (otonom) veri füzyonudur (bir nesneye ait pozisyon ve hız bilgilerin hepsi ayrı algılayıcılardan ayrı kaynaklı veri tabanı olarak düzenlenir). Bu yer ve hız tahminleri çeşitli algılayıcılara dayanan birleşim elde etmek veya durum vektörü tahmini gerçekleştirmek için veri füzyon işlemine giriş bilgilerini oluşturur. Dağıtılmış füzyon mimarileri, algılayıcılar ve füzyon işlemi arasında istenen iletişimleri azaltır. Buna ilaveten ortaklık birleşim yöntemi teorik olarak veri seviye füzyonu için yapılandan daha kolaydır. Ayrıca genelde durum vektör füzyonu ham veri seviye füzyonu kadar kesin değildir. Çünkü algılayıcılar ve füzyon işlemi arasında bilgi kaybı söz konusu olabilir.



Şekil 2.6. Otonom birleşim

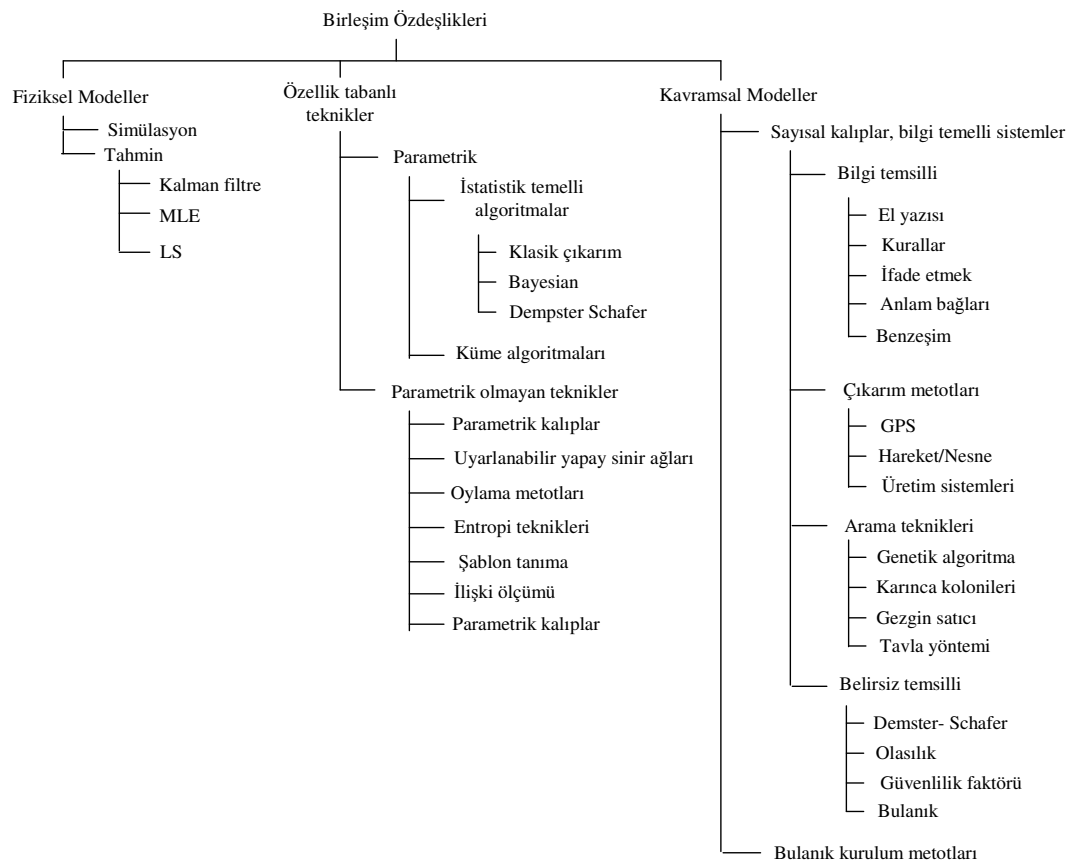
Son olarak füzyon için 3. mimari ham veri seviye füzyonu ve durum vektör füzyonunu birleştiren bir hibrit mimaridir. Bu mimari Şekil 2.7’de gösterilmiştir. Bu durumda sıradan işlemler esnasında durum vektör füzyonu hesaplama olarak iş yükünü ve iletişimlerin isteklerini azaltmak için yapılır. Belirlenmiş koşullar altında ham veri seviye füzyonu gerçekleştirilir. Alternatif olarak mevcut algılayıcılara dayanmış durum vektörlerinin ve verinin bir birleşimi gerçekleştirilebilir. Hibrit mimarisi çözümde esnekliği sağlamasına rağmen veri ve durum vektörü füzyonu arasında füzyon işlemini ve seçimini kontrol etmek için genel bir izlemenin takibini gerektirmektedir.



Şekil 2.7. Hibrit birleşim

2.13.4. Birleşim algoritma yöntemleri

Birleşim motoru içinde bilgiyi birleştiren gerçek bir algoritma yapısı yatar. Hall (1992), birleşim algoritmalarını üçe ayırmaktadır [12]. Bunlar fiziksel modellenli, özellik temelli sonuç teknikleri ve kavramsal temelli modelleri temel alan birleşimlerdir. Bu sınıflamalar ve alt bölümleri Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Birleşim algoritmaları

Çoklu algılayıcı veri füzyon teknolojisi hızla gelişmektedir. Yeni algoritmalar geliştirmek, var olan algoritmaları iyileştirmek ve farklı veri füzyon uygulama alanları için bu tekniklerin nasıl bir mimariye yerleştirileceğine dair birçok araştırma ve çeşitli fikirler vardır.

Veri füzyon işlemi; algoritma gelişim testi ve değişimi, teknolojinin sistematik değişimleri için yüksek standartlar üzerinde durmada, gerçek uygulama alanlarında

belirli bir disiplin yapısı kullanmaya ihtiyaç duymaktadır. Robotik uygulamalarda, endüstriyel alanlarda, sistemlerin kontrolü ve muhakemesi gibi askeri olmayan uygulamalarda yapay zekâ tekniklerinin kullanımı ile veri füzyonu gelecekte de üzerine dair çalışmaların yapılacağı bir alandır.

3. GSM SİSTEMİ

Global System for Mobile Communication (GSM) European Telecommunications Standarts Institute (ETSI)'ye bağlı bir çalışma grubu tarafından geliştirilmiş iletişim sistemidir. GSM dünyada ilk olarak Finlandiya'da kullanılmaya başlanmıştır. Finlandiya'nın coğrafi yapısı, hava şartları, yerleşim alanlarının dağılımı kablosuz haberleşme sisteminin geliştirilmesi için uygun bir zemin hazırlamıştır.

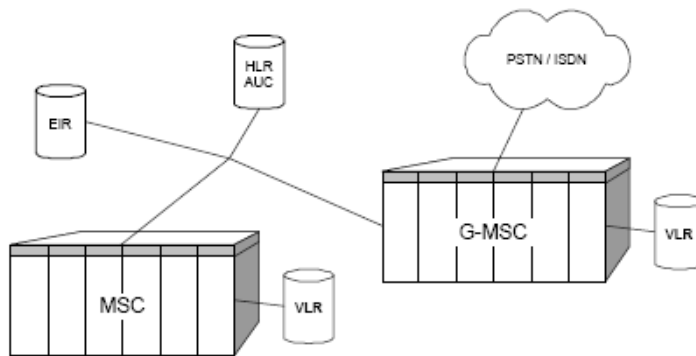
GSM gibi hareketli telefon ağının öncelikli hedefi hareketli istasyona (MS; Mobile Station) sahip olan abonelerin her yerden telefon görüşmesi yapabilmesine olanak sağlamaktır. Bunu başarabilmek için çağrı yönetimi, çağrı işleme, radyo yönetimi, mobilite yönetimi, ücretlendirme ve güvenlik gibi başlıca fonksiyonların yerine getirilmesi gerekmektedir.

Çağrı yönetimi çağrının oluşturulması ve sonlandırılması ile ilgilidir. Bu aranan ve arayan arasında doğru yön seçiminin yapılmasını da kapsar. Çağrı işleme ise çağrının başlatılması ve sonlandırılması arasındaki tüm işlemlerdir. GSM'deki kablosuz haberleşme radyo haberleşmesiyle sağlanır. Radyo dalgaları ile haberleşmek için her iki tarafın görüşme yaptıkları tarafın hangi frekansları kullandığını bilmesi gerekmektedir. Bütün bu radyo kontrolüne radyo yönetimi denir. Abonelerin her yerde çağrıları alabilmesi için ağın hareketli istasyonun nerede olduğunu bilmesi gerekir. Hareketli istasyonun olduğu bölge dışındaki yerlerdeki ağın yükünü azaltmak için hareketli istasyon o anki konumunu bildirir. Böylece hareket ettiğinde ve ona ulaşılması gerektiğinde sadece onun çevresindeki antenler onunla iletişim kurmaya çalışır. Hareketli istasyonun hareket kabiliyeti ile ilgili tüm işlemlere mobilite yönetimi denir. Haberleşme radyo dalgaları ile yapıldığında radyo alıcısına sahip herkes haberleşmeyi dinleyebilir. Bunu engellemek için şifrelenerek haberleşmenin güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Diğer bir güvenlik yöntemi ise; kimlik doğrulamanın gerçekleştirilmesiyle hem sahteciliğin hem de çalıntı telefonların kullanılması önlenir. Ücretlendirme abonelerin hareketli telefonu kullanmasının kaydının tutulması ve faturalandırılmasıdır.

GSM ağı, ağ (şebeke) anahtarlama alt sistemi (NSS; Network Switching Subsystem) ve baz istasyonu alt sisteminden (BSS; Base Station Subsystem) oluşur. NSS çağrı işleme, mobilite yönetimi, güvenlik ve ücretlendirme gibi işlemleri yapar. BSS ise hareketli istasyonlara yönelik olan radyo sistemi ile ilgili fonksiyonları yönetir.

NSS çağrı işleme bölümü mobil anahtarlama merkezi (MSC; Mobile Switching Center) ve Gateway-MSC'de bulunur. İlki BSS'leri birbirine bağlarken ikincisi sabit telefon şebekesi (PSTN; Public Switched Telephone Network), tümleşik hizmetler sayısal şebekesi (ISDN; Integrated Services Digital Network) ve internet gibi ağları birbirine bağlar.

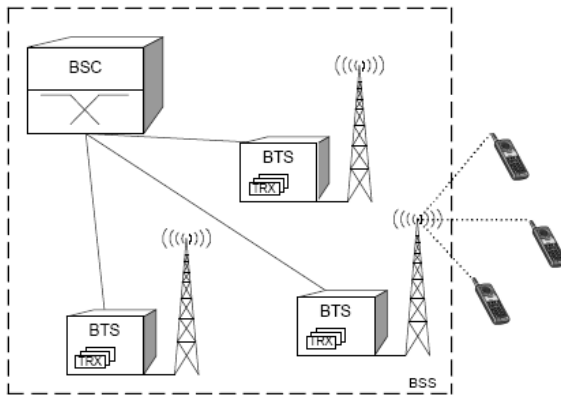
Abonelerle ilgili işlemler ise birçok bölüme ayrılmıştır. Kalıcı konum kütüğü (HLR; Home Location Register), ziyaretçi konum kütüğü (VLR; Visitor Location Register), kimlik denetim merkezi (AUC; Authentication Center), cihaz kimlik kütüğüdür (EIR; Equipment Identity Register). EIR, HLR ve VLR abonelerin bilgilerinin bulunduğu veritabanlarıdır. HLR, belirli bir operatör için cep telefonunun nerede olduğu, abone kimlik bilgileri gibi her türlü veriyi tutan veri tabanıdır. VLR ise belirli bir MSC sınırları içinde servis verilen abonelerin HLR'deki bilgilerinin kopyasını geçici olarak tutar. Abone bilgilerinin HLR'den VLR'e kopyalamak ağdaki mobilite yönetiminin bir parçasıdır. AUC ise bütün güvenlik operasyonlarını yönetir. EIR, şebeke içerisindeki hareketli istasyonların listesinin tutulduğu veri tabanıdır. Burada tüm hareketli istasyonların uluslararası mobil cihaz kimliği (IMEI; International Mobile Equipment Identity) bulunur.



Şekil 3.1. NSS'in mantıksal yapısı

3.1. Baz İstasyonu Sistemi

BSS'nin öncelikli görevi MS ile bağlantı sağlamaktır. Bunu iki ayrı bölümde gerçekleştirir. Baz istasyonu kontrolörü (BSC; Base Station Controller) ve baz alıcı-verici istasyonu (BTS; Base Transceiver Station). BSC, BSS'nin kontrol birimidir ve birçok BTS ona bağlıdır. BSS karar verme mekanizmasını barındırmadığından bu bölümle ilgili kararların hepsi BSC'de alınır. Örneğin BSC, MS'nin yardımıyla farklı BTS'lerden gelen sinyal kalitesi bilgilerini toplayarak hücre değiştirmeye (el değiştirme, devretme işlemi, hand over) gerek olup olmadığının kararını verir. BTS, MS ile arasındaki radyo bağlantısını kurmak için ülke genelinde araziye yerleştirilirler. BTS'lerde fazla mantıksal birim bulunmaz. Daha çok radyo arayüzü ve omurga arasında köprü görevi yapar. Kararlar MSC ve BSC'de alınır. Bir BTS her biri fiziksel antenleri kontrol eden birçok verici/alıcı (TRX; Transmitter/receiver) modülünü kontrol eder.



Şekil 3.2. BSS'in mantıksal altyapısı

3.2. MS (Hareketli istasyon)

GSM ağıyla haberleşmeyi sağlayan cihaza hareketli istasyon denir. MS kablolu ağın bir parçası olmamasına rağmen ağın işlevliği ile ilgili olarak önemlidir. Kablolu telefon sisteminde telefon abonelinin ağa eklendiği durumu temsil eder. Fakat bu durum abone kimliğinin ve cihazın farklı olduğu GSM'de tam olarak aynı değildir. MS'de bulunan SIM (Subscriber Identity Module) kullanıcının kimliğini temsil eder.

MS, SIM olmadan kullanılmaz. Kimlik doğrulama (authentication) anahtarı, kodlama algoritmaları ve kullanıcı bilgisi SIM üzerinde kaydedilir.

3.3. Fiziksel Mimari

3.3.1. Fiziksel alt yapı

GSM ağında en alt seviye kapsama alanı hücredir. Hücre, bir BTS'deki tek bir TRX'in kapsadığı alana denir. Hücrenin yarıçapı TRX'in transmisyon gücüne bağlıdır fakat genellikle 1-30 km arası değişir. Düşük nüfus dağılımlı bölgelerde transmisyon gücü en üsttedir ve tek bir TRX kullanılır. Şehir içinde ise BTS tipik olarak en az 3 TRX içerir ve her bir anten 120⁰'lik bir alanı kapsar.

Daha sonra gelen kapsama alanı seviyesi ise yerleşim alanıdır (LA; Location Area). Bir LA belirli bir sınır içindeki hücrelerin kümesidir. BSC birçok LA'ı kontrol eder. Ağ bir MS ile temas kurmak istediğinde MS'nin içinde bulunduğu LA'daki bütün hücrelere komut gider. Bu nedenle LA'nın boyutu sinyalleşme band genişliğinin tasarruflu kullanımı için önemlidir.

Bir MSC'nin kontrolü altındaki kapsama alanı seviyesine MSC servis alanı denir. Birçok LA'nın birleşiminden oluşur ve her LA yalnızca sadece bir MSC servisi alanın parçasıdır. Ağ operatörünün kapsadığı alana genel yer mobil şebekesi (PLMN; Public Land Mobile Network) denir.

3.3.2. GSM'deki test ve ölçümler

GSM teknolojisi çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Doğal olarak bu tür bir teknolojinin kurulması, işletmeye alınması, yönetilmesi ve optimize edilmesi büyük bir iştir. Kaynakların kısıtlı olması sebebiyle ağ optimizasyonu gittikçe kritik hale gelen bir ekonomik faktör olmaktadır. Ağ performansı, ağ kullanımı, abone davranışı ve hizmet kalitesi (QoS; Quality of Service) konusuna hakim olabilmek için aşağıda belirtildiği gibi bir takım testlerin yapılması gerekmektedir.

Trafik analizi; Avrupa veya Amerika standartlarının PCM (Pulse Code Modulation) çerçevesi içerisindeki sinyal kanalları Abis içerisinde ve GSM ağının ara yüzlerinde analiz edilir ve izlenir.

Bit Hata Oranı (BER; Bit Error Rate); BER testi, PCM düzeyinde hata ölçümüdür. PCM bit hata oranı sabit şebeke operatörlerinin kiralık hatların kalitesini onaylamaları gereken GSM operatörleri için önemlidir. GSM düzeyinde TRAU'daki (Transcoder and Rate Adaption Unit, Transfer Kodlama ve Hız Ayarlama Ünitesi) kontrol bitlerinin değerlendirilmesiyle gerçek iletişim esnasında bir bit hatası olasılığı belirlenebilir.

Şebeke kalitesi testi; şebeke kalitesinin ölçülmesini sağlayan ve potansiyel gelişim alanlarını ortaya çıkaran bir dizi farklı ölçümleri içerir. Bu durumun içinde ada problemleri, kapsama deliklerinin belirlenmesi, sinyal ve trafik ile ilgili şebeke yükü, hücre değişim hataları, alma düzeyi izleme, BTS bit hata oranı, çok yönlü girişim ve yayılma gecikmeleri, frekans girişimi, çağrı tamamlama/kesme hızı, sistemin aşırı yüklenmesidir.

Bir GSM ağının en uygun açıdan derecelendirilmesi ağ parametrelerinin, istatistiklerinin, sinyalleşme protokollerinin ve alarmlarının kapsamlı analizini gerektirmektedir.

3.4. GSM Ağı

Dolaşım; bu özellik kullanıcının herhangi bir GSM ağında çağrı gerçekleştirmesini, almasını ve aynı kullanıcıya ait özellikleri tüm dünyada kullanmasını sağlar.

Hücre değişimi (Hand Over; devretme); hücresel şebekede radyo ve sabit ses bağlantıları, bir çağrı boyunca sürekli olarak tahsis edilmezler. Devretme, devam eden bir çağrıyı farklı bir kanala veya hücreye iletmek anlamına gelir. GSM'de bu devretme 4 farklı şekilde olur. Bunlar; aynı hücre içerisindeki kanallarda, aynı BSC tarafından kontrol edilen hücrelerde (BTS'ler arası devretme), farklı BSC'lerin

kontrol altında ancak aynı MSC'ye ait olan hücrelerde (BSC'ler arası devretme) ve farklı MSC'lerin kontrolü altındaki hücrelerde (MSC'ler arası devretme).

Devretme işlemi BSC veya MSC tarafından başlatılabilir. Konuşma sırasında zaman aralıklarında komşu hücredeki yayın kontrolü yapılır ve muhtemel devretme işlemi en iyi altı adayın listesini oluşturur. Bu bilgi BSC'ye ve MSC'ye en az saniyede bir iletilir ve devretme algoritması için kullanılır. Bu devretme işleminin ne zaman başlatılacağı konusundaki karar verme işlemi aşağıda belirtilen parametreler doğrultusunda gerçekleştirilir.

Çok yönlü eşleme, sinyalin istenmeyen yansımalarından ayırt edilmesi için kullanılır. Öncelikle iletilmiş sinyalin çok yönlü zayıflama ile nasıl değiştiği belirlenir.

Frekans sekmesi (Frequency Hopping); mobil istasyonun frekans hızlığı bulunmaktadır. Bunun anlamı verileri iletmek ve almak için farklı frekanslar arasında dolaşabilmesidir. Normal bir cihaz saniyede 217 defa frekans değişimi yapar. Bu yöntemle BTS her bir TDMA (Time Division Multiple Access, Zaman Bölme Çoklu Erişim) çerçevesi farklı bir taşıyıcı frekansa iletilir.

Kesikli iletim (DTX; Discontinuous Transmission); mobil istasyonun pil tüketimini azaltmak ve hava arayüzündeki girişimi en aza indirmek için kullanıcı sinyali iletimi konuşmalar esnasında kesilir.

Süreksiz alma (DRX; Discontinuous Reception); hareketli istasyondaki pilin enerjisini korumak için kullanılan bir diğer yöntem de süreksiz almadır. Baz istasyonu tarafından gelen çağrı sinyalini yayınlamak için kullanılan arama kanalı alt kanallara yapılandırılmıştır. Birbirini takip eden arama alt kanalları arasındaki sürede hareketli istasyon uyuma moduna geçer.

3.5. GSM Ağındaki Bilgi Dağılımı

GSM ağının mantıksal mimarisi bölümlerin hiyerarşik bir sıralamasıdır. NSS, BSS'leri ve BSC'de BTS'leri kontrol eder. NSS'ler arasında bir sıralama yoktur. Tüm MSC'ler ise kontrol olarak birbirlerine eşittir.

MS; ağın sabit kısımlarıyla ilgili hiçbir bilgiye sahip değildir. Açıldığı ve izin alındığında içinde bulunduğu LA ve hücre hakkında bilgi alır. BSC ve MSC ile ilgili hiçbir bilgisi yoktur.

BTS; radyo ile ağın kablolu kısmı arasındaki köprü olarak görev yapar. Hizmet verdiği hücreler ile ilgili bilgilerle ayarlamaları yapılır. Bu bilgi hücre kimliği ve radyo frekanslarını kapsar.

BSC; ağ içinde karar verme yeteneğine sahip olan en düşük seviyeli bölümdür. Kontrol ettiği bütün BTS'ler hakkında ve onların etrafındaki BTS'ler ile fiziksel bağlantıları hakkında bilgisi vardır. BSC ayrıca MS'e hangi hücrenin radyo kalitesini ölçmesini söyleyebilmesi için kendi alanının çevresindeki komşu hücreler hakkında da bilgi sahibidir.

MSC; GSM ağının en üstteki parçasıdır ve ağ hakkında en çok bilgiye sahip olan kısımdır. Fakat tüm ağ hakkında bilgisi yoktur. Kendi servis alanındaki tüm hücre ve BSC'leri ve bağlantılarını bilir. Belirli bir hücre kimliği verildiğinde kendi servis alanındaysa onun hangi BSC'ye bağlı olduğunu belirler.

3.6. GSM Ağının Özellikleri

3.6.1. Hava ara yüzündeki sinyal kanalları

Fiziksel kanallara birkaç mantıksal kanal eşlenir. Mantıksal kanalların organizasyonu uygulamaya ve bilgi akımının yönüne bağlıdır (verme, alma ve iki yönlü). Bir mantıksal kanal kullanıcı verilerini taşıyan bir trafik kanalı ve kontrol kanalarından

oluşur. Bir GSM radyo frekans taşıyıcısı 8 MS abonesinin aynı anda görüşme yapmasını destekler. Taşıyıcı üzerindeki her bir kanal sürenin 1/8'dir. Bu tekniğe zaman bölmeli çoklu erişim (TDMA, Time Division Multiple Access) denir. Süre zaman dilimi denilen eşit dilimlere ayrılmıştır. Zaman dilimleri sıra ile ve 0-7 arasında numara verilerek düzenlenmiştir. Tekrarlanan her bir 8 zaman dilimlik periyoda TDMA çerçevesi denir. Her bir telefon görüşmesi bir zaman diliminde taşınır. Zaman dilimi içinde taşınan bilgi "burst" olarak isimlendirilir. MS ile BTS arasındaki bu bağlantı bilgi taşımak için kullanılan fiziksel kanallardır. Bu kanallarda farklı zaman ve durumlarda farklı bilgiler taşınmaktadır.

Kontrol kanalları

MS açık konuma getirildiğinde ilk olarak BS bulmaya çalışır. Bu işlemi tüm frekans bandlarını arayarak veya operatör için ayrılmış olan yayın kontrol kanalı (BCCH) taşıyıcısını içeren bir prosedür kullanarak yapar. MS en kuvvetli taşıyıcıyı bulduğunda bunun BCCH taşıyıcısı olup olmadığını tespit eder. Bir hücrede sadece bir tane BCCH bulunur. Ve bir TS yer kaplar. Genellikle ilk TRX'in 0. TS'inde yer alır. MS bu kanalın bulunduğu frekans üzerinden hücrenin sinyal seviyesini ölçer. Bu sebeple girişim azaltmaya yönelik gelişmiş ağ özelliklerinden biri olan dinamik güç kontrolü BCCH'in bulunduğu TRX üzerinde uygulanmaz. BCCH'in bulunduğu TRX üzerinde bir konuşma olmasa bile her zaman sabit ve tam güçle iletim yapar [42]. Bu yüzden *BCCH tekrar kullanımının sıklığı tüm sistem performansını ve kapasitesini etkilemektedir.*

Yayın Kanalı (BCH): Sadece alma yönünde bilgileri taşırlar. Esas olarak senkronizasyon ve frekans düzeltmesinden sorumludurlar. Bu, nokta-çoklu nokta iletişimini sağlayan tek kanal tipidir. Burada kısa mesajlar birçok cep telefonuna eş zamanlı olarak iletilir. Görevlerinden biri BCCH taşıyıcısından emin olmak diğeri de MS'nin frekansa senkron olarak bağlanmasını sağlamaktır. Bir BCH aşağıdaki kanalları içerir:

Yayın Kontrol Kanalı (BCCH) : Genel bilgiler, hücreye özel, yerel alan kodu (LAC), şebeke operatörü, erişim parametreleri, komşu hücrelerin listesi vs. verilerini içerir. MS, BCCH'den gelen sinyalleri, aynı şebeke içerisinde bulunan birçok BTS'lerden ve/veya farklı şebekelerden alır. Bu bilgiler BCCH içinde gönderilir ve izin verilen maksimum çıkış gücünü ve komşu hücrelerin BCCH taşıyıcılarını içerir [42]. Ayrıca tahsis edilmiş veya boşta olan frekans bilgileri tutulur.

Frekans Düzeltme Kanalı (FCCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. MS frekanslarının düzeltilmesi, frekans standardının cep telefonuna iletilmesi, aynı zamanda zaman aralıkları arasındaki sınırları ve bir TDMA çerçevesinin ilk zaman aralığının konumunu temin ederek alma senkronizasyonu amacıyla da kullanılır [42].

Senkronizasyon Kanalı (SCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. Çerçeve senkronizasyonu (TDMA çerçeve numarası) ve baz istasyonun tanımlanması bilgilerini içerir. SCH burst'un geçerli bir şekilde alınması, cep telefonunun bir BTS ile senkronize olması için gerekli tüm bilgileri temin eder. MS, senkronizasyon kanalını dinleyerek seçilen BS'nin bu hücresindeki TDMA çerçeve yapısındaki bilgiyi alır. Bu bilgi TDMA çerçeve numarasıdır [42].

Ortak Kontrol Kanalları (CCCH): Cep telefonu ve baz alıcı ve verici istasyonu (BTS) arasındaki bir grup yukarı yönde (uplink) ve aşağı yönde (downlink) kanallardır. Bu kanallar, şebekeden cep telefonlarına doğru bilgi iletilmesi için kullanılır ve şebekeye erişim sağlar. CCCH'ler, aşağıdaki kanalları içerirler;

Çağırma Kanalı (PCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. Cep telefonu, baz alıcı ve verici istasyonu (BTS) tarafından gelen çağrılar konusunda PCH üzerinden bilgilendirilir. Belirli zaman aralıkları içinde MS şebekenin kendisi ile bağlantı kurmak isteyip istemediğini görmek için PCH'i dinleyecektir.

Erişim Verme Kanalı (AGCH) : Sadece alma yönünde kullanılır. BTS, cep telefonuna bir TCH veya SDCCH tayin eder ve böylece şebekeye cep telefonunun erişimini sağlar.

Rasgele Erişim Kanalı (RACH) : Sadece alma yönünde kullanılır. Cep telefonunun bir aramaya cevap olarak veya bir arama sebebiyle bir SDCCH isteğine RACH üzerinden izin verir ve sinyalleşme kanalı talebinde bulunur. Cep telefonları bu kanal üzerinden gönderme yapmak için rasgele bir zaman aralığı seçer. Bu diğer cep telefonlarından gelen sinyallerle çakışmaya neden olabilir [42].

Tahsis Edilen Kontrol Kanalları (DCCH): DCCH dolaşım, devretme, şifreleme vs. işlemlerden sorumludur. DCCH'ler aşağıdaki kanalları içerir:

Bağımsız Tahsis Edilmiş Kontrol Kanalı (SDCCH) : Cep telefonları ve baz alıcı/verici istasyonları (BTS) arasındaki iletişim kanalıdır. Cep telefonuna trafik kanalı tahsis edilmeden önce bir diğer deyişle çağrı kurma aşamasında sinyalleşme yapmak için kullanılır.

Yavaş İlgili Kontrol Kanalı (SACCH) : Sürekli olarak ölçüm raporlarını bir TCH'nin veya SACCH'nin çalışmasına paralel olarak iletir. Devretme kararları için gereklidir. Genellikle TCH veya SDCCH'ye tahsis edilir. Acil olmayan işlemler, radyo ölçüm verileri, güç kontrolü (sadece alma yönünde) için gereklidir.

Hızlı Bağlantılı Kontrol Kanalı (FACCH) : SDCCH'ye benzerdir ancak TCH'nin çalışmasına paralel olarak kullanılır. FACCH'nin veri hızının yetersiz olması durumunda "ödünç alma modu" kullanılır. TCH'den ek band genişliği ödünç alınır. Bu abonenin çağrı belirleme onayı, teslim kararları v.s. gibi mesajlar için geçerlidir [42].

Trafik kanalları (TCH)

SDCCH kanalı üzerinden TCH bilgisi alındıktan sonra konuşma bu kanal üzerinden yapılır. Gelişmiş ağ özelliklerinden biri olan güç kontrolü TCH kanalları üzerinde uygulanır. TCH kanallarının bulunduğu bir TRX üzerinde konuşma yok ise bu TRX iletimde bulunmaz ve girişim azaltılır. Ayrıca MS'e TCH kanalı atanıp konuşma başladığında MS'nin ölçtüğü hücre sinyal seviyesi ve kalitesi bilgileri değerlendirilir.

Ölçülen sinyal seviyesi ve kalitesi uygunsa TCH kanalının bulunduğu frekanstaki girişimi azaltmak için TRX'in çıkış gücü uygun bir değere kadar azaltılır. Böylece aynı frekansı kullanan başka hücrelere olan girişimde azalır. Ancak TCH kanalı, BCCH kanalı ile aynı TRX üzerinde ise bu TRX'e güç kontrolü uygulanmadığı için bu frekansta konuşma olsun olmasın en yüksek sinyal seviyesi görülür. Bu sebeple frekans planı yapılırken BCCH'in bulunduğu TRX'lere verilen frekanslar ile diğer TRX'lere verilen frekansların farklı ve ardışık olmaması, TCH frekanslarındaki sinyal kalitesinin daha iyi olmasını sağlar. Aksi bir durumda BCCH'in bulunduğu TRX her zaman tam güçle iletimde olduğundan başka bir hücrede aynı ya da ardışık bir frekansı kullanan ve güç kontrolü sebebiyle gücü kısılan TRX'deki bir TCH üzerinden konuşan abone girişim yüzünden sesin kesik kesik gelmesi ya da hiç gelmemesi gibi bir sorunla karşılaşır.

3.6.2. TRAU çerçevesi

TRAU (Transcoding and Rate Adaptation Unit- Transfer Kodlama ve Hız Ayarlama Ünitesi) çerçevesi Abis ara yüzünde 16 kbit/s trafik kanalının iletim birimidir. Kullanıcı verileri için 13,6 kbit/s ve 2,4 kbit/s band içi sinyalizasyon için kullanılmaktadır. Burada sinyalizasyon ve veri bitlerinin meydana geldiği konumlar belirlenir.

3.6.3. Kapasite

Kapasite, TRU (alıcı verici ünitesi) sayısı ile doğru orantılıdır [43]. Bir TRU 8 adet kanal içermektedir. Bu kanallarda trafik ve sinyalleşme işlemleri gerçekleştirilir. TRU sayısı arttıkça baz istasyondaki BTS'nin kapasitesi de artacaktır. Ancak baz istasyonun olduğu bölgedeki trafik yoğunluğuna göre maliyeti düşürmek için kullanılan TRU sayısı da düşürülür.

3.6.4. Trafik ve kanal boyutlandırması

GSM de trafik kavramı, bir hücrede ihtiyaç duyulan kanal sayısı gibi yararlı tahminleri elde etmeyi tanımlar. Bu tahminler sisteme ve abonelerin varsayılan ya da gerçek davranışlarına dayanır. Trafik, kanalların kullanımına karşılık gelir ve genellikle saat başına arama süresi olarak düşünülür ve Erlang (E) cinsinden ölçülür. Yani bir abone 1 saat boyunca sürekli bir görüşme gerçekleştirdiği takdirde ölçülen trafik değeri 1 Erlang olacaktır.

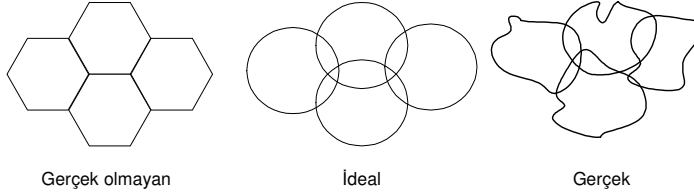
Yapılan ölçümler sonucunda yoğun saat denilen zaman diliminde abone başına ortalama trafiğin 15-20 mE olduğunu göstermektedir. Yani saat başına 54-72 saniye arasında bir aramaya karşılık gelmektedir. Bir hücrenin kaldırabileceği trafik yükünün 10 E olduğu durumda abone başına trafik 20 mE seçilirse bir hücrenin hizmet verebileceği abone sayısı $10/0,002 = 500$ abone/saat olarak bulunur.

Bir hücrenin taşıyabileceği trafik, kullanılabilir trafik kanal sayısına ve sistemi tıkanma aşamasına getiren kabul edilebilir olasılığa yani servis kalitesine bağlıdır. Şebekenin farklı bölümlerinde sistemin tahmin edilen davranışını dikkate alarak sinyalleşme kanallarının (SDCCH) sayılarının boyutlandırılması önemlidir. Kapasite ve girişim problemleri her zaman en verimli şekilde kanal kullanımını engellemektedir. Dolayısıyla gerçek şebekelerde çözümler verimlilik ve kalite arasındaki uzlaşma ile bulunmaktadır.

3.7. GSM'de Hücresel Sistemler ve Hücre Planlaması

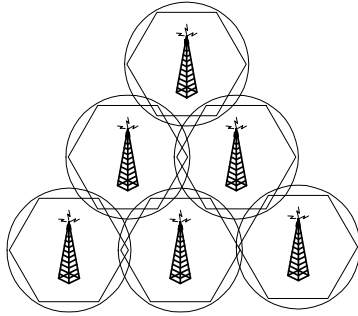
Mobil telefon sistemlerinde haberleşmenin yapılacağı alan hücre adı verilen küçük bölgelere ayrılmıştır. Her hücrenin merkezinde bir baz istasyonu bulunur. Mobil telefonlar haberleşmelerini baz istasyonu üzerinden yaparlar. Baz istasyonları birbirlerine bir ağ yapısı şeklinde bağlıdır [44].

Hücrenin tasarımında kolaylığı sağlamak için hücrelerin bal peteği şeklinde olduğu varsayılır. İdeal bir hücre ise daire şeklindedir. Ancak uygulamada yeryüzüne ilişkin doğal gölgeler yüzünden bu dairesel hücreler bozulmuş bir yapıya sahip olurlar [45].



Şekil 3.3. Hücreler ve kapsama alanlarına göre biçimleri

Herhangi bir mobil telefonda gelen çağrı isteğinin ilgili kullanıcıya ulaştırılması bu ağ yapısı tarafından gerçekleştirilir. Baz istasyonları ile mobil anahtarlama merkezleri (MSC; Mobile Switching Center) ve mobil anahtarlama merkezleri kendi aralarında ya kablolar ya da yönlü radyo linkleri ile bağlıdır. Mobil telefonla baz istasyonları arasındaki iletişim elektromanyetik dalgalar yoluyla gerçekleştirilir. Bu hücresel yapı sayesinde aynı anda daha çok kullanıcı haberleşebilmektedir.



Şekil 3.4. Hücresel ağ yapısı

3.8. Hücre Tasarımı

Hücre tasarımında, mobil terminallerin trafik yoğunluğu ve bölgenin coğrafi etkisi doğrultusunda gereken kalite göz önüne alınmalıdır. Hücre tasarımları hücrenin şekline, antene ve baz istasyonun gücüne göre değişmektedir. Eğer yönetmesiz antenlerle baz istasyonu tasarlanıyorsa baz istasyonlarının etki alanlarında bulunan

ve baz istasyonlarından yayınlanan elektromanyetik dalgalarının alan şiddeti aynı olduğu bölgelerde bir sınıra gerek duyulmaz. Aynı işlem bir baz istasyonu çevresindeki beş baz istasyonu ile tekrarlanırsa hücre altıgen şekline sahip olur. Ancak tasarımda elektromanyetik dalgaların yayınında direkt dalgalar, yansıyan dalgalar ve kırınım dalgaları olabileceğinden büyük ölçüde arazi ve düzensiz yapılaşma göz önüne alınmalıdır [46].

Frekansın tekrar kullanım modelinde frekans tahsisin ve mantıklı kanal tahsisin sağlanması şeklinde tanımlanır. Hücrenin etki alanı, bölgenin koordinatları, yüksekliği ve anten gibi faktörler göz önüne alınarak zorunlu sınırlamalara göre tasarım yapılmalıdır.

Hücre şekli ve frekans planı, trafik hesaplamalarına dayanmakta ve başlangıçta değil daha sonra gelişme sahaları içinde oluşturulmaktadır.

Hücresele sistemlerde girişim problemi vardır. Elektromanyetik dalgalar kaynaktan uzaklaştıkça zayıflıyor olsalar bile uzak mesafelere yayın yapabilmektedir. Bu yüzden aynı taşıyıcı frekansı kullanan hücreler arasında girişimin olması kaçınılmazdır. Hücresele sistemlerde girişim gürültüden daha önemlidir. Kalite, sabit şebekelerde işaret/gürültü (S/N; Sign/Noise) oranı ile belirlenmekte, hücresele sistemlerde taşıyıcı gücü/girişim gücü (C/I; Carrier/Interference) oranı ile belirlenmektedir. Abone yoğunluğun yüksek olduğu büyük bölgelerde verimi arttırmak üzere hücre boyutları küçültülmektedir. Ancak bu durumda komşu hücreler arasındaki mesafe azalacak dolayısıyla güç seviyesinin düşürülmesi gerekecektir.

Hücresele sistemlerin bir diğer dezavantajı abonenin sürekli hareket halinde olması durumunda bir hücreden diğerine aktarılması zorunluluğudur. Hücre boyutlarının küçük olması durumunda bu aktarımların sayısı artacağından sistem üzerindeki yükte artacaktır.

Taşıyıcı gücünün girişime oranı (C/I), alınması istenen işaret düzeyinin istenmeyen işaret düzeyine oranı olarak da tanımlanmaktadır. Bu C/I oranı mobilin anlık

pozisyonuna bağlıdır. Düzensiz bozucu etkilerden ve yerel dağıtıcıların miktarının, tiplerinin, şekillerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yerel girişim kaynaklarının miktarı bölgesel yükseklikler ve durumlar, antenin tipi, yöneticiliği ve yüksekliği gibi diğer faktörlerde sistem içinde C/I oranının dağılımına etki etmektedir.

Makro hücre; makro hücrelerin yarıçapları kilometrelercedir. Düşük hücre geçiş oranı yüzünden merkezileştirilmiştir. Hücreler arası değişim MSC'deki çok sayıdaki hareketli istasyona rağmen mümkündür. Baz istasyonları arasındaki geçiş bölgesi geniştir. Devretme planları pin-pon etkisinden (hareketli istasyonun kısa sürede iki baz istasyonu arasında çok sayıda devretme işlemini gerçekleştirmesidir) kurtulmak için gecikmeye izin verirler. Makro hücreler daha az yol kaybı özelliğine sahiptir [47]. Birinci ve ikinci nesil hücresel sistemler şehir içinde bile makro hücreler kullanarak geniş kapsama alanı sağlarlar. Tipik olarak bir makro hücredeki alıcı-vericiler geniş bir alanı kapsamak için kule üzerindeki yüksek antenlerle yüksek güçte yayın yaparlar.

Mikro hücre; mikro hücrelerin kullanımı hücresel sistemin kapasitesini arttırmada en etkili yoldur. Mikro hücreler kapasiteyi artırır fakat radyo kaynak yönetimini daha da zorlaştırır. Mikro hücreler bir, iki, üç boyutlu ve yol, otoyol, farklı seviyeli bina kapsama alanları gibi sınıflara ayrılabilir. Mikro hücreler trafiğin yoğun olduğu bölgeler, şehir merkezi kümeli ve bina içi 3 boyutlu mikro hücreler olarak da sınıflandırılabilir [48].

Genel olarak mikro hücrelerdeki vericiler düşük güç yayarlar. Ayrıca hareketli istasyonda daha düşük güç yayarak daha uzun pil ömrü ve mobilite sağlarlar. Baz istasyonlarının anten yükseklikleri etrafındaki binalardan daha düşük olması sebebiyle sinyaller sokak boylarınca ilerler. Bu yayılma çevresi düşük zaman dağılımına sahip olup yüksek veri iletimi oranlarına izin verir [49].

Mikro hücreler makro hücrelerde bulunmayan şu kısıtlamalara sahiptir [48].

- 1) Kablolama uzunluğu bir çok sokak lambası boyutunda baz istasyonu kurulabilmesi sebebiyle azaltılmalıdır.
- 2) Daha büyük kapasiteli kablo hattı ve baz istasyonu kümeleri gerekmektedir. Bu da alt yapı maliyetlerini arttırır.
- 3) Baz istasyonu için gerekli yerlerin şehir içindeki fiyatları pahalıdır.

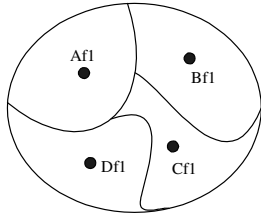
Bu kısıtlamalar mikro hücre mühendisliğine çözülmesi kolay olmayan zorluklar getirmektedir. Bu nedenle mümkün olan en yüksek spektral verimlilik için kaynak kullanımını yönetimi gerekmektedir.

Bir mikro hücresel sistemde iki tip senaryo bulunmaktadır. Görüş mesafesinde olmak (LOS; Line OF Sight) ve görüş mesafesinde olmamak (NLOS; Non Line Of Sight). LOS devretme işlemi görüş mesafesindeki bir baz istasyonundan diğer görüş mesafesindeki baz istasyonuna geçmektir. NLOS devretme işlemi ise görüş mesafesinde olmayan bir baz istasyonundan görüş mesafesinde olmayan baz istasyonuna geçmek demektir.

3.9. Kanal Yükleme Planı

En kolay hücre planlaması sistemde bir hücrenin olması ve tüm taşıyıcıların o hücrede bulunması durumudur. Yine de böylesi bir çözüm dahi birçok sınırlamalarla karşı karşıyadır. Arzu edilen alanın tümünde kapsamayı sağlamak nadiren olan bir durumdur.

Hücresel bir sistem aynı frekans setlerinin tekrar kullanılması üzerine temellenmiştir. Bu frekans setleri kapsanacak alanın bir araya geldiklerinde hücre kümelerini oluşturan daha küçük alanlara bölünmesi ile elde edilir. Bu durum Şekil 3.5’de gösterilmiştir.



Şekil 3.5. 4 farklı hücre kümesine ayrılmış aynı frekans değerini kullanan alan yapısı

Şekil 3.5'deki alan incelendiğinde her bir hücre aynı frekans setlerini kullanmaktadır. Bu durumda girişim denilen olay meydana gelir. Frekans tekrar kullanım uzaklığı, örneğin aynı frekansı kullanan iki hücre arasındaki uzaklık girişimi önlemek için mümkün olduğunca büyük kapasiteyi karşılamak içinde mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.

3.10. Girişim ve Frekans Planlama

Hüresel sistemlerin girişim sınırlamaları çoğunlukla sinyal gücü sınırlamalarından daha fazladır [50]. Yoğun bir GSM şebekesine olumsuz etki eden girişimlerin en yaygın türü ortak frekans (Co-Channel) girişimidir. Ortak frekans girişimi bir hücredeki frekans setleri ile diğer komşu hücrelerdeki frekans setlerinin aynı olması durumunda meydana gelir. İlgilenilen taşıyıcı ve diğer herhangi bir taşıyıcı için aynı frekans kullanıldığında diğer taşıyıcıdan alınan sinyalin gücü büyük olursa sistemde kalite sorunu ortaya çıkar.

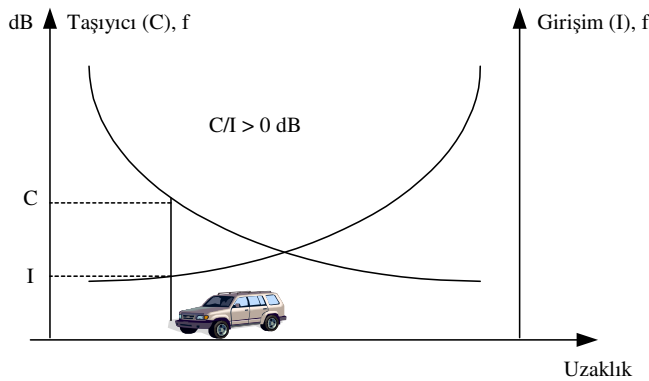
Elektromanyetik dalgalar kaynaktan uzaklaştıkça zayıflıyor olsalar bile uzak mesafelere bile yayın yapabilmektedirler. Bu yüzden aynı taşıyıcı frekansı kullanan hücreler arasında girişimin olması kaçınılmazdır. Öyle ki hüresel sistemler için girişim gürültüden daha önemli bir problemdir. Kalite, sabit şebekelerde işaret gürültü (S/N) oranı ile hüresel sistemlerde taşıyıcı gücü-girişim gücü (C/I) oranı ile belirlenmektedir. Abone yoğunluğunun yüksek olduğu büyük bölgelerde verimi arttırmak için hücre boyutları küçültülmektedir. Ancak bu durumda komşu hücreler arasındaki mesafe azalacak dolayısıyla güç seviyesinin düşürülmesi gerekecektir.

Analog sistemlerden farklı olarak GSM sisteminde söz konusu ortak frekans karışması durumunda bir abone diğer aboneler arasındaki konuşmayı duymaz. Bunun nedeni ise konuşma esnasında konuşmayı gerçekleştirecek iki MS arasındaki iletişimde konuşmalar şifrelenmektedir. Ve bu iki MS de mevcut şifreyi çözdükleri takdirde konuşmalarını anlayacaklardır. Ancak girişimin olduğu durumlarda konuşma sinyallerine gürültülerde (ses bilgisine çevrilemeyen bir dizi bit) eklenecektir. Bu durumda da sinyalin gerçek değeri bozulacağı için şifrenin çözümü gerçekleşmeyecek ve konuşma yapılamayacaktır.

Frekans atlama (hopping) tekniği, sözü edilen bu girişim ve çok yönlü sönüm olaylarına çözüm getirmektedir. Bu teknikte konuşma tüm konuşma boyunca aynı kanal ve aynı TS (Time slot, zaman bölümü) üzerinden yapılmak yerine şebeke aboneyi bir TS'den diğer TS'ye ve bir frekanstan başka bir frekansa aktarmaktadır. Böylece girişimden kaynaklanan etkilerin azaltılması sağlanmaktadır.

GSM sistemindeki abone sayısındaki artış ve operatörler arasındaki rekabet şebeke kapasitesi ve servis kalitesi üzerinde durulmasına neden olmuştur. Bu iki kavramın iyileştirilmesi de mevcut frekans spektrumunun verimli kullanımına bağlıdır.

Girişim seviyeleri şebeke planlamasına yani alıcı-verici (TRU) sayısına, yerleşimine, iletim gücüne, antenlerin planlanmasına ve MS'lerin şebeke içerisindeki pozisyonlarına bağlıdır. Şekil 3.6'da ortak frekans girişimine ait yapı gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Ortak frekans girişimi

Radyo spektrumunun verimli kullanımı frekansların, alıcı-verici ünitelerine, girişimi azaltmak için verimli bir şekilde tahsis edilmesine karşılık gelmektedir. Frekans atlaması, frekans ve girişim çeşitliliği kavramlarını da içine alarak söz konusu problemin üstesinden gelmeyi amaçlayan bir özelliktir.

Frekans atlaması tekniği girişime maruz kalan birçok sayıda hücreyi içeren büyük şebekelerde veya düzensiz yayılım modellerine sahip şebekelerde kullanılması durumunda daha çok yarar sağlamaktadır. Abone tarafından bakıldığında frekans atlaması tekniği konuşma kalitesini iyileştirmektedir. Operatör açısından ise;

- Daha güvenilir ve durumu önceden kestirilebilir bir radyo ortamı,
- Abonelere daha düzenli ve kararlı bir konuşma kalitesinin sağlanması,
- Hücre planlaması sınırlarının düşürülmesi daha sıkı frekans yeniden kullanımı ile kapasite artırılması sağlanır [51].

Taşıyıcı gücünün girişime oranı (C/I), alınması istenen işaret düzeyinin alınan istenmeyen işaret düzeyine oranı olarak da tanımlanmaktadır. Bu C/I oranı mobilin anlık pozisyonuna bağlıdır. Düzensiz bozucu etkilerden ve yerel dağıtıcıların miktarının, tiplerinin, şekillerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Yerel girişim kaynaklarının miktarı bölgesel yükseklikler ve durumlar, antenin tipi, yöneticiliği ve yüksekliği gibi diğer faktörlerde sistem içinde C/I oranının dağılımına etki etmektedir. GSM sistemlerinde taşıyıcı ve girişim arasındaki sinyal şiddet oranının frekans atlamasının olmaması durumunda $C/I > 12$ dB'den büyük, frekans atlamasının olması durumunda ise $C/I > 9$ dB'den büyük olması gerekmektedir.

Komşu taşıyıcı frekanslarının (± 200 KHz kaydırılmış frekanslar), taşıyıcı frekans ile karşılaştırıldıklarında çok güçlü sinyal şiddetine sahip olmalarına izin verilmez. Farklı frekanslarda olmalarına rağmen bu güçlü sinyalin bir kısmı mevcut taşıyıcı ile karışabilir ve kalite problemine sebep olabilir. Ayrıca taşıyıcı frekans C ve girişim yapan komşu frekans A arasındaki sinyal şiddet oranının $C/A > -9$ dB'den büyük olması gerekmektedir.

GSM teknolojisi çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Doğal olarak bu tür bir teknolojinin kurulması, işletmeye alınması, yönetilmesi ve optimize edilmesi büyük bir iştir. Kaynakların kısıtlı olması sebebiyle ağ optimizasyonu gittikçe kritik hale gelen bir ekonomik faktör olmaktadır. Ağ performansı, ağ kullanımı, abone davranışı ve hizmet kalitesi konusuna hakim olabilmek gerekmektedir. Bir GSM ağının en uygun açıdan derecelendirilmesi ağ parametrelerinin, istatistiklerinin, sinyalleşme protokollerinin ve alarmlarının kapsamlı analizini gerektirir.

Dünyadaki her bir GSM operatörünün sınırlı sayıda kullanabildiği frekans vardır. Ülkemizde GSM 900 MHz bandında 25 MHz verme yönünde ve 25 MHz alma yönünde olmak üzere 125 adet 200 KHz'lik taşıyıcı frekansa ayrılmıştır. 20 MHz'de iki band arasında koruma bandı ve ileride gerçekleşecek uygulamalar için yedek olarak bırakılmıştır. Frekans dilimlerinde kullanılan radyo dalgalarının özelliği gereği oluşan harmoniklerin band dışına taşıyor olması nedeniyle ayrılan frekans aralığının başında ve sonunda 100 KHz'lik kısımlar diğer frekanslarının etkilenmemesi için kullanılmaktadır. Bu nedenle toplam 125 frekans kanalının 124 tanesi etkin olarak kullanılmaktadır. Bunlardan 10-19 ve 81-120 aralığındaki frekanslar Turkcell'in kullanımına verilmiştir. Bu durumda bir operatörün sınırlı sayıdaki frekanslarla bütün ülkeyi kapsamaması oldukça zordur. Türkiye gibi bir ülkenin sadece 50 adet frekans ile bütün her yerine yüzde yüz kalite ile hizmet verilemez. Bu duruma çözüm sağlamak için operatörler frekans kullanımı ve hangi sıklıkla kullanacaklarına karar vermek için çeşitli hesaplamalar ve yapılar kullanmaktadır.

Yukarıda belirtilen taşıyıcı frekans sayılarının sınırlı olması durumunda birbirinden farklı belirli sayıda hücrenin kaçınılmaz olarak aynı ya da komşu frekansları kullanması gerekecektir. Bu durum sırasıyla kanal içi ve komşu kanal girişimine neden olmaktadır.

Hücresel sistemlerin tasarımında temel ilke frekansın yeniden kullanım şekilleridir. Frekansın yeniden kullanımı coğrafi olarak farklı alanları kapsayan aynı taşıyıcı frekans üzerinde radyo kanallarının kullanımı olarak tanımlanır. Binlerce abonenin

tek bir şehir alanında bulunduğu düşünülürse sistem kapasitesini arttırmak için frekansların yeniden kullanılması problemi ve bununla birlikte sistemin geliştirilmesinin önemi de artmaktadır.

3.11. Hücre Değişimi

Hücre değişimi (Hand Over; devretme); hücresel şebekede radyo ve sabit ses bağlantıları, bir çağrı boyunca sürekli olarak tahsis edilmezler. Devretme, devam eden bir çağrıyı farklı bir kanala veya hücreye iletmek anlamına gelir. GSM’de bu devretme 4 farklı şekilde olur. Bunlar; aynı hücre içerisindeki kanallarda, aynı BSC tarafından kontrol edilen hücrelerde (BTS’ler arası devretme), farklı BSC’lerin kontrol altında ancak aynı MSC’ye ait olan hücrelerde (BSC’ler arası devretme) ve farklı MSC’lerin kontrolü altındaki hücrelerdedir (MSC’ler arası devretme).

Devretme işlemi hareketli istasyonun çağrı sırasında hareketinin devamlılığını sağlayan en önemli yöntemdir. Çağrının devam ediyor olması bu işlemin süresinin önemini artırır. Devretme kararı o anda hizmet veren BSC tarafından verilir. Ancak o anda BSC direkt olarak kablosuz kanal hakkında bilgiye sahip değildir. Bu sebeple BTS’lerden ve MS’den hat ile ilgili bilgileri alır. MS ölçüm sonuçlarını periyodik olarak BTS’e gönderir. Ölçüm sonuçlarının içinde aşağı linkin (baz istasyonundan hareketli istasyona) ve çevre hücrelerin sinyal kalitesini belirten bilgiler bulunur. O anda hizmet veren BTS de yukarı linkin (hareketli istasyondan baz istasyona) kalitesini ölçer. Bütün bu ölçüm raporları BSC’ye gönderilir ve bu verilere dayanarak devretme işlemine gerek olup olmadığına karar verilir.

Devretme işlemi sebebiyle kanal değişikliği Zaman Bölmeli Çoklu Erişim (TDMA; Time Division Multiple Access)’de zaman boşluğu sebebiyle, Frekans Bölmeli Çoklu Erişim (FDMA; Frequency Division Multiple Access) kullanıldığında frekans bandı sebebiyle, Kod Bölmeli Çoklu Erişim (CDMA; Code Division Multiple Access) kullanıldığında kod sebebiyle olur.

Devretme işleminin nedenleri; hücre sel haberleşme planlanırken şu sıralamalar göz önünde bulundurulur; trafik yükünün yoğunluğunun hesaplanması, hücre boyutunu ve kapasitesi belirleme, her yönlü ve belirli bölümlere yönelik anten yönleri hakkında karar verme, baz istasyon yerini en iyi şekilde belirleyerek istenen alanı kapsamak, frekans tahsisi yapmak, güç kontrol parametrelerinin seçimi ve devretme işlem parametrelerinin seçimidir.

Devretme işlemi spektral etkinliğe (belirli bir alanda servis yapılabilecek en çok çağrı sayısı gibi) ve kullanıcılar tarafından algılanan kaliteye karar verir. Etkili bir devretme işlemi gerçekleştirme algoritmaları düşük maliyeti muhafaza ederken haberleşme sisteminin kapasitesini ve servis kalitesini artırır. Devretme işlemi başlangıç fazı ve işletim fazı olarak iki ayrı faz olarak düşünülebilir. Devretme işlemine radyolink, ağ yönetimi ve servis seçenekleri sebep olur.

Radyolinkle ilgili olan sebeplerde, kullanıcılar tarafından fark edilen kaliteyi yansıtır. Servis kalitesini etkileyen ana değişkenler Alınan Sinyal Gücü (RSS; Received Signal Strength), Sinyal/Girişim Oranı (SIR; Signal to Interference Ratio) ve sistemle ilgili kısıtlamalardır. Yetersiz RSS ve SIR servis kalitesini azaltır. Bunun üstüne kesin sistem gereksinimleri karşılanmazsa servis kalitesi ileri derecede bozulabilir.

Devretme işlemine yetersiz RSS sebebiyle şu durumlarda ihtiyaç duyulur:

- 1- MS'nin hücre sınırına yaklaşması
- 2- Hücre içerisinde sinyal boşluklarına düşülmesi
- 3- SIR'ın düşmesi CCI (Co-Channel Interference, Eş Kanal Girişimi)'ı artırır ve bu sebeple devretme işleminin gerçekleştirilme zorunluluğu doğar.
- 4- Sistemle ilgili kısıtlamalara örnek olarak da TDMA sistemdeki senkronizasyon ihtiyacı verilebilir.

Ağ yönetimi ile ilgili olan sebeplerde, ağ bir hücrede sıklığı önlemek için devretme işlemi gerçekleştirir. Aynı kanal birkaç baz istasyonunda alınmış olunması durumunda ağ devretme işlemi yapar. Eğer ağ kullanılan bağlantı

yolunda bilgi iletiminde sorunlar olduğunu tespit eder veya bu yolun en kısa yol olmadığına karar verirse çağrıyı devrettirir.

Servis seçenekleriyle ilgili olan sebeplerde, MS'nin kullanmak istediği servisin o baz istasyonu tarafından sağlanmadığı durumlarda servisi sağlayabilecek baz istasyonuna geçiş yapılır. Devretme işlemi MS'nin daha ucuz bir servis sağlayıcısına bağlanmak istemesiyle de başlayabilir. Ağ yönetimi ve servise bağlı devretme işlemleri genellikle çok sık olmaz ve başa çıkmak kolaydır. Fakat radyolink sebebiyle gündeme gelen devretme işlemleri çok sık olur ve başa çıkılması daha zordur.

Devretme işlemi algoritmasından istenen özellikler; etkili bir devretme işlemi birçok istenilen özellikleri farklı işletim karakteristikleri arasında denge kurarak gerçekleştirir. Buna göre iyi bir devretme işleminden istenenler; maksimum güvenilirlik ve haberleşme kalitesi, hücre sınırlarında ve trafik dengesinde devamlılık, minimum devretme işlemi ve trafik dengesidir [52].

Yapılacak algoritmalarından istenen özellikler ise;

- Devretme işlemi hızlı olmalıdır ki kullanıcı servis kalitesindeki azalmayı veya servisteki kesilmeyi hissetmemelidir. Servis kalitesinin azalması sinyal seviyesindeki sürekli azalma veya CCI'daki artıştan kaynaklanabilir. Devretme algoritmasının işletimdeki gecikmesinin MSC'deki ağ gecikmesine eklenildiğinde gecikme süresi daha da artacaktır. Hızlı bir devretme işlemi CCI'de azaltır.
- Devretme işlemi güvenilir olmalıdır. Devretme işleminden sonra çağrının kalitesinin yüksek olması gerekir. SIR ve RSS aday bazın servis kalitesinin potansiyelini belirlemeye yardımcı olur.
- Devretme işlemi başarılı olmalıdır. Bu yüzden aday baz istasyonunda boş bir kanal olmalıdır. Etkili bir kanal atlama algoritması ve trafik dengeleme işlemi başarılı bir devretmenin gerçekleşmesini sağlar.

- Devretme işleminin etkilerinin servis kalitesindeki etkileri en az olmalıdır. Servis kalitesi devretme işleminden önce düşük RSS, SIR sebebiyle zayıf olabilir.
- Devretme işlemi planlanan hücrelerin devamlılığını sağlamalıdır ki çakışmalar yüksek girişim ve yeni hücre içinde ayrılmış kanalların kullanımını azaltsın. Her baz istasyonu planlanan yükü taşıyabilmektedir.
- Devretme işlemi adedi minimize edilmelidir. Aşırı sayıdaki devretme olayı işlem yükünün artmasına sebep olurken beraberinde şu sonuçları da doğurur:
 - Devretme işlemi için çok sayıda girişimde bulunulması çağrının kanala erişmesinin engellemesi riskini artırır.
 - Daha çok teşebbüs MSC'deki gecikmeyi artırır. Bu da sinyal gücünün azalmasına neden olur. Ayrıca çağrıya yeterli SIR sağlanamazsa çağrı kaybedilir. Devretme işlemi yeni baz istasyonuna çağrıyı bağlamak için ağ kaynaklarını kullanır. Böylece devretme sayısı minimize edilirken anahtarlama yükü de azalır. Gereksiz devretmeler engellenmelidir ki mevcut baz istasyonu istenen kaliteyi sağlayabilsin.
- Birden fazla aday istasyon olabileceğinden aday baz istasyonu doğru olarak seçilmelidir. Doğru hücreyi bulmak gereksiz ve sık devretme işlemi engeller.
- Devretme işlemi o sırada devam eden çağrılarının kayıplarını istenen servis kalitesini sağlayarak minimize etmelidir.
- Devretmenin yeni çağrının bloke olma olasılığını minimize eden bir etkiye sahip olması gerekir.
- Devretme işlemi komşu hücrelerdeki trafiği dengelemelidir. Kanal ödünç almayı ortadan kaldırarak hücre planlamasını ve işletimini basitleştirmelidir.
- Genel girişim seviyesi minimize edilmelidir. Saf minimum güç iletimi ve planlanan hücre sınırlarının korunması amacını gerçekleştirmelidir.

Devretme işlemi algoritmalarının karmaşıklığı; hücrelerin boyutu azaldıkça çağrı başına düşen devretme işlemi sayısı artar ve RSS, SIR, BER (Bit Error Ratio) hızlı bir şekilde değişir. Bu da devretme işlemi için gereken işlem süresinin azalmasına

sebepler olur. Bunun yanında altyapı tarafından hizmet sağlanan MS sayısının artmasına sebep olur.

Topolojik özellikler; bir sinyal profili yayılma yol kaybı üssünün büyüklüğü ve kırılma noktası ile tanımlanır ve yüzey şekilleriyle değişir. Devretme işleminin performansı bölgedeki sinyal profiline bağlıdır.

Pratik trafik dağılımı zamanın ve uzayın fonksiyonudur. Sistem, trafik farklılıklarında iyi performans göstermelidir. Trafikteki uzaysal düzensizliklerle başa çıkmanın yolları komşu hücrelerle trafik dengelemesi yapmak, farklı boyutta hücreler kullanmak, hücrede düzgün dağılımlı olmayan kanal tahsisi yapmak ve dinamik kanal tahsisidir.

Yayılma olgusu; radyo yayılımı etraftaki binalardan oldukça etkilenir. Bazı topolojik çevrenin etkisiyle baz istasyonundan uzak mesafedeki alınan sinyalin gücü yakından alınan sinyal gücünden daha yüksek olabilir.

Sistem kısıtlamaları; bazı hücresel sistemler dinamik güç algoritmalarıyla donatılmıştır ki bunlar MS'nin minimum güç harcayarak belirli bir iletişim kalitesinin devam ettirilmesine olanak sağlar.

Mobilite; MS'nin baz istasyonundan hızla uzaklaştığı durumlarda haberleşme kalitesi hızla düşer. Bu gibi durumlarda devretme işlemi hızlı yapılmalıdır. Dinamik hücresel çevrede yüksek performans elde etmek için devretme algoritmaları trafik yoğunluğunun değişimine, topolojik değişimlere ve yayılma şartlarının rasgele doğasına uygun olmalıdır.

Devretme işlemi kriterleri; alınan sinyal kuvveti (RSS); birçok sistem girişim limitlidir. Bunun anlamı sinyal kuvveti sinyal kalitesini yeterli derecede göstermesidir. Bu sinyal gücü temelli karar verme mekanizmaları için güdümlenici olmuştur. Bunun yanında RSS ve baz istasyonu-MS arası mesafe arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. CCI'in dahil edilmemesi bu kriterin dezavantajıdır. CCI mikro

hücrelerde daha önemlidir. Çünkü mikro hücreler girişim limitli ve gürültü limitlidir. Bunun yanında birçok faktör istenilen alandan daha farklı bir kapsama alanına sahip olunmasına sebep olur.

Sinyal-Girişim oranı (SIR); SIR ya da C/I kullanmanın avantajı SIR'ın ses kalitesi, sistem kapasitesi ve kayıp çağrı kapasitesi için genel bir parametre olmasıdır. BER sıklıkla SIR'ı hesaplamak için kullanılır. Gerçek C/I oranı istenen C/I oranından daha küçük olması durumunda ses kalitesi daha zayıf olur ve kayıp çağrı oranı artar. SIR ayrıca tekrar kullanım alanını belirler. Ancak CIR yayılma şartlarından dolayı osilasyon yapar ve pin-pon etkisine sebep olur. BER'in link kalitesi açısından iyi bir gösterge olmasına rağmen hizmet veren baz istasyonu yanında kötü link kalitesi gösterebilir. İşte böylesi bir anda devretme işlemi istenmez.

Mesafe; bu kriter planlanan hücre sınırını muhafaza etme için kullanılır. Mesafe sinyal gücü ölçümleriyle hesap edilebilir [53]. Mesafe ölçümü özel teknik ekipman ve sistemde genel bir saatin olmasını gerektirir. Mesafe kriteri makro hücreler için daha kolay kullanılabilirken mikro hücreler için daha zordur. Çünkü küçük hücrelerde mesafe ölçümünün doğruluğu azdır. Hücre sınırlarını kararlaştırabilme gereksiz devretme işlemlerini önler. MS'nin uzaklığına ve konumuna bağlı olarak karar veren devretme algoritmaları ile aday baz istasyonunu tahmin eden çalışmalar bulunmaktadır [54].

Yayılan güç; güç gereksinimi, girişim azalmasını ve pil ömrünün arttırılması için devretme işlemi kriteri olarak kullanılabilir.

Trafik; trafik seviyesi devretme işlemi kriteri olarak komşu hücrelerde trafik dengesini sağlar.

Çağrı ve devretme işlemi istatistikleri; hücre içinde çağrı sırasında toplam harcanan süre devretme işlemi kriteri olarak belirlenebilir. Ayrıca son devretme işleminden sonra geçen süre devretme işlem sayısını azaltmak için yararlı bir veridir.

Hız; hız özellikle örtü sistemleri ve hız uyumlu algoritmalar için önemli bir kriterdir. Birçok algoritma devretme işlemi parametrelerini değiştirebilmek için hızlı hesaplamayı kullanırlar. Holtzman (1995) devretme algoritmasındaki ortalama aralığını küçük ve geniş hücreler için uyumlu olarak değiştiren bir metot sunmuştur [55]. Tripathi (1998,1999) değişen hızı kriter olarak kullanan bulanık mantık algoritmasını öne sürmüştür [56,57].

3.12. Frekans Yeniden Kullanım Modeli

Farklı hücrelerde mevcut frekansı yeniden kullanma işlemi, hücreler arasındaki ortak frekans kanal girişimi ile sınırlanmıştır. Ortak frekans kanalı girişimi büyük bir problem olabilmektedir. Hücre boyutu, her hücredeki işaret kuvvetinin kaplama alanı ile saptanır. Kümede bulunan hücre sayısı sabit olduğu sürece ortak frekans kanal girişimi hücrenin gönderdiği güçten bağımsız olacaktır. Ortak frekans kanal girişimi, q parametresinin bir fonksiyonu olacaktır.

$$q_s = D_s / R = \sqrt{3N} \quad (3.1)$$

Buradaki q parametresi, ortak frekans kanal girişimi azalım faktörüdür. q oranı arttıkça girişimi azalır. D_s , frekansın yeniden kullanım uzaklığıdır. R , hücre yarıçapını belirtmektedir.

K_i , çok yönlü antenin kullanıldığı 1. sıradaki ortak frekans kanal girişim hücrelerinin sayısıdır. C/I ise aşağıdaki bağıntıyla verilir.

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{K_i} I_k} \quad (3.2)$$

C , taşıyıcıyı simgeler. Altıgen şeklinde hücresel sistemde 1. sırada daima 6 tane ortak kanal girişim hücresi vardır. Bu yüzden $K_i=6$ 'dır. Lokal gürültünün girişim

seviyesinden oldukça küçük olduğu varsayılır ve bu ihmal edilirse C/I aşağıdaki formu alır.

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_I} D_k^{-\gamma}} \quad (3.3)$$

γ , gerçek arazi çevresi ile saptanan yayılma yol kayıp eğimidir. Bu değer gerçek arazi şartlarıyla bulunur. Değeri iki ile beş arasında değişebilir ve mobil radyo ortamında bu değer 4 olarak kabul edilir [58]. 2. sıradaki girişim hücrelerinin ortak kanal girişimi ihmal edilirse:

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} \left(\frac{D_k}{R} \right)^{-\gamma}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} (q_k)^{-\gamma}} \quad (3.4)$$

q_k , k. ortak kanal girişim hücresindeki ortak kanal girişim azalım faktörüdür. Tüm D_k 'ların aynı olduğu varsayılınsın. Bu durumda $D=D_k$ ve $q=q_k$ olur. C/I ise aşağıdaki hali alır.

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{6D^{-\gamma}} = \frac{q^\gamma}{6} \quad (3.5)$$

Pratikte C/I'nın değerinin 18 dB ya da bundan daha büyük bir değer olması beklenir. Yukarıdaki ifadeye göre q aşağıdaki formu alır.

$$q = \left(6 \frac{C}{I} \right)^{1/\gamma} \quad (3.6)$$

C/I =18 dB sayısal değer olarak 63,1'e eşittir. Buna göre:

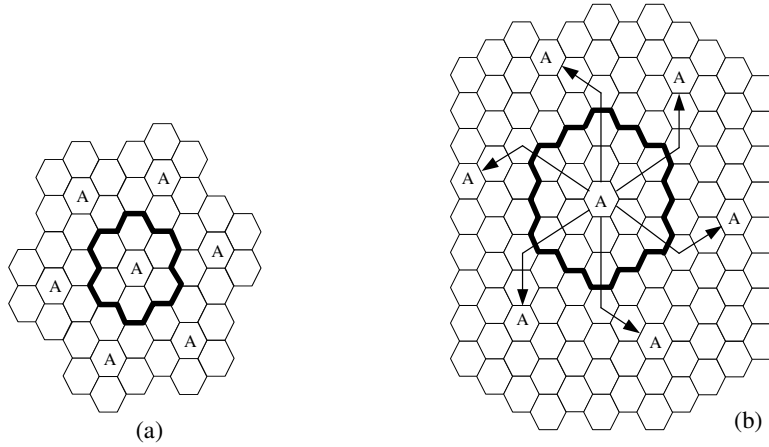
$$q = (6 \times 63,1)^{1/4} = 4,41 \quad \text{bulunur.}$$

Bu değer q 'nun alabileceği en küçük değerdir. Gerekli olan N ' i bulunursa,

$$q = \sqrt{3N} \quad (3.7)$$

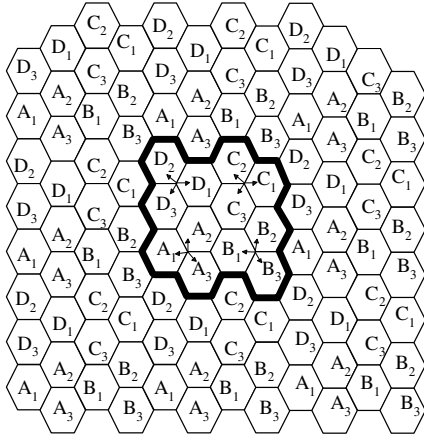
$q = 4,41$ için $N = 7$ bulunur. Bu da gösterir ki 18 dB'lik C/I için “ yedi hücreli yeniden kullanım örüntüsü ” gerekmektedir. C/I arttıkça q artar. Bu da iyi bir durumdur çünkü girişim azalmış olur.

Şekil 3.7. a'da $q=4,41$ ve $N=7$ için Şekil 3.7. b'de $q_s=7,55$ ve $N=19$ için hücre yeniden kullanım modeli çizilmiştir.



Şekil 3.7 Hücre yeniden kullanım modelleri
a) $q_s=4,41$ ve $N=7$ b) $q_s=7,55$ ve $N=19$

GSM için önerilen yeniden kullanım modelleri $4/12$ ve $3/9$ modelleri şeklinde ifade edilir. $4/12$ modelinde bir hücre kümesinin 3 hücreye sahip olması ve toplam 4 hücre kümesi bulunması demektir. Bu yapıya ait model Şekil 3.8'de gösterilmiştir.



Şekil 3.8. 4/12 modellenli hücresel yapı

Taşıyıcı frekansların iyi kanıtlanmış yeniden kullanım modellerine göre yeniden kullanılması ile hem ortak kanal karışması hem de komşu kanal karışması problemleri en aza indirgenmelidir.

Böylesi bir yapının gerçek uygulama alanında çok daha fazla büyük olduğu düşünülürse her bir hücrede kaç tane frekans kullanılabilir ve bu frekanslar hangi sıklıkla kullanılmalıdır sorusu cevaplandırılmalıdır. Bu sorudan yola çıkarak aynı frekans kanalı ve komşu frekans kanalı girişimi de göz önüne alınarak kullanılacak frekans tekrar kullanım desenine karar verilir. Bu işlem aynı zamanda uzun vadede kapasitenin gelişimini tahmin etmek için de zorlayıcı bir faktördür.

GSM sistemlerindeki bir problemde hücre ağlarının iyi yönetilememesi ve hücre trafiğinin en kısa sürede düzgün bir yola sokulamamasıdır. Hücre trafiğinde BTS gücü ve hücre yarıçapı önemli birer parametredir [59]. Hücre planlaması ile ilgili yapılmış olan çalışmalara bakıldığında önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi geleneksel metotların uygulanması istenilen başarı ölçütlerini sağlayamamıştır. Bu geleneksel metotların yanında bir takım sezgisel algoritmalar ve öğrenme algoritmaları uygulanmaya çalışılmıştır [45,60].

Yapılan çalışmaların hepsi GSM ağında daha iyi bir ses kalitesinin sağlanması, güç sarfiyatının en aza indirilmesi (güç yönetimi), veri iletiminin ve konuşmanın kesintisiz olarak en iyi şartlar altında gerçekleştirilmesi ve maddi kayıpların en aza indirilmesi amaçlanmıştır. GSM şebekelerindeki bu istenenlerin gerçekleştirilmesi hem parasal yönden hem de teknik ekipmanın kullanımı açısından son derece önemlidir. Zaten günümüzde firmaların en çok zorluk çektikleri ve parasal kayıplara uğramalarının sebebi en iyi veya en iyiye yakın ağların gerekli ekipmanlarla gerçekleştirilememiş olmasıdır.

3.13. Kullanıma Uygun Frekans Sayısı

Uygun band genişliğinin 12 MHz olduğu düşünülürken frekans planlama için kullanılacak radyo frekans sayısının 200 KHz kanal band genişliğinden dolayı 60 olduğu bulunur. Frekans planlamada kullanılacak 60 frekans (ki ülkemizde bir GSM operatörüne en fazla 50 frekans tahsis edilmektedir) aynı zamanda deseninde seçilmesi için zorlayıcı bir faktördür.

GSM şebekelerine altyapı sağlayan firmalar göz önüne alındığında her bir hücre için kullanılan BTS'nin 4 veya 6 TRU için tasarlanmaktadır. Mikro hücre veya bina içi kapsamalar için 2 TRU'lu modellerde vardır ancak bunlar şebekenin kuruluş aşamasında getirdikleri yüksek maliyete rağmen sundukları sınırlı kapasite sebebiyle tercih edilmezler. Bu sebeple frekans planlamada şebekenin büyüme şekline göre daha sonra değiştirilebilecek bir planlamanın yapılması gerekmektedir.

Hücre başına kullanılan TRU sayısının artması o hücreden aboneye sunulacak kanal sayısını da arttıracak, kanal sayısı ile taşınan trafik üssel olarak bir artış göstereceği için de yapılan yatırımların maliyeti de artacaktır. Her ne kadar şebekenin kuruluş aşamasında bir hücre deseni oluşturulmaya çalışılsa da uygulama sahasında değişik alanların bir arada olabileceği gibi aynı istasyonda farklı yönlerde bakan hücrelerin yüksekliklerinin de farklı olabilmesi mümkündür. Böylelikle şebekenin tek düze bir yapıda olmasını hem de büyümenin bölgelere bağlı olarak lineer olmayacağını gösterir.

3.14. GSM Sisteminde Yapılan Çalışmalar

Şehir, kırsal alan ve dağlık alanlarda GSM sistemlerinde MS'nin anlık olarak alternatif konum belirlenmesine dair birçok araştırmalar yapılmıştır [61-69]. Yapılan bu çalışmalara bakıldığında konum belirlemede şu parametrelerin kullanıldığı görülür; hücre kimliği (Cell ID), geliştirilmiş hücre kimliği (Enhanced Cell ID), sinyalin geliş süresi (Time of Arrival, TOA), geliş açısı (Angle of Arrival, AOA), geliştirilmiş zaman farklı konumlama (Enhanced Observed Time Difference Positioning, E-OTD) ve parmak izi metodudur. Bu tür anlık konum belirlemede acil servis bildirim, ticari şirketlerin araç takibi gibi uygulama alanlarında önemlidir.

Claude (2006) [65] yapay sinir ağı ile korelasyon konum belirlemede giriş değişkeni olarak RSS parametresini kullanmış ve bir çok araştırmada da konum belirlemede RSS değerleri kullanmıştır [61-64]. Bu yaklaşımlar doğrultusunda önceki bölümlerde belirtildiği gibi veri füzyonu kullanılarak GSM sistemlerinde konum belirlemede kullanılabilirliği gündeme gelmiştir. Konum belirlemede veritabanlı korelasyon yöntemi (Data base correlation methods, DC) ve tahminsel hesaplamalar yapılmıştır [70].

GSM şebekelerinde kullanılan iletişim sinyalleri çevresel değişkenler için tasarlanmamıştır. Bu durumda tek çeşit sinyal kullanarak konum belirlemenin tam doğrulukla yapılamamasına neden olmaktadır. Dolayısıyla birden fazla çeşitteki sinyallerin kullanımı ile konum belirleme daha sağlıklı yapılır. Sinyallerin işlenmesi veya yorumlanması esnasında formülize edilebilen gürültü değerlerinin dışında düzenli olmayan sistemden sisteme ve çevreye göre değişen bir takım bozucu sinyallerde bulunmaktadır. Bu tür bozucu etkiye sahip sinyallerin ifade edilmesi ve yok edilmesi hem donanımsal hem de sinyallerin denetimi açısından çok büyük zorluklar çıkarmaktadır [71].

GSM sistemlerindeki bir problemde hücre ağlarının iyi yönetilememesi ve hücre trafiğinin en kısa sürede düzgün bir yola sokulamamasıdır. Hücre trafiğinde BTS gücü ve hücre yarıçapı önemli birer parametredir [59]. Hücre planlaması ile ilgili

yapılmış olan çalışmalara bakıldığında önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi geleneksel metotların uygulanması istenilen başarı ölçütlerini sağlayamamıştır. Bu geleneksel metotların yanında bir takım sezgisel algoritmalar ve öğrenme algoritmaları uygulanmaya çalışılmıştır [45,60].

Frekans planlamanın en iyilenmesinde literatürde sınırlı sayıda uygulama gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamaların çözümünde ise yapay zeka tekniklerinden tam olarak yararlanılmamıştır [72-76].

Sherali (1996) mikro hücreler arası en iyi vericinin bulunması için [77], Tutschku (1998) verici kapasitesini ihmal ederek otomatik hücre ağı planlaması için çeşitli algoritmalar kullanmışlardır [78]. Ye ve arkadaşları (1998) CDMA (kod bölmeli çoklu erişim) ağında hücre planlamasını yapmışlardır [79]. Calegari (1997) baz istasyonlarının seçiminde en iyiyi bulmak için genetik algoritmayı önermiş [80] ve Chae (2000) hücre planlamasında tabu tekniğini kullanmıştır [81]. Hücre üyeliklerinde ki gelişmeler daha az devretme işlemi ve azaltılmış girişim anlamına gelmektedir.

Frekans atlamasının en iyilenmesi ile ilgili olarak Jean-Marie (2002) hücre planlamasını [82], verici gücünün en iyi biçimde kontrol edilmesinde Jens (1992) hücre planlamayı gerçekleştirilmiştir [83].

Yapılan bu çalışmaların hepsi GSM ağında daha iyi bir ses kalitesinin sağlanması, güç sarfiyatının en aza indirilmesi, veri iletiminin ve konuşmanın kesintisiz olarak en iyi şartlar altında gerçekleştirilmesi ve maddi kayıpların en aza indirilmesi amaçlanmıştır. GSM şebekelerindeki bu istenenlerin gerçekleştirilmesi hem parasal yönden hem de teknik ekipmanın kullanımı açısından son derece önemlidir. Zaten günümüzde GSM firmaların en çok zorluk çektikleri ve parasal kayıplara uğramalarının sebebi en iyi veya en iyiye yakın ağların gerekli ekipmanlarla gerçekleştirilememiş olmasıdır.

4. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritma (GA), doğadaki canlıların geçirdiği süreci örnek alır ve iyi nesillerin kendi yaşamlarını muhafaza edip kötü nesillerin yok olması prensibine dayanır. Bu algoritma anne ve baba bireyden doğan çocuk bireylerin şartlara uyum sağlayıp yaşamlarını devam ettirmesine dayanır. Yeni bireyler, anne ve babadan gelen iyi genleri bünyelerinde muhafaza edebileceği gibi kötü genleri de almış olabilir. Bu durumda kötü genlere sahip çocuk bireyler varlıklarını sürdürmeyecektir.

Goldberg'in tanımına göre GA, rastlantısal arama tekniklerini kullanarak çözüm bulmaya çalışan, parametre kodlama esasına dayanan sezgisel bir arama tekniğidir [84].

GA'nın tanımını biz yaparsak eğer, GA evrimsel yaklaşım prensipleri ışığında rastlantısal araştırma metotlarını kullanarak kendi kendine öğrenme ve karar verme sistemlerinin düzenlenmesini hedef alan bir araştırma tekniğidir.

GA, biyolojik bir süreç içerisinde doğal seçim ve genetik yığınların (popülasyonların) modellenmesi olarak John Holland tarafından 1975 yılında geliştirilmiştir [85]. Holland (1975) evrimden ve canlılardaki bu süreçten yararlanarak makine öğrenmesi üzerine çalışmalarını yoğunlaştırmıştır. Bu süreci bilgisayar ortamına taşıyarak tek bir mekanik yapının öğrenme yeteneğini geliştirmek yerine böyle yapılardan oluşan topluluğun çiftleşme, çoğalma ve değişim gibi genetik süreçlerden geçerek başarılı yeni bireyler oluşturulabildiğini görmüştür.

Holland (1975) çalışmalarında bir genetik bileşeni bir sistemin girişinde kullanılmak üzere bir makine öğrenme tekniğini geliştirmiştir [85]. Daha sonraları ise GA'nın doğrusal olmayan çok değişkenli eniyileme problemlerin çözümünde kullanılması ile önemli bir araştırma algoritması olduğu kanıtlanmıştır [84]. GA'nın 1967 yılından itibaren günümüze gelen tarihsel gelişim sürecine bakıldığında Bagley 1967 yılındaki çalışmasında ilk defa genetik algoritmalarından bahsederken ancak öğrencisi Holland

tarafından uygulanmaya başlanmıştır. Holland genetik algoritmaların birleşimsel en iyileme problemlerinde etkin bir çözüm ürettiğini belirtmiştir. GA'nın kısıtlı eniyileme problemleri kapsamına giren çizelgeleme yöntemlerinden biri olan atölye çizelgeleme problemlerinde etkili olarak ilk defa Davis tarafından 1985 yılında kullanılmıştır [86]. Liepis (1987) ise ilk defa genetik algoritma yapısını iki makineli çizelgelemeye uygulamıştır [87]. Biegal ve Daven (1990) çalışmalarında atölye çizelgelemede genetik algoritmayı bütünleşmiş imalat çevrimi içinde kullanmışlar ve bu yapıyı tek, iki ve çok makineli sistemlere uygulamışlardır [88]. Nakano (1996) genetik algoritmaların ikili kod sisteminde gösterimini atölye çizelgeleme probleminde kullanmıştır [89]. Goldberg ve Deb seçim mekanizmaları üzerinde çalışmalarını 1991 yılında gerçekleştirmişlerdir. Spears ve De Jong (1991) çalışmalarında iki noktalı çaprazlama operatörünün her zaman bir noktalı çaprazlama operatöründen daha etkili olduğunu belirtmiştir. Chen ve arkadaşları (1995) genetik algoritmaların literatürdeki diğer sezgisel yaklaşımlardan daha iyi sonuç verdiğini belirtmişlerdir [90].

Problemin zorluk derecesinin bilinmesi problemin çözümü için en iyi yöntemin uygulanmasını sağlar. Polinomal (P) olan denklemler çözümlenmesi, incelenmesi kolay olan denklemlerdir ve kısa sürede sorunu çözen yöntemleri mevcuttur. Eğer bir denklem ya da sistem polinomal değilse (NP; Nonpolynomially Bounded) yani çözümlenmesi zor sistemlerdir. Ancak NP problemler için ise kısa sürede gerçek çözümü bulan yöntemler mevcut değildir. Bu nedenle NP problemleri için gerçek çözüme en yakın sonucu bulmak amacıyla yaklaşık çözüm algoritmaları geliştirilmiştir.

Yaklaşık çözüm algoritmaları problemin gerçek olmayan ancak geçerli bir çözümü kısa sürede bulabilirler. Pratikte karşılaşılan problemlerin çoğu için kesin çözümden ziyade kısa sürede yaklaşık bir çözümün bulunması istenmektedir. Bu nedenle pratikte karşılaşılan NP problemlerin çözümünde probleme özgü olarak sezgisel yöntemler yardımıyla geliştirilen algoritmalar kullanılır.

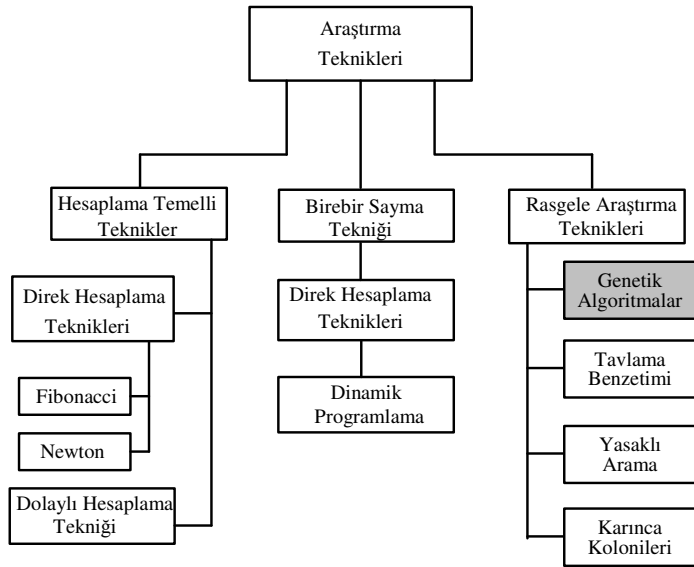
Problemlerin çözümü için kullanılan algoritmaların sonuca kısa sürede ulaşması esastır. Bir algoritmanın en yaygın performans ölçütü, algoritmanın sonucu bulana kadar ki geçen süredir [39].

Polinomal algoritmalar pratikteki problemlerin çözümünde iyi performans gösterirler. NP problemlerinde kullanılan polinomal algoritmalar ise sorunu çözememektedir. NP problemlerin çözümünde kesin sonuç yerine yakın çözümler tercih edilmektedir. Bu tip problemlerin kesin sonuçlarına makul sürelerde ulaşamadığından yerel arama ve rastlantısal arama ile yaklaşık çözümler elde edilir. Rastlantısal arama yöntemleri; yerel arama yöntemlerinin, yerel eniyide takılıp kalma dezavantajlarını ortadan kaldırmak için geliştirilmiştir.

GA sezgisel bir metot olduğundan dolayı verilen bir problem için bilinen metotlarla çözülemeyen ya da çözüm zamanı problemin büyüklüğü ile üstel olarak artan problemlerde kesin sonuca çok yakın çözümler verebilir. GA fonksiyon eniyilemesi, çizelgeleme, mekanik öğrenme, tasarım, hücreyel üretim gibi alanlarda başarılı uygulama alanları bulunmaktadır.

4.1. Genetik Algoritmaların Araştırma Teknikleri İçerisindeki Yeri

Bir eniyileme probleminin çözümünde belirli matematiksel ifadeler veya kurallara dayanan algoritmalar kullanılır. Bazı algoritmalar gerçek çözümü bulmayı garanti edemezler. Bunun yerine en iyiye yakın çözümü garanti eden algoritmalar araştırma teknikleri olarak adlandırılır. Bir problemin çözümü için farklı araştırma teknikleri kullanılabilir. Şekil 4.1'de araştırma tekniklerinin sınıflandırılması gösterilmiştir [39, 100].



Şekil 4.1. Araştırma teknikleri

Şekil 4.1’de yer alan teknikleri kısaca açıklanacak olunursa;

Hesaplama temelli teknikte; bir eniyileme probleminin çözümü için uygun olan etkili durumlar bir küme içerisinde toplanır. Bu araştırma tekniği direk ve dolaylı hesaplama tekniği diye iki gruba ayrılabilir. Dolaylı hesaplamada amaç fonksiyonun eşit olduğu ağırlık grubundan sıfıra kadar, doğrusal olmayan denklem kümeleri için yerel çözüm araştırılır. Direk hesaplamada ise Newton ve Fibonaccici gibi yeni noktaların ağırlığını işaret ederek araştırma uzayı çevresinde sıçramalar yaparak çözüm aranabilir. En uygun ağırlık adımı ile en iyi yerel nokta bulunur.

Birebir sayma tekniğinde; çözüm için aynı anda bir noktadan başlayarak ilgili olan her bir nokta araştırılır. Bu tekniği geliştirmek çok basit ama önemli hesaplama teknikleri gerektirebilir. Sayma tekniğine en iyi örnek dinamik programlamadır.

Rasgele araştırma teknikleri, temelde sayma teknikleri gibidir. Fakat araştırmaya rehberlik etmesi için ek bilgi kullanır. Bu araştırma tekniği ile çok karmaşık sistemler çözümlenebilir. Rasgele araştırma teknikleri, Genetik algoritmalar (Genetic Algorithms), Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing), Yasaklı Arama (Tabu Search), Karınca Kolonileri olarak gruplara ayrılabilir.

4.2. Genetik Algoritmaların Uygulama Alanları

Temel ilkelerinin ortaya konmasından sonra genetik algoritmalar hakkında birçok bilimsel çalışma yayınlanmıştır [91]. GA'nın aşağıdaki alanlarda başarılı uygulamaları bulunmaktadır.

Eniyileme (Optimizasyon); GA araştırmalarının önemli bir bölümü fonksiyon eniyilemesi ile ilgilidir. GA, geleneksel eniyileme tekniklerine göre zor, süreksiz ve gürültü içeren fonksiyonları çözmeye daha etkindir [92]. GA'nın uygulandığı diğer bir eniyileme problemi ise istenen amaçlara ulaşmak üzere sınırlı kaynakların etkin tahsis edilmesiyle ilgili birleşik eniyileme problemleridir. Gezgin satıcı problemi [93], araç yön bulma problemi [94], iş atölyesi çizelgeleme problemi [95,96], yerleşim tasarımı problemi [97], birleşim eniyileme problemlerine örnektir.

Otomatik Programlama ve Bilgi Sistemleri; GA'nın yaygın olarak kullanıldığı alanlardan biri belirli ve özel görevler için gerekli olan bilgisayar programlarını geliştirmedir. Ayrıca diğer hesaplama gerektiren yapıların tasarımı için de kullanılmaktadır. Bunlara örnek olarak bilgisayar yonga tasarımı [98], ders programı hazırlanması [99,100] ve ağların çizelgelenmesi [101] verilebilir.

Mekanik Öğrenme; sınıflama sistemi GA'nın mekanik öğrenme alanında bir uygulamasıdır [102]. Basit dizi kurallarını öğrenen bir mekanik öğrenme sistemi olan sınıflama sisteminin kural ve mesaj sistemi özel bir üretim sistemi olarak adlandırılabilir. Bu üretim sistemi, "eğer-sonra" kural yapısını kullanır. Bir üretim kuralı "eğer" yapısından sonra belirtilen durum için "sonra" yapısından sonra gelen faaliyetin gerçekleştirilmesini içerir. GA, sınıflama sistemlerinde kural-bulma mekanizması olarak kullanılmaktadırlar. Ayrıca sinir ağlarında ve proteinin yapısal analizinde de kullanılmaktadır [84].

Finans ve Pazarlama; GA finansal modelleme uygulamaları için son derece uygundur. Özellikle hisse senedi fiyatlarındaki değişim kalıplarını tahmin etmede ve bulmada, kaynak tahsisi ve uluslararası sermaye tahsisi stratejilerini belirlemede GA

kullanılabilmektedir. Pazarı ve tüketicuyu tanımada son derece önemli rol oynayan veri madenciliği, veriyi bilgiye bilgiyi de güvenli kararlara dönüştürür. Veri madenciliğinin verimlilik, karlılık, müşteri tatmini ve rekabet edebilme yeteneği gibi yaşamsal konularda işletme üzerinde çok önemli etkileri bulunmaktadır. Veri madenciliğinde kullanılan tekniklerden birisi de GA'dır. GA tabanlı yaklaşım kullanılarak veri yığınlarından modeller elde edilmektedir [103].

Yukarıda adı geçmiş olan çeşitli sezgisel algoritmalara göre GA'yı diğer yöntemlerden ayıran en belirgin özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

- GA, parametre kodlarıyla uğraşmakta, parametrelerinin kendisiyle doğrudan ilgilenmemekte,
- GA, tek bir alana bağımlı kalarak çözüm aramamakta yığının tamamında çözümü aramakta,
- GA, ne yaptığını değil nasıl yaptığını bilmektedir. Yani GA amaç işlevini kullanır, sapma değerleri veya diğer hata faktörlerini kullanmamaktadır.

GA'nın uygulanmasında kullanılan operatörler rastlantısal yöntemlere dayanmakta belirli ve kesin yöntemler kullanmamaktadır [104,84].

4.3. Genetik Algoritmanın Kavramları

4.3.1. Temel kavramlar

GA'nın çalışmasında ve başarılı çözüm değerlerine ulaşmasında algoritma yapısında kullanılan kavramların ve bu kavram değerlerinin iyi belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda bu kavramlara değinilmiştir.

Gen

Kromozom yapısında kendi başına birer genetik bilgi taşıyan en ufak yapı birimine gen denir. Kısmi bilgiler taşıyan bu ufak yapıların bir araya gelmesiyle bütün bir çözüm kümesini oluşturan kromozom (dizi) meydana gelir.

GA'nın kullanıldığı programlama yapısında bu gen yapıları programcının tanımlamasına bağlıdır. Bir genin içerdiği bilgi sadece ikili tabandaki sayıları içerebileceği gibi onluk taban ve onaltılık tabandaki sayı değerlerini de içerebilir. Dolayısıyla yazılan programa göre gen içeriği çok önem kazanmaktadır.

Kromozom

Bir ya da birden fazla gen yapısının bir araya gelerek problemin çözümüne ait tüm bilgiyi içeren dizilere kromozom denir. Kromozomların bir araya gelmesiyle yığın (popülasyon) oluşturulur. Yığındaki her bir bireye kromozom, kromozomdaki her bir bilgiye gen denir. Kromozomlar, üzerinde durulan problemin olası çözüm bilgilerini içermektedir.

Kromozomlar, GA yaklaşımında üzerinde durulan en önemli birim olduğu için bilgisayar ortamında iyi ifade edilmeleri gerekmektedir. Kromozomun hangi kısmının ne anlam taşıyacağı, ne tür bilgi içereceği kullanıcının olaya bakışını değiştirmektedir.

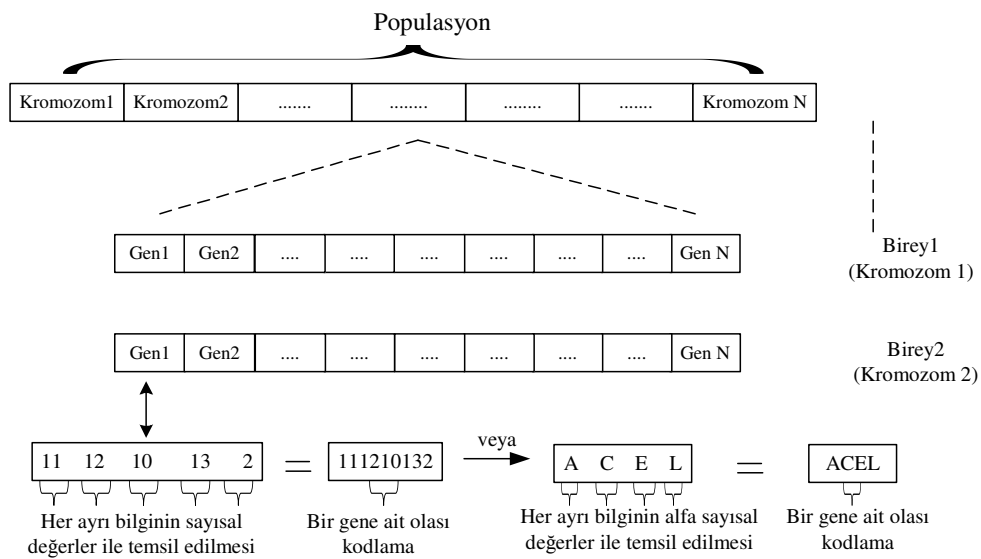
Yığın (Popülasyon)

Popülasyon, çözüm bilgilerini içeren kromozomların bir araya gelmesiyle oluşan olası çözüm yığına denir. Yığındaki kromozom sayısı sabit olup problemin özelliğine göre programlayıcı tarafından belirlenir. GA'nın işleyişi esnasında bu yığın kümesinden bir takım kromozomlar yok olmakta ve yerlerine yeni kromozom yapıları eklenerek yığın büyüklüğü sabitlenmektedir.

Yığın büyüklüğü, problemin çözüm süresini etkilemektedir. Fazla sayıdaki kromozom yığını problemin çözüm süresini uzatırken, az sayıdaki yığın çözüm değerlerine ulaşamamasına sebep olabilir, ya da sistemin belirli çözüm uzayında takılıp iyileşememesine neden olabilir. Problemin özelliğine göre seçilecek olan yığın sayısı programcı tarafından iyi belirlenmelidir.

Yığın büyüklüğü yaygın olarak 30 ile 100 adet arası kromozom içerecek şekilde düzenlenmektedir. Yığın büyüklüğü problemin tipine göre ve programı yazan kişiye göre daha az ya da daha fazla olabilir [96,100,105-110].

Şekil 4.2’de gen, kromozom ve popülasyonu gösteren yapı verilmiştir.



Şekil 4.2. Popülasyon, kromozom, gen yapıları ve kodlama işlemini gösteren tümleşik yapı

4.3.2. Yeniden üretim işlemi

Mevcut yığından gelecek yığına aktarılacak olan dizilerin seçilme işlemidir. Taşınan diziler genetik olarak mevcut yığında en uygun yapıya (değere) sahip olan dizilerdir. Bu işlem belirlenen uygunluk değerlerine sahip iyi bireylerin bir sonraki nesle aktarılmasını sağlar.

4.3.3. Başlangıç yığınının oluşturulması

GA'nın diğer sezgisel arama metotlarından ayıran bir özellik; çözümü noktadan noktaya değil noktaların oluşturduğu yığın içinde aramasıdır. Bu nedenle GA'nın ilk adımı başlangıç yığınının oluşturulmasıdır. Genelde başlangıç yığını rasgele oluşturulur. Ancak bu olay kısıtlı en iyileme problemlerinde yığının uygun olmayan çözümlere doğru yönelmesine sebep olabilir. Bu durumu ortadan kaldırmak için probleme özgün çeşitli sezgisel yöntemler geliştirilebilir.

4.3.4. Uygunluk değeri

Kromozomların çözümde gösterdikleri başarı derecesini belirleyen bir değerlendirme işlevidir. Hangi kromozomların bir sonraki nesle taşınacağı ve hangi kromozomların yok olacağı uygunluk değerlerinin büyüklüğüne göre karar verilir. Uygunluk değeri yığındaki dizilerin bir değerlendirme işlevi yardımıyla hesaplanır.

Çokluma problemi için başarı ölçütü genellikle uygunluk işlevi olarak kullanılabilir. Ancak çizelgeleme problemleri gibi kısıtlı en iyileme problemlerinde genellikle azaltma problemleri olduğundan uygunluk işlevi farklı bir metotla bulunabilir. C_{\max} en son işin tamamlandığı sürenin azaltılması probleminde uygunluk değeri şu şekilde hesaplanabilir.

$$f(s_i(t)) = \max\{C(s_i(t))\} - C(s_i(t)) \quad (4.1)$$

Eş1'deki eşitlik incelendiğinde en önce yığındaki bütün diziler için C_{\max} değeri bulunur. Daha sonra en büyük C_{\max} değeri saptanır ve her dizinin C_{\max} değerinin bu en büyük C_{\max} değerinden sapması o dizinin uygunluk değeri olarak hesaplanır. Böylece $s_i(t)$; t. Nesildeki i. dizi, $C(s_i(t))$; $s_i(t)$ 'nin en fazla tamamlanma zamanı ve $f(s_i(t))$; $s_i(t)$ 'nin uygunluk değeri olarak hesaplanır.

Kısıtlı eniyileme problemlerinde uygunluk fonksiyonunun bulunması ise;

Uygunluk değeri, yığındaki dizilerin bir değerlendirme fonksiyonu yardımıyla hesaplanır. GA'da kullanılan değerlendirme işlevi veya uygunluk fonksiyonu problemin amaç işlevini oluşturmaktadır [39,100,104,105,111].

Ceza işlevi yaklaşımı kısıt sayısı az olan problemler için uygun olduğunu savunan Michalewicz (1996) kısıt sayısı fazla olan problemler için yeni genetik operatörlerin geliştirilmesinin GA'nın etkinliğinin artacağını belirtmiştir [105].

Aşağıdaki eşitliklerde örnek olarak kısıtlı eniyileme problemlerinden biri olan atölye çizelgeleme probleminde uygunluk fonksiyonunun nasıl bulunduğu gösterilmiştir [39, 96].

Seçilen bir kısıt için bir yığındaki ceza puanı toplamı;

$$\sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^l P_t * C_{ij} \quad (4.2)$$

Tüm kısıtlar için bir yığındaki ceza puanları toplamı;

$$\sum_{k=0}^t \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^l P_k * C_{ij} \quad (4.3)$$

l= kromozomdaki gen sayısı, n= popülasyondaki kromozom sayısı, t= kısıt sayısı, C_{ij} = i. kromozomdaki ceza puanına sahip j. gen, P_k = k. kısıta ait ceza puanı, $P_k = 0,1,...,t$ kısıt sayısını belirtmektedir.

$$\text{Uygunluk fonksiyonu (f)} = \frac{1}{1 + \left(\sum_{k=0}^t \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^l P_k * C_{ij} \right)} \quad (4.4)$$

4.3.5. Genetik operatörlerin uygulanacağı dizilerin seçilmesi

Eş.4.5 kullanılarak hesaplanan uygunluk değerlerine göre daha iyi uygunluk değerine sahip dizilerin seçilme ihtimalleri daha fazladır. t. nesildeki i. dizinin seçilme olasılığı $P(s_i(t))$ olarak gösterilirse eşitlik aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$P(s_i(t)) = f(s_i(t)) / \sum f \quad (4.5)$$

4.3.6. Dizi gösterimi (Kodlama)

GA'nın uygulanmasında ilk adım problem için arama uzayını en iyi temsil eden kodlama yapısının seçilmiş olmasıdır. Genelde en yaygın olarak kullanılan kodlama ikili düzendeki kodlamadır. Dizin uzunluğu, parametre ya da parametrelerin alt ve üst sınırları arasındaki tüm noktaları temsil edecek şekilde belirlenir. Alt ve üst sınır U_{\min} ve U_{\max} olarak verilen bir dizi için uzunluk Eş. 4.6'da belirtilmiştir.

$$\Pi = \frac{U_{\max} - U_{\min}}{2^l - 1} \quad (4.6)$$

İkili düzendeki kodlama çok sık kullanılmasına rağmen kısıtlı en iyileme problemleri gibi çok değişkenli kodlamanın yapıldığı problem yapılarında kullanılmazlar. Çünkü değişkenlerin alt ve üst sınırlarına bağlı olarak elde edilen dizi uzunlukları çok büyük olmaktadır [39,96,109,110,112].

Parametre değerinin ikilik üzende belirtimi aşağıda gösterilmiştir.

Parametre değerleri	{5, 3}
Genetik durum	00000101 | 00000011

Bu gösterimden de anlaşılacağı üzere basit bir parametre değerinin ikilik düzende gösterimi çok uzun ve karmaşık olmaktadır. Gezgin satıcı, çizelgeleme, karesel atama gibi iyileme problemlerinde ikili düzende kodlama arama uzayını tam olarak temsil edememektedir. Bu nedenle alfasayısal veya gerçel sayısal gösterimlerle

kodlama işlemi yapılmaktadır. Ancak kodlamanın ne şekilde yapılacağı GA kullanılarak çözümü istenen problemin özelliğine göre değişmektedir. Dolayısıyla programın yazılması esnasında dizi gösteriminin ne şekilde olacağı çok iyi belirlenmelidir. Böylelikle çözüm uzayını temsil edecek olan dizilerin en iyi şekilde oluşturulması sağlanır.

Şekil 4.3'de alfasayısal veya gerçel sayısal olarak ikilik ve onluk kodlama biçimi gösterilmiştir.

1	0	1	1	1	1	0	1	1	1
9	7	5	4	2	1	5	6	2	1
A	B	C	R	E	B	V	K	H	U

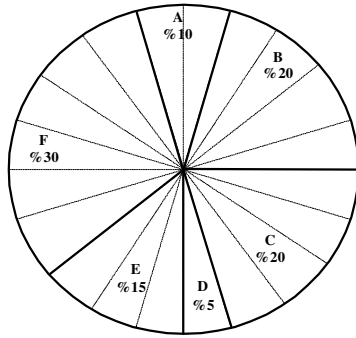
Şekil 4.3. GA kodlama biçimleri

4.3.7. Seçim mekanizmaları

Bir nesildeki dizilerden bir kısmının bir sonraki nesle aktarılırken bir kısmı da yok olur. İşte bu aşamada hangi dizilerin bir sonraki nesle aktarılacağı kurulan seçim mekanizmaları ile sağlanır. GA'da kullanılan en basit ve en yaygın olan seçim mekanizması rulet tekerleği (çemberi) seçimidir.

Bu seçimde çember n adet parçacığa bölünmüştür. Her aralık bir diziyi temsil eder. Her dizinin uygunluk değeri toplam uygunluk değerine bölünür. Böylelikle yığın içindeki her dizinin çözüm kümesi içindeki [0-1] değerleri arasındaki yeri bulunur. Diziler uygunluk değerlerine göre toplam uygunluk değerine göre yüzdelik olarak çemberde temsil edilir. Tekrar üreme için rulet tekerleğinin döndürülmesi gerekir. Bunun için sıfırla toplam uygunluk arasında rasgele bir sayı üretilerek bu sayının tekerleğin hangi parçasına karşılık geldiğine bakılarak kromozom seçilir. Böylelikle çemberin bir defa döndürülmesiyle bir sonraki nesle aktarılacak olan dizilerden bir tanesi seçilmiş olur. Benzer şekilde diğer kromozomlarında belirlenmesi ile uygunluk değerleri en başarılı olan bireyler eşleştirme havuzuna (mating pool) alınır. Bundan sonra artık diğer nesle ait diziler elde edilir ve genetik operatörlerin

uygulanmasıyla yeni nesil elde edilir. Aynı işlem her döngüde devam ederek nesil devamı sağlanır.



Şekil 4.4. Rulet Tekerleği seçme operatörü

Rulet tekerleği metodu, basit ve kullanışlı olmasına karşın bir hataya sahiptir. Bu hata yeni yığında her dizinin beklenen kopya sayısı ile gerçekleşen kopya sayısı arasında büyük farkın olmasıdır. Her bir döngüdeki bu hata programın çözüm değerlerini farklı yönlerde aramasına neden olur. Bu da algoritmanın zamansız yakınsamasına neden olabilmektedir. Bu hatayı azaltmak için bazı araştırmacılar en iyi bireyi bir sonraki nesle aktarmak için elitizm ve crowding metodu gibi çeşitli seçim tekniklerini önermişlerdir [113].

Orantılı seçim mekanizmaları

Orantılı seçim mekanizmaları; rasgele artan seçim mekanizması ve rasgele evrensel seçim mekanizmaları olarak 2 çeşittir. Aşağıda rasgele artan ve rasgele evrensel seçim mekanizmalarının kısaca tanımları verilmiştir.

Rasgele artan seçim mekanizması; bu mekanizmada öncelikle yığındaki dizilerin beklenen kopya sayısı hesaplanır. Her dizinin beklenen değerinin tamsayı kısmı kadar kopyası yeni yığına alınır. Yığın genişliğine ulaşılmadıysa yığına doldurmak için beklenen değerlerin kesirli kısımları olasılık olarak kullanılır. Örnek olarak bir dizinin kopyasının beklenen değeri 1,25 ise bu dizinin bir kopyası alınırken diğer kopyasının alınma olasılığı %25 olur.

Rasgele evrensel seçim mekanizması; bu mekanizma rulet çemberi mekanizmasına benzemektedir. En önemli farkı çemberin dış kısmının da eşit parçalara bölünmesidir. Bu parçaların sayısı yığının genişliğine eşittir. Seçim aşamasında çember bir kere döndürülür. Bir dizinin kopya sayısı çemberin dış kısmındaki parça sayısı ile belirlenir. Bu durumda bir dizinin çemberdeki ağırlık değerleri verilmiş olan aralığına düşen parça sayısı o dizinin kopya sayısını verir.

Sıralı seçim mekanizmaları

Yığındaki diziler uygunluk değerlerine göre iyiden kötüye doğru sıralanırlar. En iyi diziden başlanarak bir azalan işlev yardımıyla dizilere kopya sayısı belirlenir. Kullanılan en genel atama işlevi doğrusaldır. Bir fonksiyon yardımıyla atanan kopya sayıları yeni yığının oluşturulmasında kullanılır. Bu aşamada orantılı seçim mekanizmalarından birisi kullanılarak yeni yığın elde edilir.

Turnuva seçim mekanizması

Yığından rasgele bir grup dizi seçilir. Grup içindeki en iyi uygunluk değerine sahip dizi yeni yığına kopyalanır. Yığın genişliğine ulaşıncaya kadar bu işlem devam eder.

Denge durumu seçim mekanizması

Anlatılan diğer seçim mekanizmalarında mevcut yığından yeni diziler seçilerek yeni yığın oluşturulur. Oluşturulan bu yığındaki bireylere genetik operatörler uygulanarak yeni diziler elde edilir. Elde edilen bu dizilerden seçim yapılır. Denge durumu seçim mekanizmasında ise doğrusal seçim mekanizması kullanılarak seçilen birkaç adet bireye genetik operatörler uygulanır. Elde edilen diziler mevcut yığındaki uygunluk değeri düşük olan bireylerle yer değiştirilir.

4.3.8. Genetik operatörler

GA'da çözüm yığını incelenirken belirli noktalardan sonra nesil çeşitliliği olmadığı için çözüme gidilememektir. Nesil çeşitliliğini sağlayarak çözüm uzayında algoritma istenen kısıtları sağlayacak olan çözüm yığına ulaşabilir. Bunun için dizilere çaprazlama (crossing over) ve değişim (mutation) operatörleri belirli yüzdelik oranlarıyla uygulanarak nesil çeşitliliği sağlanır. Böylelikle sistemin belirli noktalara gelip takılması önlenmiş olur [39,100,106-109]. Aşağıda bu genetik operatörlerin çeşitleri ve uygulamaları anlatılmıştır.

Çaprazlama operatörü

İki dizinin bir araya gelerek karşılıklı gen yapılarının değişimi ile yeni dizilerin oluşumunu sağlayan operatördür. Çaprazlanarak gen (bilgi) değişiminin yapılmasından önce dizilerin çaprazlamaya tutulma olasılığı belirlenmelidir. Bu oran %50 - %95 oranında uygulanmaktadır. Çaprazlamada bir diğer önemli unsur ise ne tür bir çaprazlamanın yapılacağıdır. Mesela eş kromozom seçiminde ilk kromozom en yüksek uygunluk değerine sahip kromozom seçilirken ikinci kromozom rasgele olarak seçilebilir.

Bir yığına çaprazlama operatörü p_c olasılığı ile uygulanır. Çaprazlama oranı, çaprazlama operatörünün kullanım sıklığını kontrol eder. Her yığında, $p_c \cdot l \cdot N$ adet kromozoma çaprazlama uygulanır. Yüksek çaprazlama oranı yığın değişkenliğini hızlı bir şekilde gerçekleştirir. Düşük çaprazlama oranı ise aramanın çok yavaş gerçekleşmesine sebep olur [84].

Tek noktalı çaprazlama operatörü; bu operatörde çaprazlama noktası 1 ile L-1 arasında rasgele seçilir. Eşlenen iki dizide bu çaprazlama noktasından sonraki bölümler yer değiştirilerek iki tane yeni birey elde edilir.

1. Ebeveyn	10110	01001	⇒	1.Çocuk	10110	11010
2. Ebeveyn	11000	11010	⇒	2.Çocuk	11000	01001

Şekil 4.5. Tek Noktalı Çaprazlama

Çok noktalı çaprazlama operatörü; bu operatörde çaprazlama noktası 1 ile L-1 arasında rasgele çoklu bölge seçilir. Eşlenen iki dizide bu çaprazlama noktaları arasında kalan bölümler yer değiştirilerek iki tane yeni birey elde edilir.

1. Ebeveyn	10	110	01	001	⇒	1.Çocuk	10	000	01	010
2. Ebeveyn	11	000	11	010	⇒	2.Çocuk	11	110	11	001

Şekil 4.6. Çok Noktalı Çaprazlama

Tek noktalı ve çok noktalı çaprazlama işlemi GA'da ilk akla gelen çaprazlama yöntemleridir. Ancak problemin özelliğine göre farklı tiplerde çaprazlama yapmak da mümkündür. Bu çaprazlama yöntemlerinden birkaç tanesini kısıtlı eniyileme problemleri için incelenecek olunursa aşağıda belirtilen tiplerde çaprazlama yapmakta mümkündür. Bunlardan bazıları;

- Pozisyona dayalı çaprazlama
- Sıraya dayalı çaprazlama
- Kısmi planlı çaprazlama

Pozisyona dayalı çaprazlama; bu çaprazlamada kalıp olarak sabit kalacak olan gen yapılarını belirlemede kullanılan yapı bulunur. Kalıbın gösterdiği noktalar dizide sabit kalırken diğer noktalar iki birey arasında yer değiştirilerek yeni bireylerin oluşumu sağlanır. Şekil 4.7.'de kalıp dizisinde 1'lerin gösterdiği değerler sabit kalacak değerleri göstermektedir.

1. Ebeveyn	347110489233
2. Ebeveyn	001472892100
Kalıp	111000110010
	↓ ↓
1.Çocuk	347472482130
2.Çocuk	001110899203

Şekil 4.7. Pozisyona dayalı çaprazlama

Sıraya dayalı çaprazlama; Şekil 4.8'deki örnekte görüldüğü gibi kalıp üzerindeki 1'lerin gösterdiği değerler çaprazlamada kullanılacak olan değerleri belirtir. A_2 'den sırasıyla 7, 2, 3 değerleri çaprazlanacak olan genlerdir. A_1 'de bulunan 2, 3, 7 değerleriyle aynı sıralı olacak şekilde yer değiştirilir. Aynı işlem 1'lerin A_1 'de gösterdiği değerlerin A_2 'ye aktarılmasıyla tamamlanır.

1. Ebeveyn	123456789045
2. Ebeveyn	746128353196
Kalıp	100010100000
	↓ ↓
1.Çocuk	172456389045
2.Çocuk	146528373196

Şekil 4.8. Sıraya dayalı çaprazlama

Kısmi planlı çaprazlama; iki bireyden rasgele bir aralık belirlenir. Bu aralıktaki değerler yer değiştirilir. Şekil 4.9.'da bu çaprazlama gösterilmiştir.

1. Ebeveyn	28 | 645 | 713
2. Ebeveyn	87 | 213 | 456
	↓ ↓
1.Çocuk	28 | 213 | 713
2.Çocuk	87 | 645 | 456

Şekil 4.9. Kısmi planlı çaprazlamada 1.adım

Yer değiştirme sonunda dizide aynı olan değerler değiştirilen değerlerle tamamlanır.

1.Çocuk	68	213	745
2.Çocuk	87	645	123

şekil 4.10. Kısmi planlı çaprazlamada 2. adım

Önceden de bahsedildiği gibi problemin özelliğine göre farklı yapılardaki çaprazlama metotları kullanılabilir. Ancak temel olarak tek ve çok noktalı çaprazlama yöntemleri kullanılmaktadır [96,100,106-108].

Değişim (mutasyon) operatörü

GA'da sistem belli bir nesil değerine geldikten sonra kromozomlar (diziler) birbirlerine gitgide benzemektedir. Bu da çözüm uzayının daralmasına neden olmaktadır. Kromozomlara ne kadar çaprazlama operatörü uygulansa da ilerleyen nesillerde kromozom çeşitliliği sağlanamamaktadır. Bu durumda kromozomun kendi içindeki genler rasgele yer değiştirilir. Böylelikle kromozom çeşitliliğinin devamı sağlanmış olur. Ancak değişim operatörünün uygulanma oranı doğru belirlenmelidir. Değişim oranının yüksek olması çözüm uzayını çok genişleterek sistem çözümünün yanlış yerlerde aranmasına neden olur. Bu nedenle değişim operatörünün uygulanma olasılı %0,5 - %15 arasında değişmektedir.

Özellikle GA'nın ilerleyen nesillerinde değişimin etkinliği artmaktadır. Çünkü ilerleyen nesillerde yığın iyi çözümlere yakınsandığından kromozomlar birbirine çok benzemektedir. Bu durum ise çaprazlama operatörünün aramasını kısıtlar. Nitekim aprazlama sonucu elde edilen kromozomlar da birbirine benzer olacaktır. Bu aşamada değişim operatörü yığındaki değişkenliği gerçekleştirerek arama uzayında yeni çözüm noktalarının elde edilmesini sağlamaktadır.

Değişim işlemi, p_m olasılığı ile tek bir pozisyonun rasgele değişimi olup bu işlem oluşturulmuş neslin elverişli durumunu birden bozabileceği için önemlidir. Sonuçta $p_m \cdot l \cdot N$ adet değişim gerçekleşir. Böylece p_m olasılığı küçük tanımlanır [84].

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 10110 1 1010	1.Çocuk 10110 0 1010

Şekil 4.11. Değişim operatörünün uygulanması

Şekil 4.11.'de belirtilen değişim operatörünün basitçe gösterimidir. Değişim operatörünün uygulanma biçimi GA'nın kullanıldığı probleme göre değişebilir. Aşağıda kullanılması muhtemel değişim operatörlerinden bir kaçı gösterilmiştir.

Komşu iki işi değiştirme; Şekil 4.12'de görüldüğü gibi rasgele seçilen iki komşu gen yer değiştirilir [114].

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 257 1 9432	1.Çocuk 257 9 1432

Şekil 4.12. Komşu iki genin değişimi

Keyfi iki işi değiştirme; Şekil 4.13.'de görüldüğü gibi rasgele seçilen iki gen yer değiştirilir.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 2 5 719 4 32	1.Çocuk 2 4 719 5 32

Şekil 4.13. Keyfi iki genin değişimi

Keyfi üç iş değiştirme; Şekil 4.14’de görüldüğü gibi rasgele seçilen üç gen rasgele yer değiştirilir.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 25719432	⇒ 1.Çocuk 24759132

Şekil 4.14. Keyfi üç genin değişimi

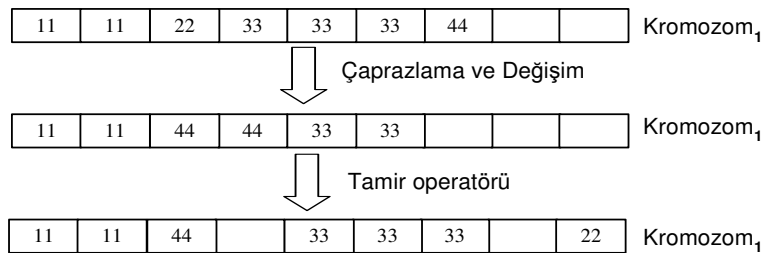
Araya gen ekleyerek değiştirme; Şekil 4.15’de görüldüğü gibi keyfi olarak seçilen genin rasgele sayıda sağa veya sola kaydırılmasıyla gerçekleştirilir.

Değişim Öncesi	Değişim Sonrası
1. Çocuk 25719432	⇒ 1.Çocuk 235719432

Şekil 4.15. Kaydırmalı gen değişimi

Tamir operatörü

Tamir operatörü; uygun olmayan dizileri uygun duruma getirmek için özel olarak tasarlanan algoritmadır. Problemin özelliğine göre geliştirilen bu algorithmada genetik operatörlerin uygulanmasından sonra diziden mevcut bilgilerin yok olması veya istenmeyen bilgilerin gelmesi istenmeyen bir durum olabilir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için başlangıç dizisinin bilgilerine sadık kalarak özel bir algoritma geliştirilir [39, 106-110].



Şekil 4.16. Genetik işlem sonrası dizi durumu

Şekil 4.16'dan görüldüğü gibi genetik işlem sonrası oluşan yeni dizide fazla ve/veya kaybolan genler bulunmaktadır. Bu dizinin tamir edilip bir sonraki nesle aktarılarak GA'nın çalışmasına devam edilir. Buradaki amaç belli bir özelliğe sahip olan gen sayılarının sabit kalmasının sağlanmasıdır. Bu yaklaşımda probleme özgü genetik operatörler kullanılır. Amaç genetik operatörler sonucunda elde edilen yeni dizilerin uygun birer çözüm kümesini içermesidir [106-110].

Elitizm (En iyinin saklanması) yöntemi

Elitizm ya da en iyinin saklanması olayında yığın içindeki en iyi bireylerin ya da belli bir genişlikteki yüzdeliğe sahip bireylerin o yığından alınarak hiçbir değişikliğe uğratılmadan bir sonraki nesil yığına aktarılmasıdır. Genetik operatörlerin kullanımı sonrası en iyi bireyin yok olması söz konusu olduğu için yığın içindeki çözümü en iyi temsil eden dizi bir sonraki nesle kopyalanır [84,105,106].

4.3.9. Genetik algoritmanın çalışma prensibi

GA'nın temel kavramlarının açıklanmasından sonra GA'nın problemi çözme aşamasında yapısının nasıl oluşturulduğunu basamaklar şeklinde anlatmak ve program akış diyagramının verilmesi konunun daha iyi anlaşılmasını sağlayacaktır [39,96].

GA ile çözüme gidilirken takip edilmesi gereken adımlar ise aşağıda belirtilmiştir.

1. Toplumda bulunacak birey sayısını belirleyerek başlanır. Bu birey sayısı ile ilgili olarak kesin belirlenmiş bir sayı yoktur. Yapılan araştırmalar sonucunda yığında bu sayının en iyi 30 – 100 bireyden oluşması önerilmektedir.
2. Kromozomun ne kadar iyi olduğunu bulan işleve uygunluk işlevi denir. Bu işlev sonucunda dizilerin uygunluk değerlerinin bulunmasına uygunluk değeri hesabı denir. Bu işlev GA'nın ana yapısını oluşturan ve probleme özgü olarak çalışan tek kısımdır. Uygunluk işlevi, kromozomları problemin parametreleri haline getirerek onların bir bakıma şifresini çözmektedir. Bu parametrelere göre

uygunluk değeri hesabı yapılarak kromozom uygunluğu bulunur. GA'nın başarısı bu işlevin verimli ve hassas olmasına bağlıdır.

3. Kromozomların eşlenmesi uygunluk değerine göre yapılır. Bu seçimi yapmak için rulet tekerliği seçimi (roulette wheel selection), turnuva seçimi (tournament selection) gibi seçme yöntemleri kullanılır. En çok kullanılan seçim mekanizması olan rulet tekerleği seçiminin işleyişi açıklanırsa;
 - a. Tüm bireylerin uygunluk değerleri bir tabloda tutulur.
 - b. Bu değerler toplanır.
 - c. Tüm bireylerin değerleri toplam değere bölünerek $[0, 1]$ aralığında sayılar elde edilir. Bu sayılar bireylerin seçilme olasılıklarıdır ve bu sayılar bir tabloda tutulur.
 - d. Seçilme olasılıklarının tutulduğu tablodaki sayılar birbirine eklenerek rasgele bir sayıya kadar ilerlenir. Bu sayıya ulaşıldığında ya da geçildiğinde son eklenen sayının ait olduğu kromozom seçilmiş olur. Rulet tekerliği seçimi çözümlerin uygunluk değerlerinin negatif olmamasını gerektirir. Çünkü olasılıklar negatif olursa bu çözümlerin seçilme şansı hiç olmayacaktır. Çoğunluğunun uygunluk değeri negatif olan bir toplumda yeni nesiller belli bir noktalara takılıp kalabilir.
4. Çaprazlama ve değişim operatörleri GA'nın yürütücüsü olarak kabul edilir. Çaprazlama basitçe iki kromozom arasındaki belirlenen parçaların yer değiştirmesidir. Değiştirme ise aynı kromozomun bir parçasının dışarıdan değiştirilmesi olarak tanımlanır. Çok düşük bir değiştirme olasılığı toplumda bazı özelliklerin kaybolmasına neden olabilir. Bu da en iyi çözümün bulunmasına engeldir. Yüksek bir değiştirme olasılığı ise eldeki çözümlerin bozulmasına neden olabilir. Bunun için değiştirme olasılığı %0,1 - %15 aralığında seçilir. Çaprazlama olasılığı ise gen çeşitliliğin sağlanması açısından %60 - %90 aralığında seçilir.
5. Bazı problem türlerinde bu değişimler sonucunda dizi yapılarının içerdikleri bilginin yer aldığı gen sayılarının ilk nesildeki gen sayılarıyla aynı olması gerekmektedir. Bunun için çaprazlama ve değişim operatörlerinin uygulanmasından sonra GA'nın uygulandığı problem tipine göre diziyeye tamir operatörü uygulanma ihtiyacı doğabilir. Tamir operatörü uygulanarak mevcut

dizi bilgilerinin korunması sağlanır. Aksi takdirde GA çözüm uzayından çok uzaklaşarak sistem çözümünün imkânsızlaşmasına neden olur.

6. Eski diziler çıkartılarak sabit büyüklükte yeni bir yığın oluşturulur.
7. O andaki çözüm kümesindeki en iyi birey bir sonraki yığına aktarılır (elitizm).
8. Tüm diziler yeniden hesaplanarak yeni toplumun başarısı bulunur.
9. Belirlenen döngü sayısı veya durdurma şartı sağlanana kadar çalıştırılır.
10. GA'nın işleyişinin sonucunda en iyi kromozom çözüm olarak alınır.

4.4. Genetik Algoritmanın Uygulanması

Bu bölümde GA'nın şema teoremi ve çok basit bir örnek ile GA'nın adım adım çözümü gösterilecektir.

4.4.1. Genetik algorithmada şema teoremi

Holland ikilik sayı sistemini (0, 1) kullanarak tek bit dizi kodlamasını kullanmıştır. Aynı zamanda Şema Teorisi olarak da bilinen bir matematiksel analiz gerçekleştirmiştir. Genetik algoritmaların nasıl arama yaptığı şema (alt dizi) kavramıyla açıklanmaktadır [39,85,96]. Şemalar veya alt diziler yığın içerisindeki kromozomların genel karakteristiği hakkında bilgi vermektedirler. Ayrıca şemalar yığın içerisinde genetik operatörlerin etkisini analiz etmek için de kullanılmaktadır.

Bir Şema, H olarak ifade edilmekte ve kromozomları oluşturan genlerin $\{0, 1, *\}$ alfabeti kullanılarak tanımlanmaktadır. l uzunluklu bir dizi 2^l tane şemayı temsil etmektedir. Buna göre N boyutlu bir popülasyonda $N \cdot 2^l$ adet şema bulunacaktır. Örneğin, $H = 01*1**$ şeması, ilk konumunda 0, ikinci ve dördüncü konumunda 1 değeri olan kromozomlar kümesi içindir. * sembolü dizinin o konumunun hangi değeri alıp almadığının önemli olmadığı anlamındadır. Dizi o konumda 0 veya 1 değeri alabilir. Eğer bir x dizisi şemanın kalıbına uyarsa x dizisine “ H 'nin bir örneğidir” denir.

Bir şemanın iki özelliği mevcuttur. Bu özellikler aşağıda verilmiştir [84].

- *Şema derecesi:* Bir H şemasının derecesi $o(H)$ ile gösterilir ve mevcut şema kalıbında bulunan sabit konumların sayısıdır. Bu sayı ikili düzende 0 ve 1 değerlerinin sayısının toplamına eşittir.
- *Şema uzunluğu:* Bir H şemasının uzunluğu $\delta(H)$ ile gösterilir ve mevcut şema kalıbında bulunan belirli ilk ve son konumlar arasındaki uzaklıktır.

Şema teoremine göre üreme çaprazlama ve değişim gibi genetik operatörlerin etkisini incelenecek olunursa;

Yığın içerisinde beklenen şema sayısı üzerinden üreme işleminin etkisini belirlemek kolaydır. t . nesilde $P(t)$ popülasyonu, $P_j (j = 1, 2, 3, \dots, N)$ dizilerinden oluşmuştur ve yığın içinde yer alan H şemanın m tane örneği vardır. Bu durum;

$$m = m(H, t) \quad (4.7)$$

olarak ifade edilmektedir. Üreme süresince bir dizi kendi uygunluk değerine göre kopyalanır veya yığın içerisindeki bir P_i dizisi;

$$P_i = \frac{f_i}{\sum f_j} \quad (4.8)$$

olasılığı ile seçilir. Burada, f_i , P_i dizisinin uygunluk değerini, $\sum f_j$ ise t . nesilde yığındaki dizilerin toplam uygunluk değerini ifade etmektedir. N boyutlu $P(t)$ popülasyonunun $(t + 1)$. nesilde içerdiği H şemasının karakteristiği;

$$m = m(H, t + 1) \quad (4.9)$$

olur. Bu eşitlik t . nesil dikkate alınarak;

$$m(H, t+1) = m(H, t) \cdot N \cdot \frac{f(H)}{\sum f_j} \quad (4.10)$$

şeklinde yazılabilir. Burada, $f(H)$, t . nesilde H şeması ile gösterilen dizinin ortalama uygunluk değeridir. Yığının ortalama uygunluk değeri ;

$$\bar{f} = \frac{\sum f_j}{N} \quad (4.11)$$

şeklinde yazıldığında kopya ile çoğalan şemanın büyüme değeri;

$$m(H, t+1) = m(H, t) \cdot \frac{f(H)}{\bar{f}} \quad (4.12)$$

olmaktadır. Eşitlikten de görüleceği gibi şemanın ortalama uygunluk değerinin yığının ortalama uygunluk değerine oranı kadar şema büyümektedir. Yığın ortalamasının altındaki uygunluk değeri ile şema azalan sayıda örnek alırken, yığın ortalamasının üstündeki uygunluk değeri ile şema sonraki nesilde artan sayıda örnek almaktadır. Yalnız üreme işlemi altında dizi oranlarına göre yığındaki bütün şemalar büyür ve çürürler. Çaprazlama işlemi sonucunda şemanın hayatta kalma olasılığı;

$$p_s = 1 - \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (4.13)$$

olur. Burada $\delta(H)$ ile tanımlanan şema uzunluğudur. Çaprazlama işleminden sonra şemanın hayatta kalması demek çaprazlama pozisyonunun şema uzunluğunun dışında seçilmesi anlamına gelir. Bu pozisyonun belirlenmesinde kullanılan çaprazlama olasılığı p_c olarak tanımlanırsa, çaprazlama işlemi sonucu şemanın hayatta kalma olasılığı aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$p_s \geq 1 - p_c \cdot \frac{\delta(H)}{l-1} \quad (4.14)$$

Genellikle çaprazlama olasılığı %50'den daha büyük seçilerek diziler arasında bit değişimi yeterince sağlanmaktadır.

Değişim işleminde, bir H şemasının hayatta kalması için kesin pozisyondaki bitlerin hayatta kalması anlamına gelmektedir. Buna göre kesin pozisyondaki bir bitin $(1 - p_m)$ olasılıkla hayatta kalması gerekmektedir. Böylece, şemanın hayatta kalma olasılığı;

$$(1 - p_m)^{o(H)} \quad (4.15)$$

olarak ifade edilir. p_m 'nin küçük değerleri için ($p_m \ll 1$) şemanın hayatta kalma olasılığına;

$$(1 - o(H)) \cdot p_m \quad (4.16)$$

ifadesi ile yaklaşılabilir. Sonuç olarak, H şemasının üreme çaprazlama ve değişim operatörlerinden sonra $(t + 1)$. nesilde beklenen şema sayısı;

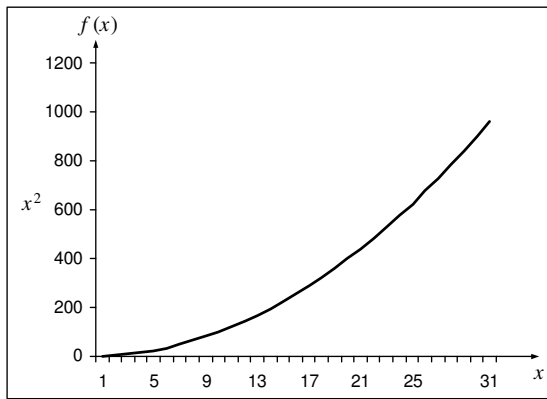
$$m(H, t + 1) \geq m(H, t) \cdot \frac{f(H)}{f \left[1 - p_c \cdot \frac{\delta(H)}{l-1} - o(H) \cdot p_m \right]} \quad (4.17)$$

ile ifade edilebilir [84,104].

4.4.2. Basit bir genetik algoritma örneği

Genetik operatörlerin ve şema teoreminin daha iyi açıklanması bir fonksiyon eniyilemesi verilerek yapılabilir [39,84,96,112]. Şekil 4.17’de gösterilmiş eniyileme probleminde $[0, 31]$ tam sayı aralığında $F(x) = x^2$ fonksiyonu maksimize edilmek istenmektedir.

GA ile eniyileme işleminin ilk adımı fonksiyonun x değişkenini, uzunluğu 5 bit olan işaretli ikili tam sayı olarak basitçe kodlayabiliriz. İlk yığın rasgele oluşturulmuş ve 4 boyutlu bir yığın seçilmiştir. Çizelge 4.1 ’de rasgele oluşturulmuş başlangıç yığını gösterilmiştir.

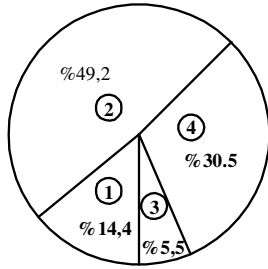


Şekil 4.17. $F(x) = x^2$ fonksiyon eniyileme örneği

Çizelge 4.1. Rasgele oluşturulmuş başlangıç popülasyonu ve rulet tekerleğindeki payı

Bireyler (i)	Kromozomlar	Değer (x)	Uygunluk Değeri ($f_i(x) = x^2$)	Toplam (%)
1	01101	13	169	14,4
2	11000	24	576	49,2
3	01000	8	64	5,5
4	10011	19	361	30,9

GA üreme işlemi ile başlar. Üreme işlemi için bu örnekte rulet tekerleği kullanılmıştır. Başlangıç yığınındaki bireylerin uygunluk değerlerine göre üreme işlemi için kullanılacak rulet tekerleği Şekil 4.18’de gösterilmiştir.



Şekil 4.18. Seçim işlemi için kullanılacak rulet tekerleği

Sonraki nesilde rulet tekerleğindeki paylara göre bireylerin seçilme olasılıkları Eş. 4.8 göz önünde bulundurularak hesaplanır. Seçilme olasılıklarına göre bireylerin bir sonraki nesle aktarımı yapılır. Bu işlemin sonucunda Çizelge 4.2’de de görüleceği gibi bir sonraki nesle 1. ve 4. bireylerin birer kopyası ve ikinci bireyin iki kopyası alınmıştır. Üçüncü birey bir sonraki nesle aktarılmamıştır.

Çizelge 4.2 Genetik Algoritma ile üreme işlemi çizelgesi

Birey (i)	Kromozom	Uygunluk Değeri ($f_i(x) = x^2$)	Seçim Değeri ($P_i = f_i / \sum f_i$)	Beklenen (f_i / f_{ort})	Kopya Sayısı
1	01101	169	0,144	0,576	1
2	11000	576	0,492	1,968	2
3	01000	64	0,055	0,218	0
4	10011	361	0,309	1,234	1
Tplm.		1170	1.000		
Ort.		292,5	0,250		
Max.		576	0,492		

GA’nın ikinci operatörü olan çaprazlama işlemi iki adımda devam eder. Öncelikle yığındaki yeni bireyler rasgele eşleştirilir. Daha sonra eşleşen bireylerin karşılıklı bit değişimi için rasgele çaprazlama pozisyonu belirlenir. Çizelge 4.3’de 1.ve 2. bireyler ile 3. ve 4. bireyler eşleştirilmiştir. Ayrıca çaprazlama pozisyonları gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Genetik Algoritma ile çaprazlama işlemi çizelgesi

Çaprazlama Öncesi	Çaprazlama Sonrası	Değer (x)	Uygunluk Değeri ($f_i(x) = x^2$)	Seçim Değeri ($P_i = f_i / \sum f_i$)	Beklenen (f_i / f_{ort})
0110|1	01100	12	144	0,082	0,33
1100|0	11001	25	625	0,356	1,42
11|000	11011	27	729	0,416	1,66
10|011	10000	16	256	0,146	0,58
Toplam			1754	1.000	
Ort.			438,5	0,250	
Max.			729	0,416	

Son GA operatörü, değişim operatörü olup bit değişimi işlemine dayanır. Bu örnekte p_m değişim olasılığının 0,001 olduğunu varsayalım. Her biri beş bitten oluşan dört dizi için $5*4*0,001=0,02$ bitin değişime uğrayacağı beklenir. Bu olasılık değeri için bu adımda hiç bir bit değişime uğramayacaktır. Oysa ki p_m değişim olasılığının 0,05 olduğunu varsayarsak. Her biri beş bitten oluşan dört dizi için $5*4*0,05=1$ bitin değişime uğrayacağı beklenir.

Bu örnek için sonuçlar incelenirse; maksimum ve ortalama değerler yeni yığında artmıştır. Sadece bir nesil işleminde yığının ortalama uygunluk değeri 292,5'ten 496,5'e yükselmiştir. Maksimum uygunluk değeri 576'dan 729'a artmıştır.

Bu örnek için bireylerin karakteristiklerini belirleyen 3 şema vardır. Şemalar ve hangi bireyleri temsil ettikleri Çizelge 4.4'de gösterilmiştir. H_1 şeması 2. ve 4. bireyleri, H_2 şeması 2. ve 3. bireyleri, H_3 şeması ise 2. bireyi temsil etmektedir. Şema teoremine göre bir sonraki nesilde beklenen kopya şema sayısı, Eş.4.10'dan hesaplanabilir. Buna göre H_1 şeması için ortalama uygunluk değerleri;

$$f(H_1) = \frac{(576 + 361)}{2} = 468,5 \cong 469$$

olarak bulunur. Bu eşitlik ilk yığın ortalaması $\bar{f} = 292,5$ 'e bölünüp, t . nesilde beklenen şema sayısı $m(H_1, t) = 2$ ile çarpıldığında, $(t + 1)$. nesilde beklenen şema sayısı 3,20 olarak bulunmaktadır. Bu sayı, şemanın gerçek sayısı ile karşılaştırıldığında doğru sayıda kopya elde edildiği görülür. Benzer şekilde H_2 ve H_3 şemaların ortalama uygunluk değerleri ve kopya sayıları elde edilebilir.

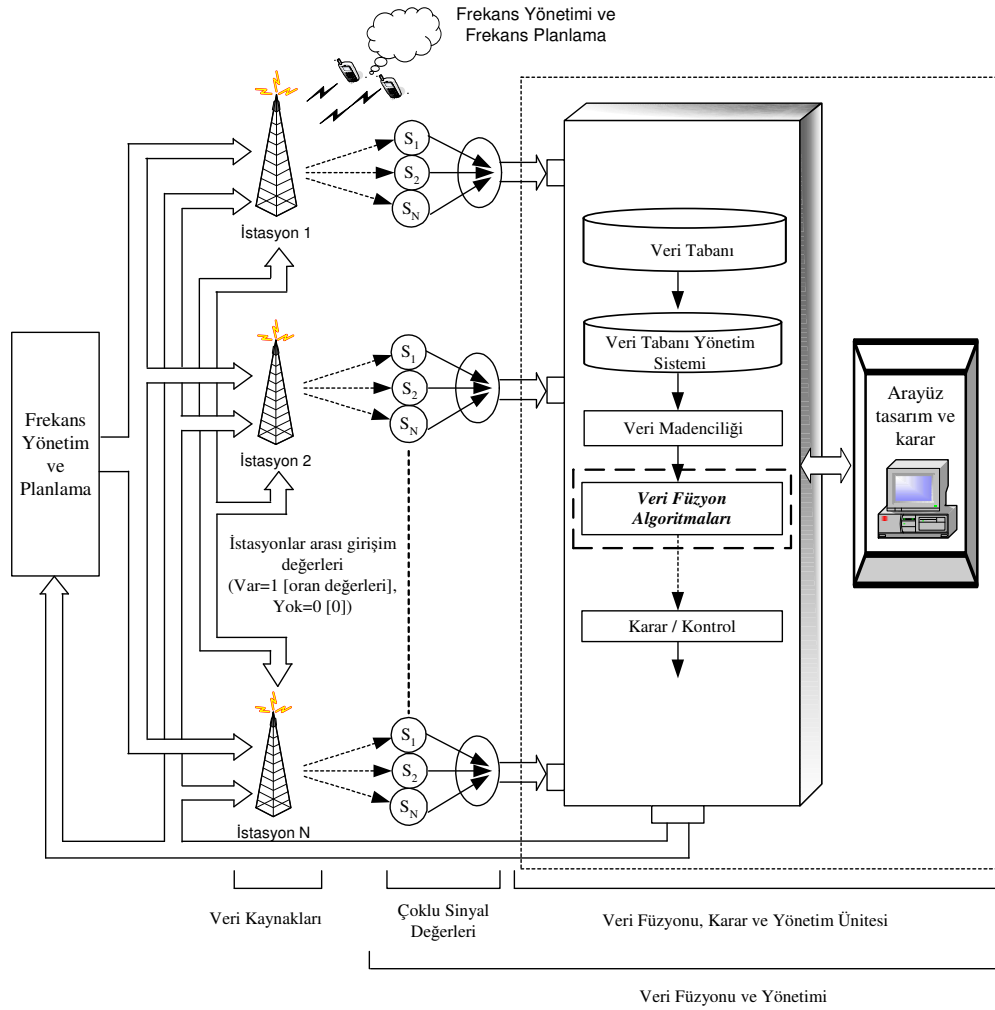
Çizelge 4.4. Genetik Algoritma ile şema teoremi

Seçim işleminden önce				Seçim işleminden sonra			Bütün işlemlerden sonra		
Şemalar	Diziler	Şemanın Uygunluğu ($f(H)$)	Beklenen Kopya Sayısı	Gerçek Kopya Sayısı	Diziler	Beklenen Kopya Sayısı	Gerçek Kopya Sayısı	Diziler	
H_1	1****	2,4	496	3,20	3	2,3,4	3,20	3	2,3,4
H_2	*10**	2,3	320	2,18	2	2,3	1,64	2	2,3
H_3	1***0	2	576	1,97	2	2,3	0,0	1	4

Üreme işleminden sonra, çaprazlamanın bu şemalar üzerindeki etkisi incelenirse H_1 şemasının ilerlemediği görülür. Çünkü $\delta(H_1) = 0$ olup Eş. 4.14'e göre çaprazlama işlemine tabi tutulacak bitlerin hayatta kalma olasılıkları, $p_s = 1$ 'dir. H_2 şemasının uzunluğu $\delta(H_2) = 1$ olup, Eş. 4.14'e göre çaprazlama işlemine tabi tutulacak bitlerin hayatta kalma olasılığı, $p_s \geq 0,75$ olarak bulunur. Sonuç olarak kısa uzunluk tanımına sahip olan bu şema, yüksek olasılıkla hayatta kalır. Eş. 4.16'dan yararlanarak, H_2 şemasının çaprazlama işlemi sonucunda, gerçekte beklenen değeri $m(H_2, t + 1) = 1,64$ olarak bulunur. H_3 şema uzunluğu $\delta(H_3) = 4$ olup, çaprazlama işlemi sonucunda bu şema bozulur.

5. FREKANS PLANLAMANNIN GERÇEKLEŞTİRİLMESİ

Bu tez çalışmasında kullanılan sisteme ait yapı (verilerin elde edilmesi, sistemin yönetilmesi, bilgisayar destekli uygulama, frekans yönetimi ve planlama) Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



Şekil 5.1. Sisteme ait genel yapı

5.1. Programın Özellikleri

Bu tez çalışması Türkiyede GSM operatörlerinden biri olan Turkcell bünyesinde yürütülmüştür.

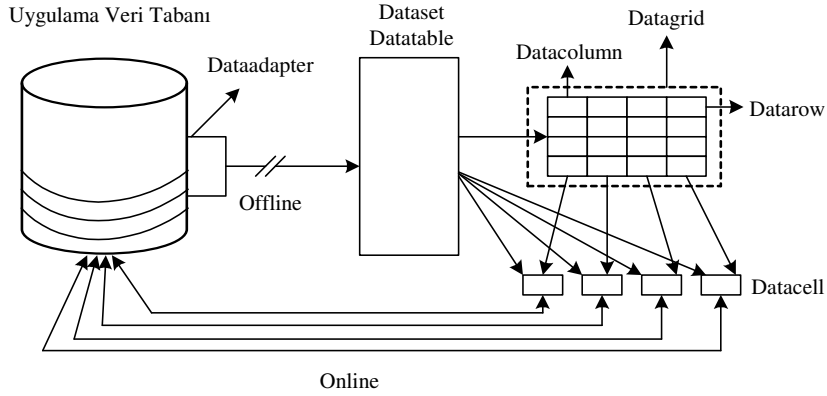
Bu tez çalışmasında yapılmış olan programın özellikleri aşağıdaki gibidir.

- Yapılan bu programda Yapay Zekâ tekniklerinden biri olan genetik algoritma kullanılmıştır.
- Kullanıcı dostu arayüz tasarımına ağırlık verilmiştir.
- Kullanıcıdan kaynaklanan hataların kullanıcıya gösterilerek yanlış tablo yüklemelerinin veya yanlış verilerin yüklenmesi önlenmiştir.
- Genel baz istasyonu ağından alınan verilerin gösterimi yapılarak çözüme gidilmeden önce veriler üzerinden istenilen değişikliklerin yapılabilmesine izin verilmektedir.
- Programa yüklenen tablolar arasında gerekli bağlantılar kurularak sistemin bir bütün olarak çalıştırılması sağlanmaktadır.
- Programda veri füzyonu çerçevesinde yapılan veri güncellemeleri, veri eklemeleri ve veri silmeleri kullanıcıya sunularak veriler istenilen şartlara göre hazırlanabilmektedir.
- Genetik algoritmaya ait parametreler arayüz tasarımında seçenek olarak kullanıcıya belirtilmektedir. Kullanıcı gerekli bilgilere sahipse GA'ya ait bu değerler üzerinde sistemi düzeltecek şekilde ayarlamaları yapabilmektedir.
- Programa yüklenen ICDM (Inter Cell Dependency Matrix) tablosunda yapılacak olan veri sadeleştirme seçenekleri isteğe göre gerçekleştirilebilmektedir.
- Programın çalıştırılması esnasında iterasyon mantığı olduğundan her bir iterasyondaki sonuçların gösterimi yapılmaktadır.
- Her bir iterasyona ait çözüm değerlerinin grafiksel olarak gösterimi isteğe bağlı olarak yapılabilmektedir.
- Frekansı bulunacak ve frekansı sabit tutulacak hücrelerin listesi programa dışarıdan yüklenebilmektedir.
- Programa yüklenen ana ICDM tablosundan frekansı bulunmayacak olan hücrelere ait satırlar silinerek gereksiz verilerin kullanıcıya gösterimi engellenmiştir.

- Sisteme ait kısıtlar çözüme geçilirken seçilebilir olarak ayarlanmıştır. Ayrıca kısıtlara ait ceza değerleri kullanıcıya göre belirlenebilmektedir.
- BCCH için 10-19,81-120 arasında yer alan frekans bandlarından istenilenlerin kullanımını sağlanabilmektedir.
- BCCH'e ait kullanılan en çok frekanslara ait setler oluşturularak frekansların seçiminde kolaylık sağlanmıştır.
- Programın çalışması istenildiği anda durdurulabilmektedir.
- Programın bulmuş olduğu frekansların değerleri ICDM tablosuna yazdırılarak belirtilmiş olan kısıtlara uymayan değerlere ait satırların farklı renklendirmesi yapılmıştır. Böylelikle programın ürettiği çözümün doğruluk kontrolü kolayca yapılabilmektedir.
- Programda üretilen frekansların excel dosyası olarak bilgisayarda istenilen yere kaydedilmesi sağlanmaktadır.
- Bu excel dosyasında otomatik olarak frekansların kaç defa kullanıldığı ve bu kullanım sayılarına göre frekans kullanım grafiği çizdirilmektedir.
- Bu excel dosyasına programın hangi kısıtlar ve hangi ceza değerleri için çalıştırıldığının kayıtları yapılmaktadır.
- Programa bir önceki çalışmadan elde edilen frekans değerlerine göre çözüme devam edilmesi sağlanmaktadır. Böylelikle programın çalışmasına ara verildikten sonra en son kalınan yerden devam edilmesi sağlanmaktadır.
- En son kalınan yerden çalışmaya devam edilmesi durumunda en son çalışma durumuna ait kısıtların değerlerini program otomatik olarak eklemektedir.

5.2. Programa Ait Veri Tabanı Yönetim Sistemi

Programda kullanılan veri tabanı ve veri tabanı yönetim sistem modeline ait alt yapı Şekil 5.2’de gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Veri Tabanı Yönetim Yapısı

Şekil 5.2’deki yapıda yer alan ifadelerin tanım ve görevleri ise şöyledir.

Uygulama Veri Tabanı: Turkcell’e ait baz istasyonlarından oluşan şebekeden elde edilen verilerin yer aldığı veri tabanıdır. Bu tezde baz istasyonlarındaki hücrelerden alınan veriler ICDM tablosu olarak elde edilmektedir. Bu veri tabanında Cell_No, Cell, Interferer, CoChannelInterferedTraffic, AdjChannelInterferedTraffic, NoSamples, OtherBandFactor, CellType, Distance, Notes, NeighbourOrder, RecTime isimli sütunlar bulunmaktadır. Ayrıca bunlar datagriddeki datacolumnların isimlerini oluşturmaktadır.

Dataadapter: Data adaptör, veri tabanı ile datasetler arasında veri alış verişini sağlar. Bir uygulamada veriler veritabanından okunarak dataset içine alınır daha sonra tekrar datasetten veri tabanına aktarılır.

Dataset: Veri tabanından alınan verilerin kullanıcıya gösterilmeden önce verilerin geçici olarak tutulduğu alandır. Kullanıcı doğrudan veritabanına ulaşarak müdahale

etmektense dataset üzerinden müdahale ederek istenildiği takdirde bu değişiklikleri veritabanına yansıtılır.

Offline bağlantı: Bu bağlantı ile veritabanına doğrudan erişim mümkün değildir. Veriler datasete aktarıldıktan sonra veritabanıyla olan bağlantı koparılır. Böylelikle veritabanına doğrudan müdahale engellenir. Kullanıcıya veriler dataset üzerinden gösteriliyorsa veritabanında herhangi bir değişiklik yapılmadan datasetteki veriler değiştirilir. Datasetteki bu değişikliklerin veritabanına yansıtılması için dataset ile veri tabanı arasındaki bağlantı yeniden kurulmalıdır.

Online bağlantı: Bu bağlantı ile veritabanına doğrudan müdahale mümkündür. Kullanıcının verilerde yapacağı herhangi bir değişiklik aynı zamanda doğrudan veritabanında da gerçekleştirilir.

Datagrid: Datasetten alınan verilerin matrisler biçiminde gösterilmesidir. Datagrid, datarow (verisatırı) ve datacolumn(verisütunu)'lardan oluşur. Datagriddeki veriler istenilen biçimde kullanıcıya gösterilir. Datarow; ölçüm değerleri alınan verilerin kaç adet olduğuna göre değişir. Datacolumn ise ölçüm değerleri alınan ölçüm çeşitlerine göre değişir.

Datacell: Datagriddeki her bir verinin gösterildiği yerdir.

5.3. Bilecik İli İçin BCCH Frekans Planlamasının Gerçekleştirilmesi

Bu kısımda Bilecik iline ait BCCH frekans planlamasının nasıl yapıldığı ve sonuçları gösterilmiştir.

Bilecik ilinin coğrafi yapısı Resim 5.1’de gösterilmiştir.



Resim 5.1. Bilecik ilinin coğrafi durumu

Bilecik ilinin yüzölçümü 4307 km^2 ve nüfusuda 2008 yılı verilerine göre 203 777 kişidir. Bu ile ait 96 tane frekansı bulunacak olan hücre ve diğer komşu illere ait olan ve Bilecik ilindeki hücelere girişim yapan frekansı sabit ve bilinen harici 98 tane hücre mevcuttur. Çözüm aşamasında bu harici olan hücelere frekans bulunmayacaktır. Sistem yapısı dinamik bir yapıdır. Elektromanyetik dalgaların ve sinyallerin hava yüzeyindeki dağılımı anlık olarak değişiklik göstermektedir. Baz istasyonlarına dair alınana veriler her an içinde değişmektedir. Dolayısıyla böylesi bir gerçek dünyada böylesi bir dinamik çevreye ait değerlere göre frekans planlamasının tam olarak yapılabilmesi de zordur. Sistemin dinamik olması Bilecik ilindeki hücelere yapılacak olan girişim değerlerinin ve girişim yapan diğer hüceleri ve bunların sayılarını da değiştirmektedir.

Bilecik iline ait olarak 10-19, 81-89 aralığındaki toplam 19 tane frekans bandı 96 tane hücreye BCCH frekansı olarak harici hücrelerin de frekans değerine göre dağıtılacaktır.

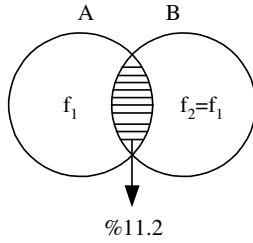
Bu ile ait ve komşu illere ait hücrelerden yapılan girişim değerleriyle birlikte elde edilen ICDM tablosu Turkcell'den alınmıştır. Bu ICDM tablosu 11 799 satırdan ve 11 sütundan oluşmaktadır. Resim 5.2'de Bilecik'e ait ICDM tablosunun sisteme yüklendikten sonraki ekran görüntüsü verilmiştir. *Bundan sonraki sayfalarda gizlilik gereğince sadece birkaç hücre ismi gösterilecek diğer hücre isimleri ve detayları gösterilmeyecektir.*

Cell_No	Cell	Interferer	CoChannelInterfererTraffic	AdjChannelInterfererTraffic	NoSamples	OtherBandFactor	CellType	Distance
30	BRM04B1/BLORM1	BRM04B1/METPE1	3.75	0	704386		normal	0.27
48	BRM04B1/BLORM1	BRM04B1/BILTE1	2.26	0	704386		normal	18
75	BRM04	BRM04			704386		normal	17
80	BRM04	BRM04			0		normal	2.8
81	BRM04	BRM04			0		normal	12
84	BRM04	BRM04			704386		normal	10
105	BRM04	BRM04			704386		normal	7.0
106	BRM04	BRM04			704386		normal	7.0
111	BRM04	BRM04			704386		normal	4.1
114	BRM04	BRM04			704386		normal	4.1
125	BRM04	BRM04			0		normal	15
127	BRM04	BRM04			704386		normal	15
134	BRM04	BRM04			704386		normal	2.0
135	BRM04	BRM04			704386		normal	2.0
142	BRM04	BRM04			704386		normal	8.9
146	BRM04	BRM04			704386		normal	0.0
147	BRM04	BRM04			704386		normal	1.4
148	BRM04	BRM04			704386		normal	1.4
157	BRM04B1/BLORM2	BRM04B1/BILKU1	10.33	0	7673074		normal	7.0
158	BRM04B1/BLORM2	BRM04B1/BILKU2	4.66	0	7673074		normal	7.0
167	BRM04	BRM04			7673074		normal	4.1
168	BRM04	BRM04			7673074		normal	4.1
202	BRM04	BRM04			7673074		normal	1.4
203	BRM04	BRM04			7673074		normal	1.4
229	BRM04	BRM04			7673074		normal	0.0

Resim 5.2. Bilecik iline ait ICDM tablosu

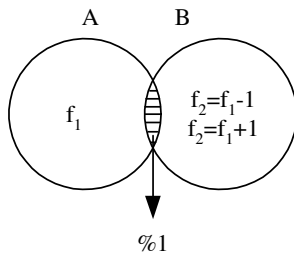
Resim 5.2 incelendiğinde ICDM tablosunda yer alan sütunların açıklamaları aşağıda verilmiştir. Bu resimdeki yapıda gereksiz olduğu için CoChannelInterfererTraffic değeri sıfır (0) olan satırlar kullanıcıya gösterilmemektedir.

- Cell:** Ana hücrenin ismidir. Frekans planlama yapılırken bu hücelere ait frekans bulunacaktır.
- Interferer:** Cell sütununda yer alan ana hücreye girişim yapan hücrelerin isimleri yer alır.
- CoChannelInterfererTraffic:** Girişim yapan hücrenin ana hücrenin ne kadarlık alanına eş frekans girişimi (aynı frekans bandı) yaptığıının değerini gösterir. Bu durumu anlatan yapı Şekil 5.3'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Eş frekans girişimi (CoChannel Interferer)

- AdjChannelInterfererTraffic:** Girişim yapan hücrenin ana hücrenin ne kadarlık alanına komşu frekans girişimi (ana hücreye ait frekansın ± 1 frekans olması durumu) yaptığıının değerini gösterir. Bu durum Şekil 5.4'de gösterilmiştir.

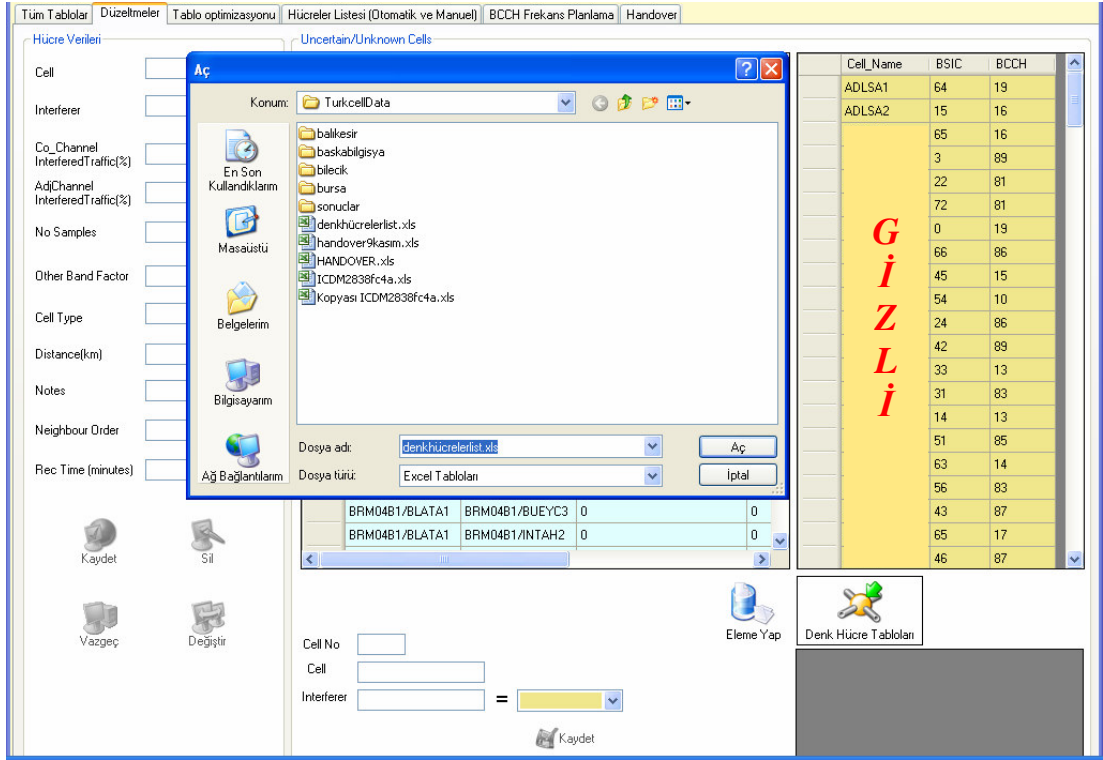


Şekil 5.4. Komşu frekans girişimi (AdjChannel Interferer)

- NoSamples:** Sistemin belirlenen süre içerisinde kaç tane örnekleme değerinin alındığı bilgisidir.
- OtherBandFactor:** Diğer bandlara ait faktör bilgisi bulunur.
- CellType:** Hücelere ait tip tanımlaması yapılmaktadır.

Distance:	Girişim yapan hücrenin ana hücreye olan uzaklığını km cinsinden belirtir.
Notes:	Hücrelere ait belirtilen bir ifade varsa burada yer alır. Alınan değerler doğru fakat girişim yapan hücrenin hangisi olduğundan emin değilse “UnCertain/UnKnown” olarak bilgi yazar. Eğer bir sebepten dolayı veriler alınamamışsa “NotMeasuremnt” bilgisi yer alır. Böylesi durumlarda bu satırlara ait hangi işlemlerin yapılacağı ilerleyen kısımlarda açıklanmıştır.
NeighbourOrder:	Girişim yapan hücrenin ana hücreye olan konumunu belirtir. Eğer “1st” ifadesi varsa girişim yapan hücrenin ana hücreye doğrudan komşu olduğunu belirtir. Eğer “2nd” ifadesi varsa girişim yapan hücrenin ana hücreye komşusunun komşusu olduğunu belirtir.
RecTime:	Elde edilen verilerin ne kadarlık bir süre içinde alındığını gösterir.

ICDM tablosunda elde edilen verilere ait olarak tabloda yapılacak herhangi düzeltmelere ait işlemler “düzeltmeler” sekmesinde yapılmaktadır. Bu sekmeye ait durum Resim 5.3’de gösterilmiştir.



Resim 5.4. UnCertain/UnKnown hücre bilgileri

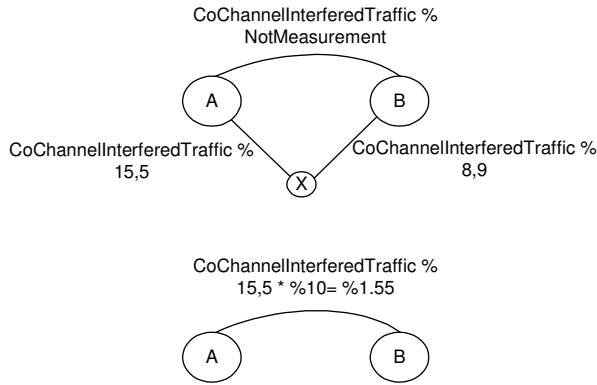
Tablo optimizasyonu kısmında programa yüklenmiş olunan ICDM tablosundan gereksiz satırların ve verilerin silinerek çözümün daha güvenilir, daha hızlı olması ve kullanıcıya gereksiz verilerin gösterilmesi engellenir. Tablo sadeleştirme işlemi şu işlemler yapılır;

- 1) ICDM tablosundaki CoChannelInterferedTraffic sütununda sıfır olan satırlar veriler tablosundan silinir.
- 2) RecTime sütununda anormal olarak zaman değeri bulunan satırlar silinir. RecTime'e göre yapılan silmeler şu şekilde açıklanabilir. Sistemden alınan ölçüm değerleri belli örnekleme sayısında ve belli bir süre içinde alınır. Bu sürenin dışında gelen farklı sürelerle ait bilgilerden doğruluk derecesi ispatlanamadığından bu değerlere ait satırlar ICDM tablosundan silinir. Örneğin normal şartlar altında RecTime (kayıt zamanı) değeri 1381 dakika olarak ölçülmüştür. Eğer 1381 dakikanın altında bir süre ölçümü yapılırsa gelen örnek sayısı da farklı olacaktır. NoSamples sütunu incelendiğinde Kayıt zaman

değeri farklı olan satırların örnekleme değeri de farklı olmaktadır. Kayıt zamanı değerinin normalin altında bir değerinin olması sisteme dair gelen örneklemelemlerde bir yanlışlığın olduğunu veya tam ölçüm alınmadığını belirtir. Bu satırların ihmal edilmemesi sistemin çözümünde çözümün güvenilirliğini azaltır. Bu yüzden kayıt zamanına göre tablonun optimizasyonu çok önemlidir. Aksi takdirde program çözümünde yanlış ölçüm değerleri alınmış olan satırlar içinde bir çözüm değeri üretilecek ve bu tüm bir sisteme yansıtıldığında tüm sistemin doğruluk derecesi düşecektir. Ayrıca böylesi problemlili satırların işleme tabi tutulması çözüm süresini de uzatacak ve bilgisayarın hafızasında boş yere alan işgal edecektir.

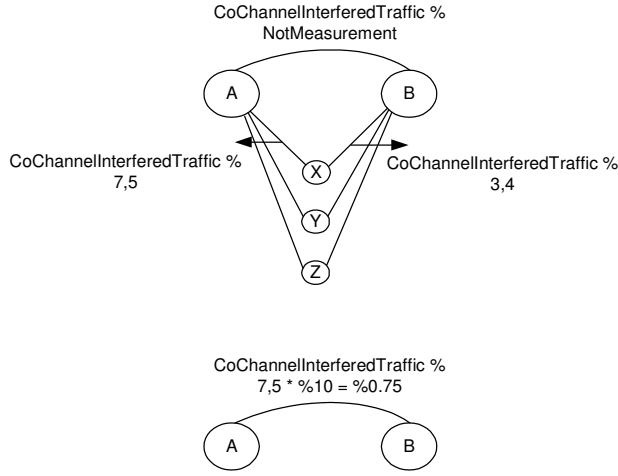
- 3) ICDM tablosunda girişim değerleri %1'den küçük olan satırların da silinme işlemi tablo optimizasyonun da bir etkendir. Eğer uygulaması yapılan şebeke alanı çok büyükse ve çözüm uzayını biraz daha rahatlatmak istenirse bir takım satırların yok kabul edilmesi gündeme gelmektedir. İşte böylesi bir durumda girişim değeri %1'den küçük olan Co-Channel çakışmaları önemsenmeyebilir. Bu durumda da ICM tablosundan girişim değerleri %1'den küçük olan satırların silinmesi sağlanabilir.
- 4) Sisteme frekansı bulunacak olan hücrelere ait bilgilerin tablolaştırılması yapıldığında sisteme yüklenmiş olan hücreler tablosunda yer almayan hücrelere ait satırların ICDM tablosundan silinmesi GA ve programın çalışma hızını direkt olarak etkilemektedir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi çözümü etkilememekte ancak belirtildiği gibi programın çalışma hızını arttırmaktadır. ICDM tablosunda yapılacak olan uygun olan her türlü satır azaltma işlemi hem GA'nın etkinliğini hem de programın çalışma hızını arttıracaktır.
- 5) GSM şebekesinden ait alınan değerlerde Note sütununda "NotMeasurement" olarak belirtilmiş olan satırlarda CoChannelInterferedTraffic ve AdjChannelInterferedTraffic sütununa ait satırlarda herhangi bir değer yer almamaktadır. Bunun sebebi baz istasyonlarının aynı frekansa ait hücrelerin birbirlerinin değerlerinin ölçülememesidir. Veya herhangi bir değer hiç gelmemesidir. Eğer 2 hücrede aynı frekans değerine sahip oldukları için ölçüm değerleri alınamamışsa şu işlemler yapılarak satırlarda düzeltmeler yapılabilir. Her 2 hücreye de interferer yapan hücreler (kesişim hücreleri) tablodan

bulunur. Bu hücreler interferer değerlerine göre sıralamaya konur. Bu aşamadan sonra eğer kesişim hücreleri 1 tane ise o hücrenin diğer 2 ana hücreye yaptığı CoChannelInterferedTraffic değerinden büyük değere sahip olan değer alınır. Sonra bu değerinin %10 değeri ölçüm değeri alınamamış olan 2 hücrenin birbirleri ile olan interferer değeri CoChannelInterferedTraffic değeri olarak yazılır. Eğer %10'u alınmış CoChannelInterfererTraffic değeri %5 değerinin üstünde çıkarsa doğrudan en son değer olarak %5 alınır. Bu durum Şekil 5.5'de gösterilmiştir.



Şekil 5.5. İki hücrenin tek bir ortak hücre olması durumu

Eğer kesişen hücre sayısı 1'den fazla ise o zamanda CoChannelInterfererTraffic değerleri büyükten küçüğe göre sıralandıktan sonra 1. sırada yer alan hücrenin değerinin %10 değeri alınır. Böylelikle ölçüm değeri alınamamış olan 2 hücrenin birbirleri ile olan interferer değeri CoChannelInterferedTraffic değeri olarak yazılır. Bir önceki durumda da olduğu gibi eğer %10'u alınmış CoChannelInterfererTraffic değeri %5 in üstünde çıkarsa direkt olarak en son değer olarak %5 alınır. Bu durum Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6. İki hücrenin iki veya daha fazla ortak hücre olması durumu

Bu yapılanların hepsi sistem çözümünün en iyi şekilde ifade edilmesi içindir. Veri füzyonu işleminin etkin bir şekilde kullanımı için bu tür işlemlerin yapılması sistem güvenilirliği için önemlidir. Veri füzyonunda yapılması gereken en önemli unsur gelen verilerden yararlanarak sistem çözümüne gidilirken en iyi tabloyu oluşturabilmek ve kullanmaktır. Elde edilen verilerin sistemi en iyi ifade edecek şekilde tablolaştırılması, veriler arasında mantıksal benzeşimlerin yaratılması ve tablonun optimize edilme işlemi yazılımın uzun süren safhalarından bir tanesidir. Ayrıca tablodan satırlar arası ilişki kurularak gereksiz bilgilerin ayıklanması gerekmektedir.

Bilecik iline ait ICDM tablosunun optimize edildikten sonra oluşan tablonun gösterimi Resim 5.5’de gösterilmiştir. Bilecik iline ait ana ICDM tablosu optimize edildikten sonra 11 799 satırdan oluşan tablo 861 satıra indirgenmiştir.

Tüm Tablolar | Düzeltmeler | Tablo optimizasyonu | Hücreler Listesi | BCCH Frekans Planlama | Handover

Tablo Optimizasyonu

Optimizasyon Seçenekleri

Girişim değeri sıfır olan satırları sil Anormal örnekleme sayısı olan satırları sil Girişim değeri 1'den küçük olan satırları sil

Optimizasyon seçeneklerini onayla

Cell_No	Cell	Interferer	CoChannellInterferedTraffic	AdjChannellInterferedTraffic	Nc
1	BRM04B1/BILKU1	BRM04B1/BLHIS1	0.32	0	62
2	BRM04B1/BILKU1	BRM04B1/BILKU2	45.74	4.16	62
3	BRM1	BRM1			62
16	BRM1	BRM1			62
18	BRM1	BRM1			62
19	BRM1	BRM1			62
29	BRM1	BRM1			62
30	BRM1	BRM1			62
31	BRM1	BRM1			62
32	BRM1	BRM1			62
33	BRM1	BRM1			62
42	BRM1	BRM1			62
48	BRM1	IZTM			62
49	BRM1	BRM1			62
50	BRM1	BRM1			62
51	BRM1	BRM1			62
53	BRM1	BRM1			62
54	BRM1	BRM1			62
57	BRM1	BRM1			62
58	BRM1	BRM1			62
59	BRM1	BRM1			62
69	BRM1	BRM1			62
85	BRM1	BRM1			62
94	BRM04B1/BILKU2	BRM04B1/BILKU1	65.02	11.99	25

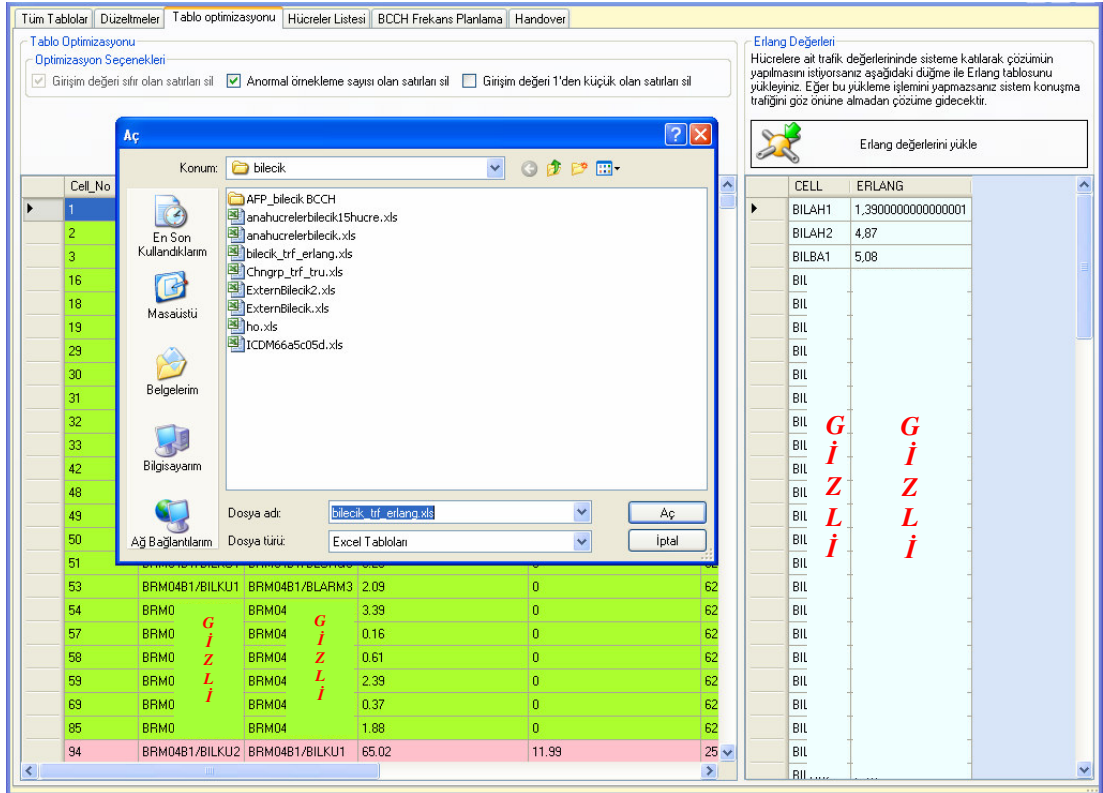
Erlang Değerleri

Hücrelere ait trafik değerlerinin sisteme katılarak çözümün yapılmasını istiyorsanız aşağıdaki düğme ile Erlang tablosunu yükleyiniz. Eğer bu yükleme işlemi yapmazsanız sistem konuşma trafiğini göz önüne almadan çözüme gidecektir.

Erlang değerlerini yükle

Resim 5.5. Bilecik iline ait ICDM optimize edilmiş olan tablonun gösterilmesi

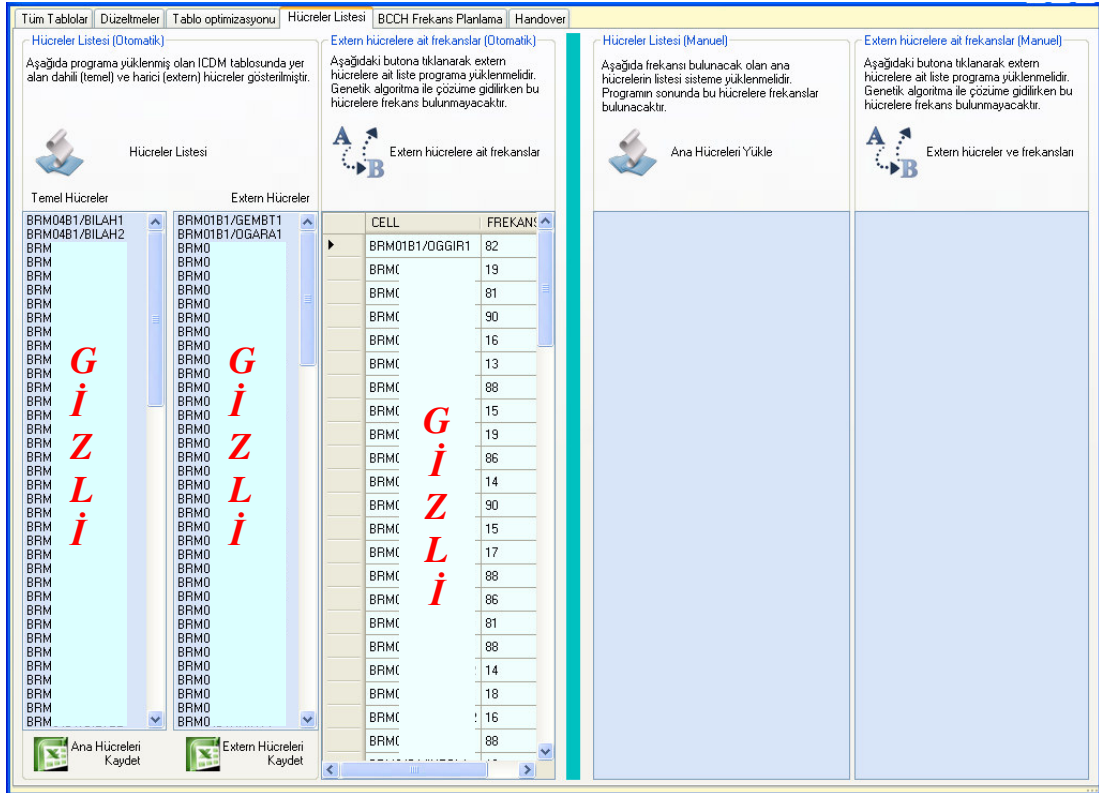
Yukarıdaki resmin sağ tarafında yer alan “Erlang değerlerini yükle” düğmesine basılarak her bir hücreye ait konuşma trafik değerlerini içeren tablo programa yüklenebilir. Bu durumun çözümü nasıl etkilediği ilerleyen kısımlarda anlatılacaktır. Resim 5.6’da Erlang tablosunun sisteme yüklendikten sonraki durumu gösterilmiştir.



Resim 5.6. Erlang tablosunun sisteme yüklenmesi

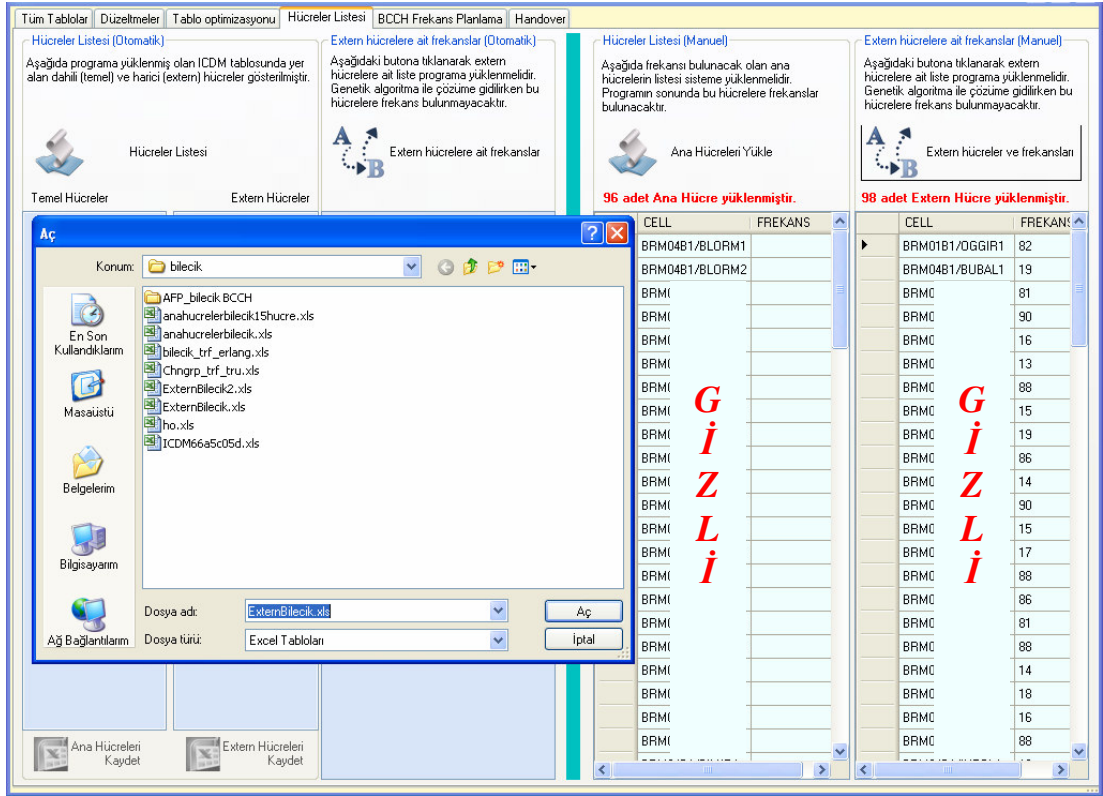
Hücreler listesi sekmesinde frekansı bulunacak olan hücreler ve harici olarak sisteme frekansları bilinen hücrelerin listesi ekranın sağ tarafında yer alan düğmeler ile yüklenir. Eğer hücrelerin listesi yüklenmeyip ICDM tablosunda yer alan tüm hücrelere ait frekansların bulunması istenirse ekranın sol tarafındaki düğmeler ile frekans listesinin programın kendisinin oluşturması sağlanır. Genel yapı itibariyle hücre adları, harici hücre ve frekans değerleri sisteme dışarıdan liste olarak girilmektedir.

ICDM tablosu kullanılarak programın kendi listesini oluşturması Resim 5.7'de gösterilmiştir. Programın kendi listesini oluşturduktan sonra excel dosyası olarak kaydedilmesi mümkündür. Böylelikle bir sonraki çalıştırmalarda istenildiği takdirde programa hücreler listesi dışarıdan yüklenebilmektedir.



Resim 5.7. ICDM tablosuna göre ana hücre ve harici hücrelerin belirlenmesi

Ana hücre isimleri ve harici hücre isim ve frekansları dışarıdan girilmek istenmesi durumu Resim 5.8’de gösterilmiştir. Sisteme ait genel ICDM tablosu kullanılarak istenilen sayıda hücreye frekans bulma işlemi gerçekleştirilebilir.

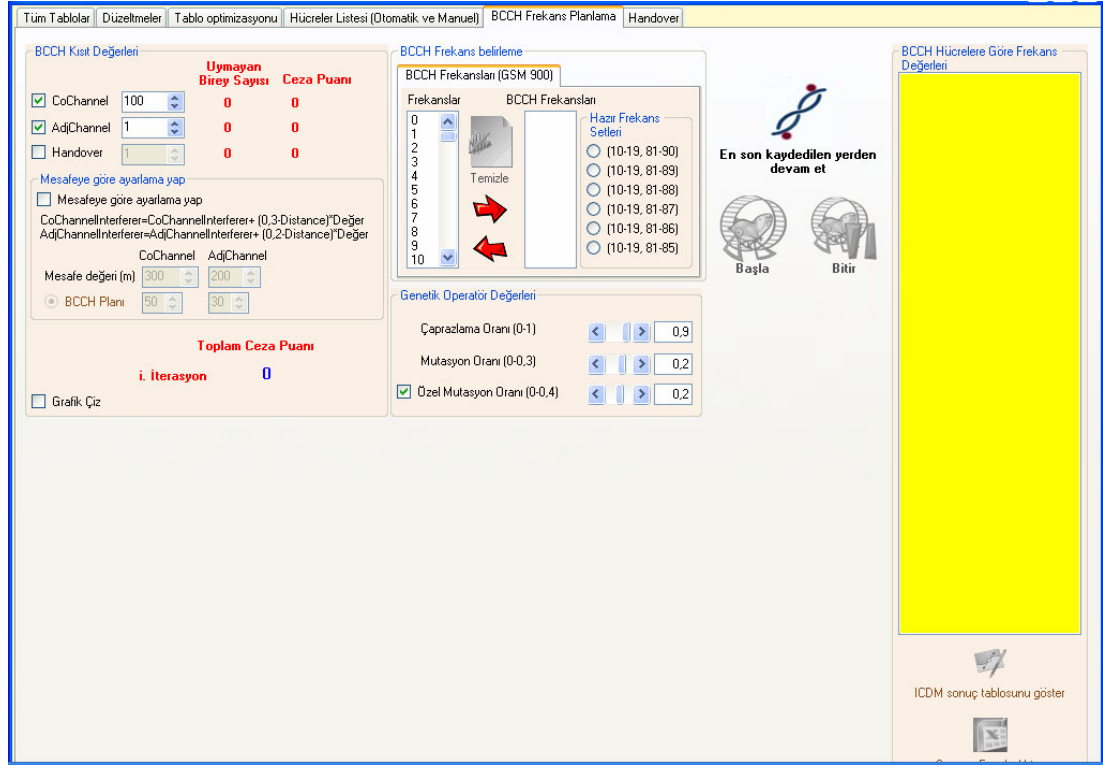


Resim 5.8. Frekansı bulunacak olan hücrelerin, harici hücre ve frekansların listesinin yüklenmesi

Buraya kadar yapılan tüm işlemler GA ile çözüme geçilmeden önce verilerin gösterilmesi, verilerin değiştirilmesi, veriler tablosunun optimizasyonu, veriler arasında ilişkili tabloların yüklenmesi ve çözümde istenilenlerin ne olduğunun tesbiti yapılmaktadır. Bu işlemler sırasında veri madenciliği ve veri füzyonu gerçekleştirilerek GA’da kullanılacak en iyi verilerin hazırlanması gerçekleştirilmektedir.

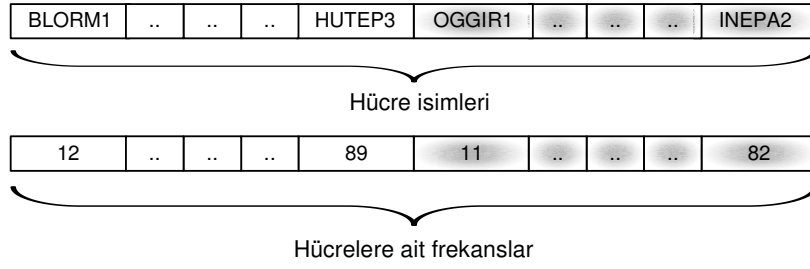
Bu aşamadan sonraki adım ise GA kullanılarak çözüme geçilmesi işlemidir. Tabi ki burada çözüme başlanmadan önce GA’ya ait kısıtların ve bunların ceza değerlerinin, genetik operatörlerin değerlerinin belirlenmesi, frekans setlerinin yüklenmesi, istenildiği taktirte bir önceki çalışmadan elde edilen sonuçların sisteme yüklenerek programın kaldığı yerden devamının sağlanması işlemleri gerçekleştirilebilir. İstenildiği taktirte mevcut andaki eniyi bireye ait ceza puanı ve uygunluk değerinin

gösterimi grafik olarak gösterilebilir. Bu durumları gösteren yapı Resim 5.9'da gösterilmiştir.



Resim 5.9. GA ile çözüme başlanmadan önceki son ayarlamalar

Frekans değerlerinin veya frekans setlerinin belirlenmesinden sonra “Başla” düğmesine basılarak çözümün GA ile gerçekleşmesine geçilir. Çözüme gidilirken GA’da kromozom yapısı oluşturulurken iki tip kromozom yapısı kullanılır. Birinci tip kromozomda hem ana hücreler hem de harici hücelere ait frekans değerleri tutulur. Frekansların belirtilmesi onluk tabanda olduğu için genlerin kodlanmasında onluk sayı sistemi kullanılmıştır. İkinci tip kromozom yapısında da hücre isimleri tutulmaktadır. Dolayısıyla bu kromozom yapısında alfa sayısal olarak düzenlenmiştir. Genetik operatörler frekansların bulunduğu kromozomda gerçekleştirilmektedir. Bu iki tip kromozoma ait yapı Şekil 5.7’de gösterilmiştir.



Şekil 5.7. Bu çalışmada kullanılan kromozom yapısı

Şekil 5.7'deki yapının düzenlenmiş hali Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken husus çözümde 2 farklı tipte kromozom yapısının olmasıdır.

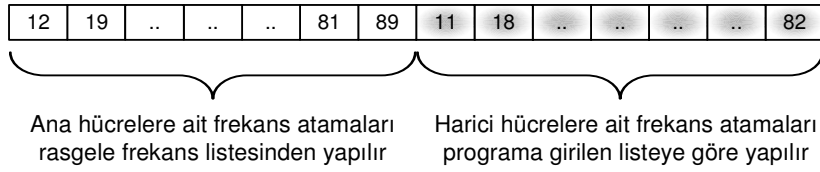
BLORM1	..	..	..	HUTEP3	OGGIR1	..	..	..	INEPA2
12	..	..	..	89	11	..	..	..	82

Populasyondaki tek bir bireyin (kromozomun) gösterimi

Şekil 5.8. Bu çalışmada kullanılan ve çözüm uzayını temsil eden tek bir kromozoma ait yapı

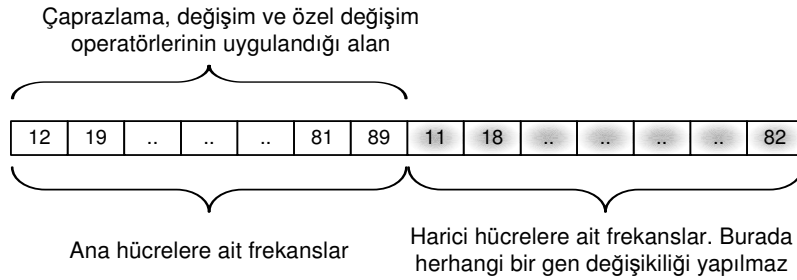
Bu noktadan sonraki kısımlarda kromozom yapısı anlatılırken frekans değerlerinin bulunduğu kromozom yapısı temel alınarak anlatılacaktır.

Kromozom yapısı oluşturulurken ana hücelere ait frekans atamaları yapılırken frekanslar listesinde yer alan frekans değerlerine göre rasgele dağılım yapılır. Bu tezde Turkcell'e ayrılmış olan frekans kanallarından BCCH için frekans değerleri 10-19,81-90 arasında TCH için 91-120 arasında yapılır. BCCH için kullanılmayacak olan frekanslar TCH için kullanılır. Ana hücelere ait frekans atamaları yapıldıktan sonra kromozomda geriye kalan genler ise harici hücelere ait frekanslar dışarıdan programa yüklenerek kromozom oluşturulur. Bu durumu gösteren yapı Şekil 5.9'da gösterilmiştir.



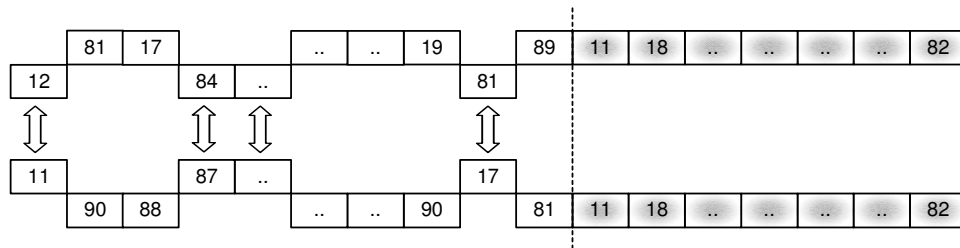
Şekil 5.9. Frekansların olduğu kromozom yapısı

Genetik operatörlerin uygulanmasında harici hücrelere ait frekansların olduğu genlere gelindiğinde genetik operatörler uygulanmaz. Bireylerde yapılacak olan çaprazlama ve değişim operatörleri sadece ana hücrelere ait genler arasında olur. Harici hücrelere ait genlerde kesinlikle herhangi bir işlem yapılmaz. Buna rağmen uygunluk bulma işlemi yapılırken değerlendirmenin yapılabilmesi için bu frekans değerlerinin kromozom yapısında yer alması gerekmektedir. Dolayısıyla harici hücrelere ait frekansları içeren genlerde sistemin bir parçasıdır.



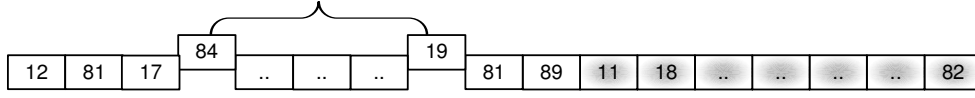
Şekil 5.10. Çaprazlama, değişim ve özel değişim operatörlerinin uygulanma alanı

Bu tez çalışmasında çaprazlama operatörü çok noktalı çaprazlama ve %90 uygulanma yüzdeliği ile GA'da kullanılmıştır. Bu durumu ifade eden yapı Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



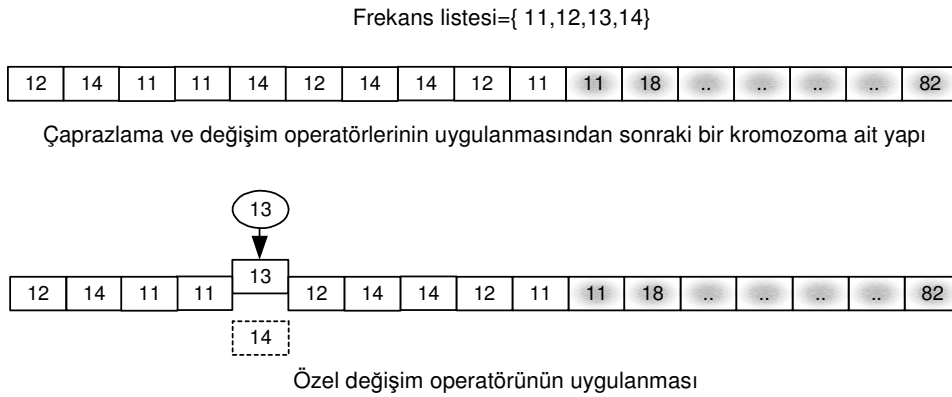
Şekil 5.11. Çok noktalı çaprazlama operatörünün uygulanması

Değişim operatörü olarak rasgele iki gen değişimi %15 olarak uygulanmıştır. Bu yapının gösterimi Şekil 5.12’de verilmiştir.



Şekil 5.12. Rasgele iki gen değişimi ile değişim operatörünün uygulanması

Bu tez çalışmasında çaprazlama ve değişim operatörlerinin uygulanmasından sonra bazı frekansların ilerleyen nesillerde tamamen yok olduğu görülmüştür. Bu durumu ortadan kaldırmak için probleme özgü “özel değişim” operatörü uygulanmıştır. Özel değişim operatöründe kromozom yapısından tamamen kaybolmuş olan frekans veya frekansların frekanslar listesinden bulunarak yeniden kromozoma eklenip işlemin devamı sağlanmıştır. Uygulaması yapılan bu çalışmada BCCH planlamasında 19 adet frekans kanalları kullanılırken sadece bir frekansın dahi tamamen kaybolup 19’dan daha az sayıda frekans üzerinden işlemin devam etmesi problemin çözümünün çok daha zorlaşması neden olmaktadır. Hatta çözümün gittikçe kötüleşmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı bu çalışmada klasik olarak uygulanan çaprazlama ve değişim operatörlerinin dışında özel değişim operatöründe %10 oranında uygulanmıştır. Şekil 5.13’de bu operatör yapısı gösterilmiştir. Bu yapıda eklenecek olan frekans kromozomda rasgele belirlenen gene atanarak yapılmaktadır.



Şekil 5.13. Özel değişim operatörünün uygulanması

Şekil 5.13'deki yapıda frekans olarak {11,12,13,14} numaralı frekans setinin kullanılacağı varsayılmaktadır. Bu doğrultuda çaprazlama ve değişim operatörlerinden sonra 13 nolu frekans kromozom yapısında yer almamaktadır. 13 numaralı frekansın dışarıdan müdahale ile rasgele belirlenen yerdeki gene bu frekans atanır. Müdahalenin doğrudan aynı bireyde bulunan bir gene yapılmasından dolayı bu operatöre “özel değişim operatörü” adı verilmiştir. Yapılan uygulamalardan dolayı özel değişim operatörünün mutlak surette bu çalışmada kullanılmasının gerektiği görülmüştür.

Frekans planlama problemi kısıtlı en iyileme problemi olarak nitelendirilir. Dolayısıyla mevcut kromozom yapılarından hangisinin en iyi olduğunun belirlenmesinde (uygunluk işlevi) belirlenen kısıtlara ve bu kısıtlara ait ceza puanları göz önüne alınmalıdır. GA'da kullanılan değerlendirme işlevi veya uygunluk işlevi problemin amaç işlevini oluşturmaktadır. Uygunluk işlevine ait formül Eş. 5.1'de gösterilmiştir.

$$f = \frac{1}{1 + \left(\sum_{k=0}^t \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^l P_k * C_{ij} \right)} \quad (5.1)$$

Burada, l = kromozomdaki gen sayısı, n = popülasyondaki kromozom sayısı, t = kısıt sayısı, C_{ij} = i. kromozomdaki ceza puanına sahip j. gen, P_k = k. kısıta ait ceza puanı ifade etmektedir.

BCCH frekans planında kullanılan kısıt isimleri program görüntüsü alınarak Resim 5.10'da gösterilmiştir.

BCCH Kısıt Değerleri		Uymayan	
		Birey Sayısı	Ceza Puanı
<input checked="" type="checkbox"/>	CoChannel	100000	0
<input checked="" type="checkbox"/>	AdjChannel	1000	0
<input checked="" type="checkbox"/>	Handover	1	0
Mesafeye göre ayarlama yap			
<input checked="" type="checkbox"/>	Mesafeye göre ayarlama yap		
	CoChannelInterferer=CoChannelInterferer+ (0,3-Distance)*Değer		
	AdjChannelInterferer=AdjChannelInterferer+ (0,2-Distance)*Değer		
	CoChannel	AdjChannel	
Mesafe değeri (m)	300	200	
BCCH Planı	50	30	
		Toplam Ceza Puanı	
i. Iterasyon		0	

Resim 5.10. BCCH planlamada kullanılan kısıtlar ve bunlara ait ceza puanı değerleri

Belirtilen kısıtlar ve bunlara ait ceza değerlerinin uygunluk işlevinde nasıl etki yaptıkları aşağıda belirtilmiştir. Kısıtlara ait ceza değerlerinin belirlenmesi aşamasında baz istasyonu şebekesini ve sistem yapısının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Hangi keskin kısıtların veya yumuşak kısıtların hangi ceza değerleri ile programın çalıştırılacağı uzman kişi tarafından belirlenmelidir.

Uygunluk işlevinde hücelere atanan frekans değerlerinin Co-Channel (eş kanal) ve/veya AdjChannel (komşu kanal) girişiminin mutlak surette en aza indirilmesi istenmektedir. Yoğun bir GSM şebekesine olumsuz etki eden girişimlerin en yaygın türü ortak frekans girişimidir. Frekans girişimi bir hücredeki frekans setleri ile diğer komşu hücrelerdeki frekans setlerinin aynı olması durumunda meydana gelir. İlgilenilen taşıyıcı ve diğer herhangi bir taşıyıcı için aynı frekans kullanıldığında diğer taşıyıcıdan alınan sinyalin gücü büyük olursa sistemde kalite sorunu ortaya çıkmaktadır. Taşıyıcı frekans sayılarının sınırlı olması durumunda birbirinden farklı belirli sayıda hücrenin kaçınılmaz olarak aynı ya da komşu frekansları kullanması gerekecektir.

Örneğin iki hücreye ait frekansların eş kanal frekans ve komşu kanal frekans çakışması olursa o bireyin alacağı ceza puanını hesaplanırken;

Co-Channel için (kısıt 1),

$$K_1CD = CCIT * CCCD \quad (5.2)$$

K_1CD = Kısıt 1 ceza değeri,

$CCIT$ = CoChannelInterfererTraffic(%),

$CCCD$ = CoChannel Ceza değeri

AdjChannel için (kısıt 2),

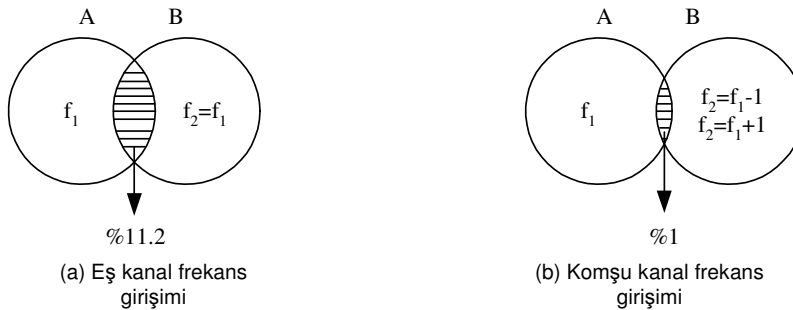
$$K_2CD = ACIT * ACCD \quad (5.3)$$

K_2CD = Kısıt 2 ceza değeri,

$ACIT$ = AdjChannelInterfererTraffic(%),

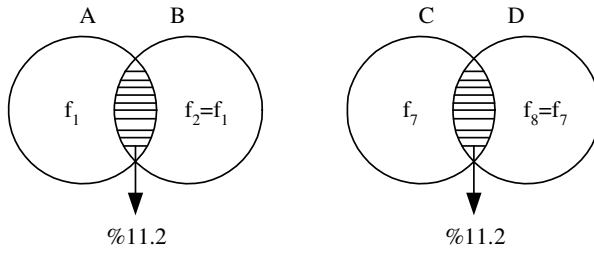
$ACCD$ = AdjChannel Ceza değeri

Eş kanal ve komşu kanal frekans girişimi olması durumları Şekil 5.14'de gösterilmiştir.



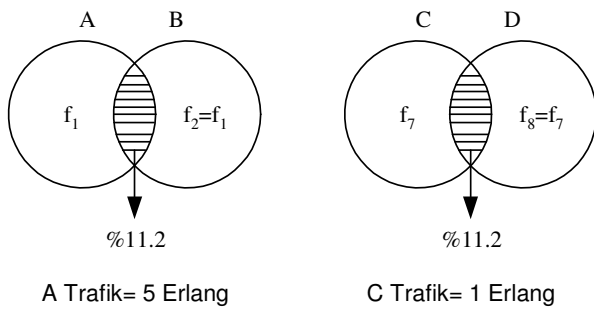
Şekil 5.14. Girişim a) Eş kanal frekans girişimi b) Komşu kanal frekans girişimi

Şekil 5.14 de gösterildiği gibi ceza işlevinin gerçekleştirilmesi durumunda şu tür bir problemle karşılaşılır. Aşağıdaki Şekil 5.15’de olduğu gibi eş kanal frekans girişimi durumuna göre A ve B hücreleri ile C ve D hücrelerinin birbirlerini etkileme oranlarının eşit olması durumunda hangi hücelere ait frekans setlerinde iyileştirme yapılacağıın ön görülemez.



Şekil 5.15. Farklı hücelere ait girişim değerlerinin aynı olması durumu

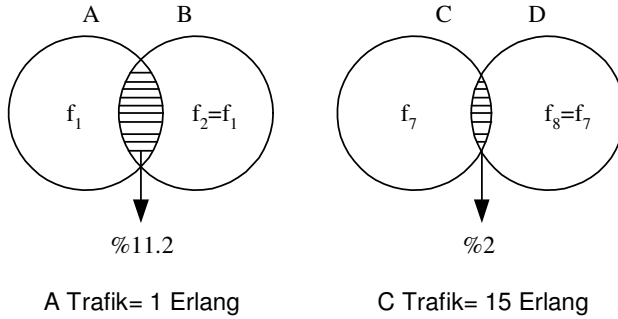
İşte bu anda hücrelerin birbirlerine yaptıkları girişim değerlerinin aynı olması durumunda bir belirleyici faktörünün ortaya konması gerekmektedir. Birbirlerine girişim yapan hücreler aslında girişim yaptıkları hücrenin toplam trafik akışını da o oranda etkilenmesine sebep olurlar. Uygunluk işlevinde ceza puanı hesaplanırken hücelere ait trafik değerinin de (Erlang) hesaba katılması çözüme gidilen yolda daha belirleyici olunmasını sağlayacaktır. Trafik, kanalların kullanımına karşılık gelir ve genellikle saat başına arama süresi olarak düşünülür ve Erlang (E) cinsinden ölçülür. Böylelikle girişim oranları aynı olsa bile trafik yoğunluğu daha çok olan hücelere ait frekanslarda iyileştirme yapılarak diğer trafik yoğunluğu az olan hücreye ait girişim değerinin önemi daha az olacaktır.



Şekil 5.16. Hücelere ait toplam konuşma trafiğinin hesaplamaya katılması

Bu durumda sistem çözümde ilk önce A ve B hücrelerine ait frekans değerlerinde düzeltmeye gidecektir. Çünkü B hücresinin A hücresinin toplam konuşma trafiğine etkisinin değeri D hücresinin C hücresine olan etkisinden daha büyüktür. B hücresi A hücresinin $5\%11,2=0,56$ Erlang'lık trafiğini etkilemektedir. D hücresi ise C hücresinin $1\%11,2=0,112$ Erlang'lık trafiğini etkilemektedir. Tabi tersi durumda söz konusudur. Yani A hücresinin B hücresine ve C hücresinin D hücresine olan etkisi gibi. Bu durumda program A ve B hücrelerine ait frekans değerlerini iyileştirmeye çalışacaktır.

Diğer bir durumda iki farklı ve bunlara girişim yapan hücrelere ait girişim değerleri birbirlerinden farklı olsa dahi hesaplamada Erlang değerinin de hesaba katılmasıdır. Girişim değeri büyük olmasına karşın toplam trafik değeri ile çarpıldığında çıkan etkinin küçük olmasından dolayı bu hücrelere ait frekansların birbirlerine olan etkileri dikkate alınmayabilir. Bu durum Şekil 5.17'de gösterilmiştir.



Şekil 5.17. Girişim değerleri farklı durumdaki trafik değerlerinin çözüme etkisi

B hücresinin A hücresinin toplam trafiğine yaptığı girişim değeri= $1\%11,2= 0,112$;
 D hücresinin C hücresinin toplam trafiğine yaptığı girişim değeri= $15\%2= 0,3$;

Öyleyse GA uygunluk bulma işlevini gerçekleştirirken A ve B hücreleri arasındaki girişim değeri oranı daha büyük olmasına karşın önem derecesi düşük olacaktır. C ve D hücreleri arasındaki girişim değeri daha düşük olmasına karşın uygunluk bulma işlevinde bu iki hücrenin durumunun önem derecesi daha büyük olacaktır.

Bu durumda Eş. 5.2 ve Eş. 5.3'nin yeniden düzenlenmesi gerekecektir. Bu eşitliklere bir de hücrelere ait trafik değerlerinin çarpan olarak eklenmesi gerekecektir. Eş. 5.2 ve Eş. 5.3'nin düzenlenmiş durumdaki formülleri Eş. 5.4 ve Eş. 5.5'de verilmiştir.

$$K_1CD = CCIT * CCCD * TD \quad (5.4)$$

$$K_2CD = ACIT * ACCD * TD \quad (5.5)$$

TD= mevcut hücreye ait trafik değeri (Erlang)

Dolayısıyla GA ile çözüme başlanmadan önce hücrelere ait toplam trafik değerlerini içeren bir tablonun sisteme yüklenmesi gerekmektedir. Bunun sonucunda GA'nın üreteceği sonuç değerleri yapılan konuşma trafiğini göz önüne alındığı için toplam sisteme ve gerçek uygulama sahasına daha uygun sonuçlar üretecektir. Bu tür bir yaklaşım GA'nın işlerliğini etkilememekte ancak üretilen sonucun etkinliğini doğrudan olarak arttırmaktadır.

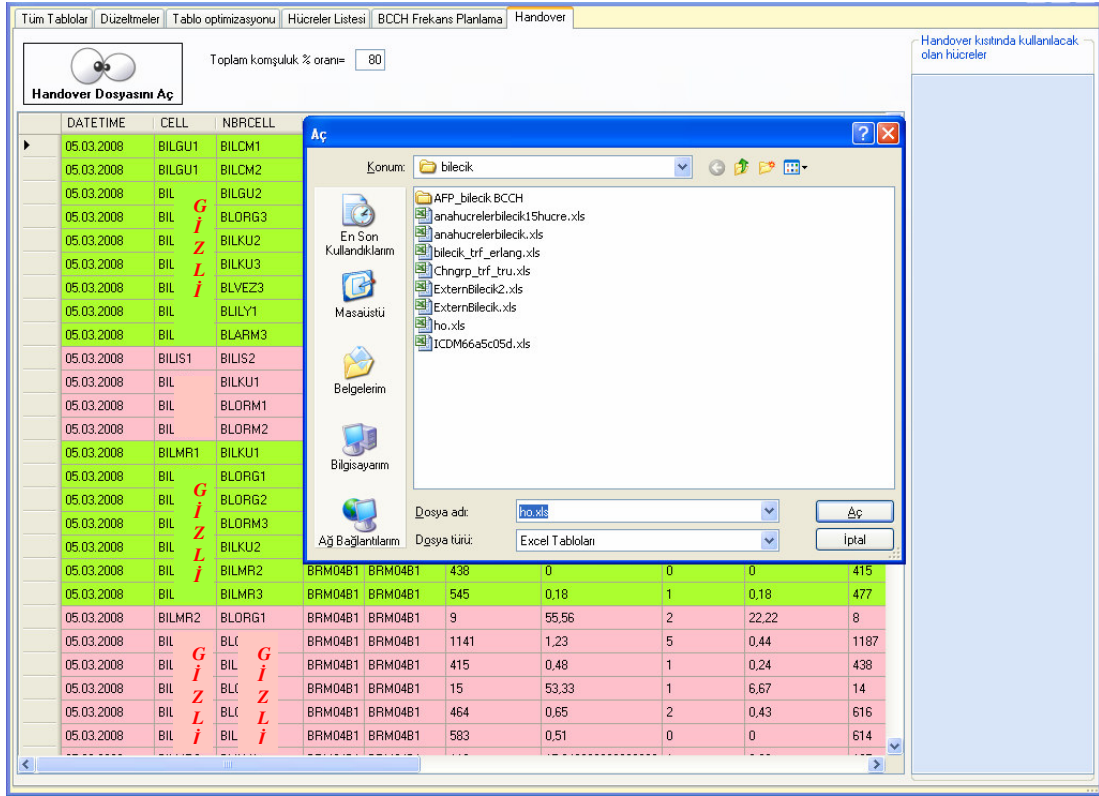
Kısıtlardan bir tanesi de devretme (handover) işlemine dair kısıttır. Devretme işlemiyle ilgili nedenlerden bir tanesi de radyolinkle ilgili olan sebeplerdir. Bu işlemde kullanıcılar tarafından fark edilen kaliteyi yansıtır. Servis kalitesini etkileyen ana değişkenler Alınan Sinyal Gücü, Sinyal/Girişim Oranı ve sistemle ilgili kısıtlamalardır. Yetersiz RSS ve SIR servis kalitesini azaltmaktadır. Bunun üstüne kesin sistem gereksinimleri karşılanmazsa servis kalitesi ileri derecede bozulabilir. Bu durumda yapılacak olan BCCH frekans planlamasında eş kanal ve komşu kanal girişimlerinin azaltılmasıyla birlikte gereksiz yere devretme işleminin de azaltılması gerekmektedir.

Ayrıca devretme işlem adedi minimize edilmelidir. Aşırı sayıdaki devretme olayı işlem yükünün artmasına sebep olurken beraberinde şu sonuçları da doğurmaktadır:

- Devretme işlemi için çok sayıda girişimde bulunulması çağrının kanala erişmesinin engellemesi riskini artırır.
- Daha çok teşebbüs MSC'deki gecikmeyi artırır. Bu da sinyal gücünün azalmasına neden olur. Ayrıca çağrıya yeterli SIR sağlanamazsa çağrı kaybedilir. Devretme işlemi yeni baz istasyonuna çağrıyı bağlamak için ağ kaynaklarını kullanır. Gereksiz devretmeler engellenmelidir ki mevcut baz istasyonu istenen kaliteyi sağlayabilsin.

Bu sebeplerden dolayı bu tez çalışmasında sisteme şebekeden alınmış olan devretme işlemi değerlerini içeren tabloda yüklenebilmektedir. Çözüm yapılırken verilen frekanslara göre mevcut kromozomda eş kanal veya komşu kanal frekans çakışması olması durumunda programa yüklenmiş olan handover dosyasından bu hücrelere ait devretme işlemi bilgisine bakılır. Böylelikle 3. kısıt olarak ceza değeride bu sayede belirlenmiş olur. Programa yüklenmiş olan bu devretme işlemine ait dosyanında hangi hücrenin diğer hangi hücreye toplam kaç tane görüşmenin yönlendirmesinin yapılmak istendiği değerleri bulunur.

Kısıt olarak handover seçeneği seçilirse program bu listenin yüklenmesini isteyecektir. Ayrıca bu listede yer alan her bir hücreye yapılmak istenen devretme işleminin yüzde kaçlık değerine göre listelemenin yapılacağıda belirlenebilmektedir. Handover listesinin programa yüklediği duruma ait görüntü Resim 5.11'de gösterilmiştir.



Resim 5.11. Devretme işlemine ait dosyanın programa yüklenmesi

Bu listede anlatılmak istenen; örneğin A hücresine toplamda 5 tane farklı hücre (S1, S2, S3, S4, S5) devretme isteminde bulunmaktadır. S1= 1252, S2=5, S3=124, S4=691, S5=34. Eğer programda %100 olarak yükle denirse program listeleme işlemini gerçekleştirirken tüm bu 5 hücreyi de listeye almaktadır. Eğer %80 olarak belirlenirse bu durumda 5 hücreye ait devretme istek değerleri toplamının %80'i alınır. Yani $1252+5+124+591+340 = 2312$ değeri elde edilir. Bu değerinde %80'i 1849,6'dır. Bu 5 hücre devretme istek değerlerine göre büyükten küçüğe göre dizildikten sonra (S1, S4, S5, S3, S2) 1849,6 sayısı geçilene kadar sırasıyla hücreler listeye eklenir. Bu sayı geçildikten sonra ise listeye alma işlemi durdurulur. Bu duruma göre A hücresine ait olarak devretme işlemi isteğinde bulunan toplam 5 tane hücreden sadece S1 (1252) ve S4 (591) hücreleri yeni listeye eklenir. Bu aşamadan sonra frekans dağılımları yapılırken A hücresine S1 veya S4 baz istasyonu eş kanal veya komşu kanal frekans çakışması durumunda devretme kısıtı da çözüme eklenecektir.

Resim 5.12’de tüm şebekeye ait devretme işlemi değerleri ekranın sol kısmında gösterilmektedir. Ekranın sağ kısmında ise belirlenen yüzdelik orana göre yeniden oluşturulmuş olan ve listede yer alan hücreler gösterilmektedir.

Handover Dosyasını Aç									
DATE TIME	CELL	NBRCELL	BSC	NBRBSC	OUT_ATT	OUT_FAIL_PC	OUT_DR	OUT_DR_PC	IN_ATT
05.03.2008	BILGU1	BILCM1	BRM04B1	BRM04B1	1243	0,72	1	0,08	1208
05.03.2008	BILGU1	BILCM2	BRM04B1	BRM04B1	4	0	0	0	4
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	G	G	G	G	G
05.03.2008	BIL	BLC	B	B	G	G	G	G	G
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	Z	Z	Z	Z	Z
05.03.2008	BIL	BLV	B	B	L	L	L	L	L
05.03.2008	BIL	BLI	B	B	i	i	i	i	i
05.03.2008	BIL	BLA	B	B					
05.03.2008	BILIS1	BILIS2	BRM04B1	BRM04B1	1030	0,68	2	0,19	1106
05.03.2008	BILIS1	BILKU1	BRM04B1	BRM04B1	1051	2,09	2	0,19	1123
05.03.2008	BIL	BLI							
05.03.2008	BIL	BLI							
05.03.2008	BILMR1	BILKU1	BRM04B1	BRM04B1	10	0	0	0	10
05.03.2008	BILMR1	BLORG1	BRM04B1	BRM04B1	61	0	0	0	136
05.03.2008	BIL	BLI	B	B	G	G	G	G	G
05.03.2008	BIL	BLI	B	B	i	i	i	i	i
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	Z	Z	Z	Z	Z
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	L	L	L	L	L
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	i	i	i	i	i
05.03.2008	BILMR2	BLORG1	BRM04B1	BRM04B1	9	55,56	2	22,22	8
05.03.2008	BILMR2	BLORG2	BRM04B1	BRM04B1	1141	1,23	5	0,44	1187
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	G	G	G	G	G
05.03.2008	BIL	BLC	B	B	i	i	i	i	i
05.03.2008	BIL	BLC	B	B	Z	Z	Z	Z	Z
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	L	L	L	L	L
05.03.2008	BIL	BIL	B	B	i	i	i	i	i

Handover kısıtında kullanılacak olan hücreler

BILGU1 BILCM1 1243
 BILGU1 BLORG3 569
 BIL 051
 BIL 1144
 BIL 789
 BIL 1141
 BIL 674
 BIL 583
 BIL 779
 BIL 614
 BLA 4973
 BLA 2902
 BLC 3 1189
 BLC 3 371
 BLC 283
 BLC 3 2313
 BLC 1187
 BLC 962
 BLC 823
 BLC 567
 BLC 446
 BLC 1445
 BLC 1346
 BLC 1 1317
 BLC 647
 BLC 550
 BLC 406
 BLC 2 254
 BLC 2 189
 BLC 3 2848
 BLC 5700
 BLC 2656
 BLC 2 2237

Resim 5.12. Devretme işlemi dosyası ve yeni listenin oluşturulması

4. kısıt ise bu çalışmada yumuşak kısıt olarak kullanılmıştır. Burada iki hücre arasındaki mesafenin eş kanal girişimi için 0,3 km, komşu kanal girişimi için 0,2 km'nin altında olması durumunda bu hücrelerin girişim yüzde değerinin belirlenen katsayılar doğrultusunda arttırılması işlemi gerçekleştirilir. Bu mesafe değeri genelde ya şehir merkezlerinde yoğun trafiği karşılamak için çok sık aralıklarla yerleştirilmiş olan baz istasyonlarında ya da aynı site içindeki hücrelerde gündeme gelmektedir. Yapılan saha çalışmaları ve deneyimler sonucunda ölçülen eş kanal girişim değerlerine ve komşu kanal girişim değerlerine formül yardımıyla yeni girişim değerleri hesaplanır.

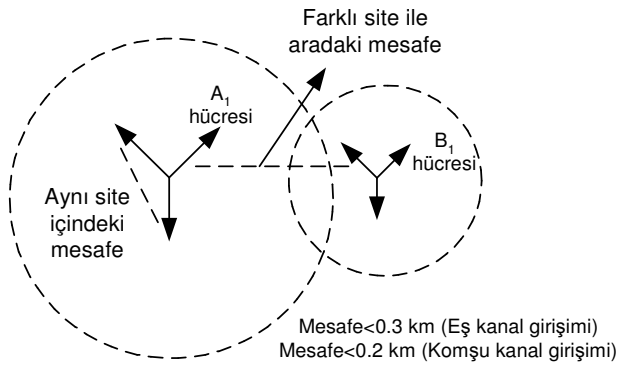
CoChannelInterferedTraffic için Distance sütununda 0,3 km'e eşit ve bu değerden den aşağı uzaklık için yapılan ölçümler şöylesi bir formül ile yeniden hesaplanır. BCCH için;

$$\text{CoChannelInterferedTraffic} = \text{CoChannelInterferedTraffic} + (0,3 - \text{Distance}) * 50$$

AdjCoChannelInterferedTraffic için Distance sütununda 0,2 km'e eşit ve bu değerden aşağı uzaklık için yapılan ölçümler şöylesi bir formül ile yeniden hesaplanır. BCCH için;

$$\text{AdjCoChannelInterferedTraffic} = \text{AdjCoChannelInterferedTraffic} + (0,2 - \text{Distance}) * 30$$

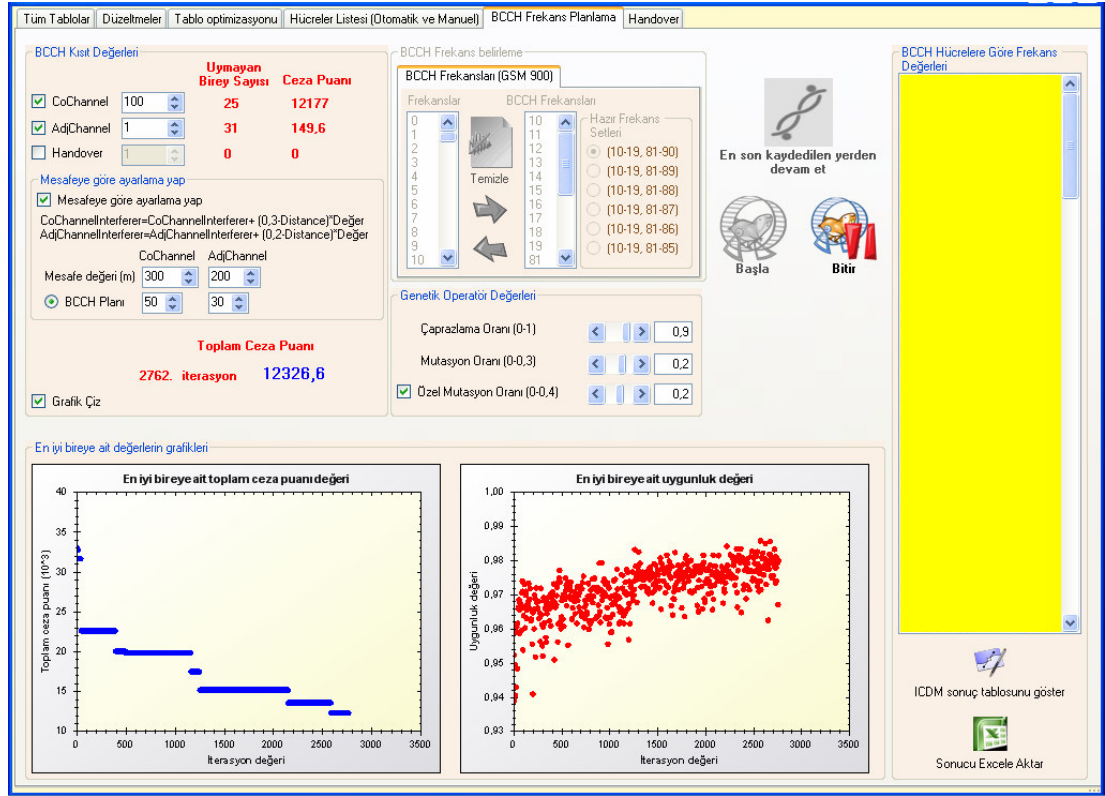
Şekil 5.18'de bu durumun gösterimi yapılmıştır.



Şekil 5.18. Mesafe kısıtının şekil üzerinde gösterimi

Buradaki rakam olarak gösterilmiş olan katsayılar iş sahası deneyimlerinden yola çıkılarak elde edilmiştir. Bu katsayılar ile program çalıştırılırken değişiklikler yapılarak katsayılarda esneklik sağlanmıştır. Böylelikle birbirlerine çok yakın olan hücrelerin birbirlerine yapmış oldukları girişim değerlerinin önem değeri arttırılmış olunur. Bu sayede GA çözüm aşamasında öncelikli olarak girişim değeri yüksek olan hücrelere ait frekans tahsisini eş kanal ve komşu kanal frekans çakışması olmayacak biçimde yapacaktır.

Yukarıda anlatılmış olan kısıtların ceza değerleri GA'a ait genetik operatörlerin uygulanma yüzdeliği ve frekans listesi belirlendikten sonra GA'nın çalıştırılması sağlanır. Çözüm gerçekleştirilirken mevcut iterasyondaki en iyi bireye ait toplam ceza değeri ve uygunluk değerinin gösterimi grafik üzerinde gösterilebilir. Eğer grafik gösterimi istemezse grafik çizim işlemi yapılmadan da program çalıştırılabilir. Resim 5.13'den de görüleceği gibi GA ilerleyen nesillerde en iyi bireyi bulurken bu bireye ait ceza değerinin sıfıra (0) doğru yaklaştığı ve uygunluk değerinin de bire (1) yaklaştığı görülmektedir.



Resim 5.13. En iyi bireye ait toplam ceza ve uygunluk değerinin grafikte gösterimi

GA'nın çözümü istenilen ceza değerine ulaştığında (burada gerçekte istenen ceza değerinin sıfır olması, uygunluk değerinin de 1 olmasıdır. Ancak bu tür kısıtlı en iyileme problemlerine çözümün mutlak doğruyu yani sıfır ceza değerini yakalaması uygulama sahasının genişliğinin artması durumunda zor bir durumdur) veya istenilen anda kabul edilebilir bir ceza değerinde de program kullanıcı tarafından sonlandırılabilir. Program sonlandırıldıktan sonra Resim 5.14'de gösterildiği gibi

ekranın sağ kenarındaki listede frekansı bulunmuş olan ana hücreler ve bunlara ait frekans değerleri gösterilir. Ayrıca yine bu listede harici olarak programa yüklenmiş olan hücreler ve frekansları da gösterilmektedir.

Resim 5.14. GA'nın çalıştırılması durdurulduktan sonraki hücrelere ait frekanslar listesinin gösterilmesi

Bu aşamadan sonra çözümün doğruluğunun kontrolü veya genel tablo üzerindeki dağılım değerlerinin kontrolü yapılabilmektedir. Bunun için "ICDM sonuç tablosunu göster" düğmesine basılarak hücrelere atanmış olan frekanslar ICDM tablosuna yansıtılarak çakışmaların olduğu hücrelerin gösterimi yapılmaktadır. Eş kanal frekans çakışması olması durumunda o satır kırmızı renkle, komşu kanal frekans çakışması olması durumunda pembe renkte kullanıcıya gösterilmektedir. Frekanslarla birlikte ICDM tablosunun yeniden düzenlenmiş hali Resim 5.15'de gösterilmiştir.

Tüm Tablolar | Düzeltmeler | Tablo optimizasyonu | Hücreler Listesi (Otomatik ve Manuel) | BCCH Frekans Planlama | Handover

BCCH Kısıt Değerleri | BCCH Frekans belileme | BCCH Frekansları (GSM 900) | BCCH Hücrelere Göre Frekans Değerleri

Uymayan Birev Sayısı: Ceza Puanı

ICDM tablosunun sonuç frekanslarıyla birlikte gösterimi

CoChannel Frekans Girişimi (Aynı frekans değeri olmayacak) 24 | AdjChannel Frekans Girişimi (Frekans değerinin 1 altı veya 1 eksiği frekans değeri olmayacak) 18

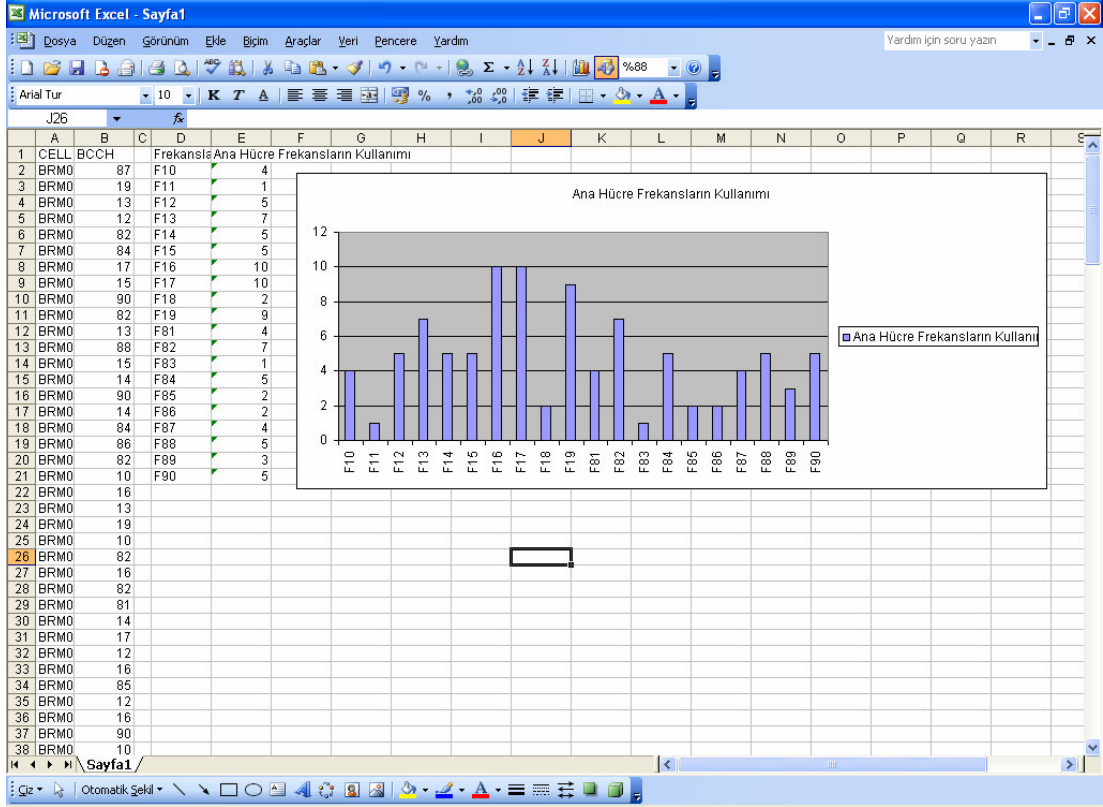
Cell_No	Cell	Interferer	CoChannelInterfere	AdjChannelInterfere	NoSamples	OtherBandFactor	CellType
3090	BRM04B1/DODUR1	16 BRM04B1/CMYAY2	15 1.51	0	1189336		normal
3164	BRM04B1/DODUR1	16 SOM06B2/NEMLI2	11 20.06	2.78	1189336		normal
3165	BRM04	16 SOM	19		1189336		normal
3202	BRM04	16 BRM	: 82		1189336		normal
3203	BRM04	16 BRM	: 81		1189336		normal
3206	BRM04	16 SOM	19		1189336		normal
3235	BRM04	82 SOM	16		281699		normal
3331	BRM04	82 BRM	16		281699		normal
3332	BRM04	82 BRM	: 81		281699		normal
3431	BRM04	81 BRM	: 82		557213		normal
3459	BRM04	14 BRM	16		328508		normal
3460	BRM04	14 BRM	37		328508		normal
3501	BRM04	14 BRM	82		328508		normal
3503	BRM04	14 BRM	84		311611		normal
3509	BRM04	14 BRM	87		328508		normal
3511	BRM04	14 BRM	17		328508		normal
3522	BRM04	14 BRM	19		328508		normal
3524	BRM04	14 BRM	82		328508		normal
3530	BRM04	14 BRM	90		325655		normal
3548	BRM04	14 BRM	19		328508		normal
3550	BRM04	14 BRM	13		328508		normal

ICDM sonuç tablosunu göster

Sonucu Excele Aktar

Resim 5.15. Sonuç frekansların ICM tablosunda gösterimi

Sonuçta elde edilen frekanslar hücre isimleriyle birlikte excel dosyasına aktarılarak bilgisayarda istenilen herhangi bir yere kaydedilebilir. Böylelikle istenildiği anda bu dosya açılarak gerekli kontroller yeniden yapılabilir. Ayrıca programdaki iyileştirme yeterli görülmediyse programın en son kalınan yerden devam etmesi için bu excel dosyası sisteme yüklenebilir. Resim 5.16'da excel dosyasına ait görüntü verilmiştir. Burada ana hücrelere ait ataması yapılan frekansların kullanım sayıları ve bu değerlere ait grafik çizimi gerçekleştirilen program tarafından otomatik olarak yapılmaktadır.



Resim 5.16. Sonuç frekansların hücre isimleriyle birlikte excel dosyasına aktarılması

5.4. Bilecik İlinin BCCH Frekans Planlamasının Sonuçları

Uygulama Turkcell Bursa Bölge Santralinde gerçekleştirilmiştir. Yazılan bu program çift çekirdekli (Core 2 Duo), işlemci hızı 2.2 GHz ve 2 GB Ram belleğe sahip bilgisayarda çalıştırılmıştır.

İlk önce Bilecik'in merkezine ait 13 tane baz istasyonunun BCCH'e ait frekans planlaması harici hücreler dahil edilmeden bulunmuştur. Çünkü merkeze ait bu 13 tane hücrenin frekans değerlerinin bulunması öncelikli değere sahiptir. Bu 13 hücreye 10-19, 81-85 arasındaki toplam 15 tane frekanstan atamalarının yapılması istenmiştir. Bu şartlar altında Resim 5.17'de görüldüğü gibi GA' tüm kısıtları sıfıra indirerek frekans atamalarını gerçekleştirmiştir.

Tüm Tablolar Düzeltmeler Tablo optimizasyonu Hücreler Listesi (Otomatik ve Manuel) BCCH Frekans Planlama Handover

BCCH Kısıt Değerleri

	Uymayan Birey Sayısı	Ceza Puanı
<input checked="" type="checkbox"/> CoChannel	20000	0
<input checked="" type="checkbox"/> AdjChannel	200	0
<input type="checkbox"/> Handover	1	0

Mesafeye göre ayarlama yap

Mesafeye göre ayarlama yap

CoChannelInterferer=CoChannelInterferer+ (0,3-Distance)*Değer
AdjChannelInterferer=AdjChannelInterferer+ (0,2-Distance)*Değer

Mesafe değeri (m)	CoChannel	AdjChannel
300	200	30

BCCH Planı 50 30

Toplam Ceza Puanı

10. iterasyon 0

Grafik Çiz

BCCH Frekans belirlenme

BCCH Frekansları (GSM 900)

Frekanslar	BCCH Frekansları	Hazır Frekans Setleri
0	10	(10-19, 81-90)
1	11	(10-19, 81-89)
2	12	(10-19, 81-88)
3	13	(10-19, 81-87)
4	14	(10-19, 81-86)
5	15	(10-19, 81-85)
6	16	
7	17	
8	18	
9	19	
10	81	

Genetik Operatör Değerleri

Çaprazlama Oranı (0-1) 0,9

Mutasyon Oranı (0-0,3) 0,2

Özel Mutasyon Oranı (0-0,4) 0,2

BCCH Hücrelere Göre Frekans Değerleri

BRM04B1/BILGU1	16
BRM04B1/BILIS1	85
BRM0	84
BRM0	82
BRM0	17
BRM0	85
BRM0	19
BRM0	18
BRM0	15
BRM0	11
BRM0	83
BRM0	81

En son kaydedilen yerden devam et

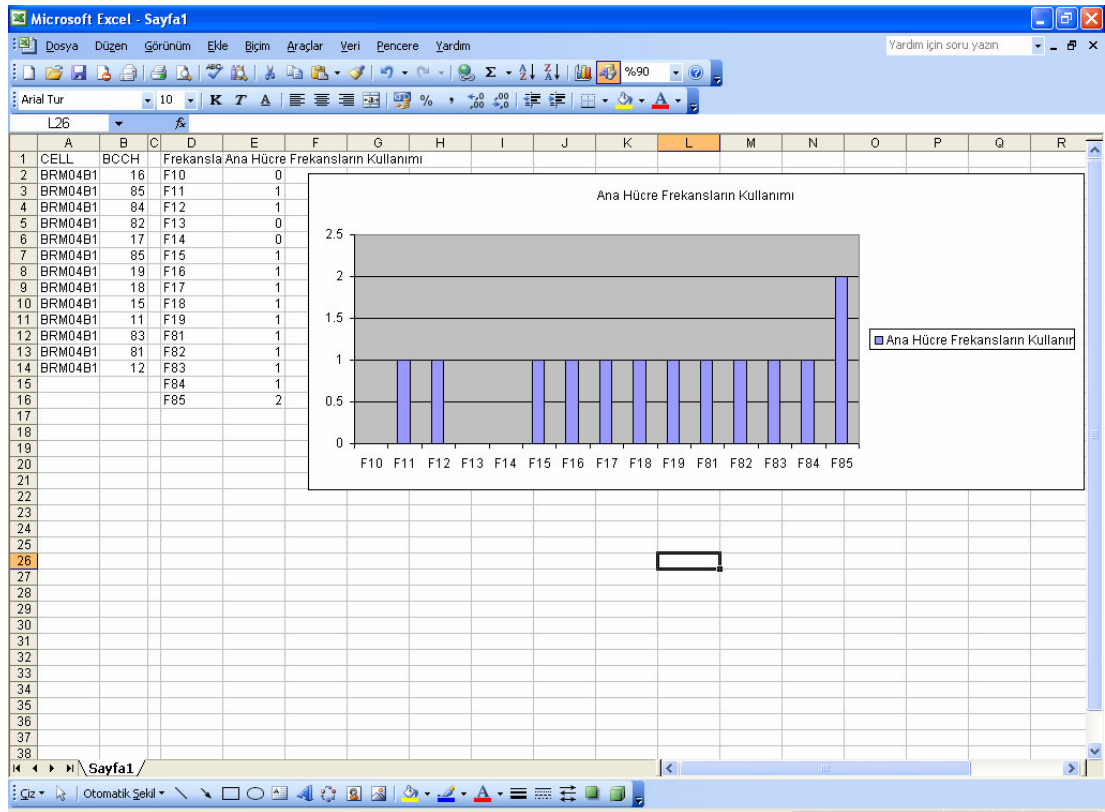
Başla Bitir

ICDM sonuç tablosunu göster

Sonucu Excele Aktar

Resim 5.17. Bilecik merkeze ait 13 tane baz istasyonun frekanslarının bulunması

Resim 5.18'de görüldüğü gibi bulunan frekansların dağılım oranları ve bunlara ait grafik gösterimi otomatik olarak excel dosyasında gösterilmiştir.



Resim 5.18. Bilecik merkeze ait 13 tane baz istasyonun frekanslarının excelde gösterimi

Bilecik merkeze ait 13 tane baz istasyonun BCCH frekanslarının bulunmasından sonra Bilecik iline ait geriye kalan 83 tane ana hücreye frekans planlamasının yapılmasına geçilmiştir. Burada 83 hücreye frekans bulunurken 111 tane harici olarak frekansları bilinen ve bu frekansların değişmeyeceği hücre bulunmaktadır. 83 tane hücreye 10-19,81-89 numaralı toplam 19 tane frekans kanalının dağıtımı yapılmıştır.

Bu dağıtım aşamasında program eş kanal ve komşu kanal kesin kısıtları ve mesafe yumuşak kısıtları altında devretme işlemi kısıtının dahil edildiği ve edilmediği durumlara göre çalıştırılmıştır. Her iki türlü çalışma toplam 46 saat boyunca çalıştırılmış ve aşağıda gösterilen resimlerde de görüleceği gibi iterasyon sayıları, kısıt değer ve ceza puanları elde edilmiştir.

Resim 5.19 ve Resim 5.20 eş kanal ve komşu kanal kesin kısıtları ve mesafe yumuşak kısıtları altında handover kısıtının dâhil edildiği ve handover yüzde değerinin %100 olarak değerlendirildiği çalışmaya ait görüntülerdir.

Resim 5.19. Bilecik iline ait handover kısıtının dahil edildiği toplam baz istasyonlarının frekans atama sonuçları

Bu işlem sonucunda program 1 167 087. iterasyona kadar çalıştırılmış ve
Eş kanal frekans çakışma sayısı = 10; Eş kanal frekans ceza değeri = 2340,342
Komşu kanal frekans çakışma sayısı=22; Komşu kanal frekans ceza değeri=819,829
Devretme işlemi çakışma sayısı = 17; Devretme işlemi ceza değeri = 69,37
Toplam ceza değeri = 3229,541 değerinde program durdurulmuştur.

Program ilk çalıştırıldığı anda

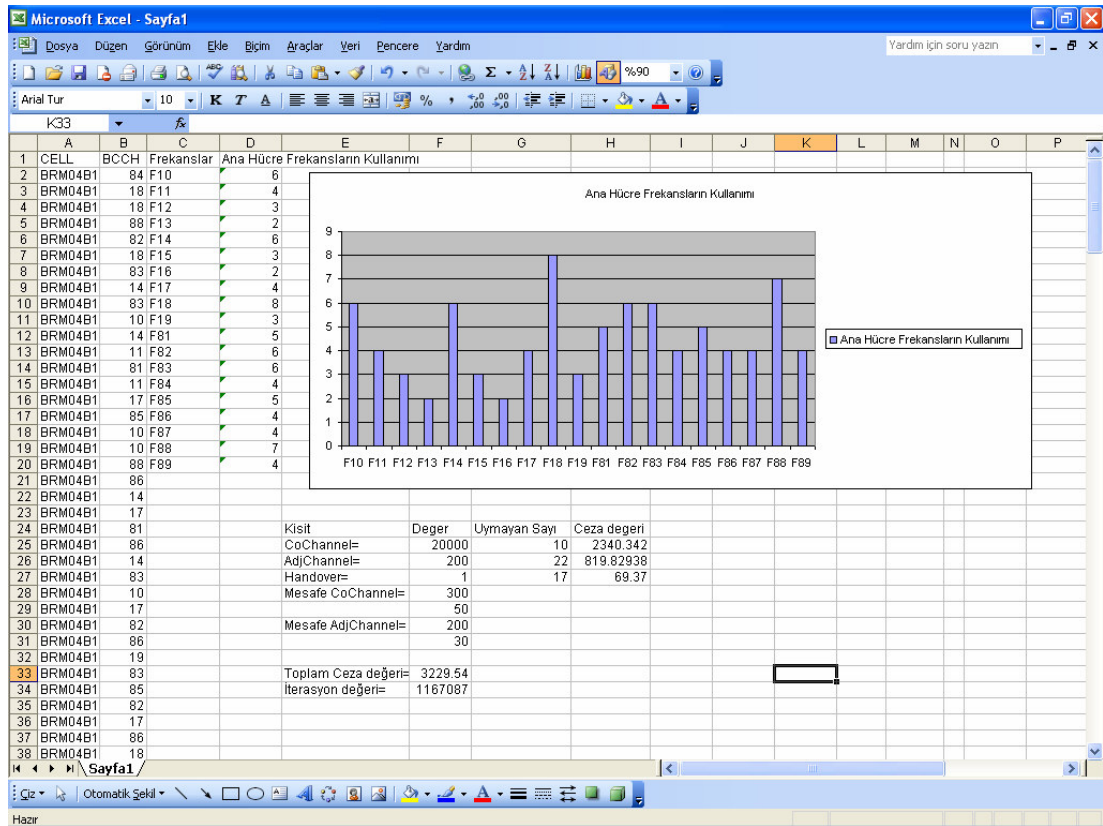
Eş kanal frekans çakışma sayısı = 47; Eş kanal frekans ceza değeri = 366 918,462

Komşu kanal frekans çakışma sayısı=27; Komşu kanal frekans ceza değeri = 1032,79

Devretme işlemi çakışma sayısı = 55; Devretme işlemi ceza değeri = 192,82

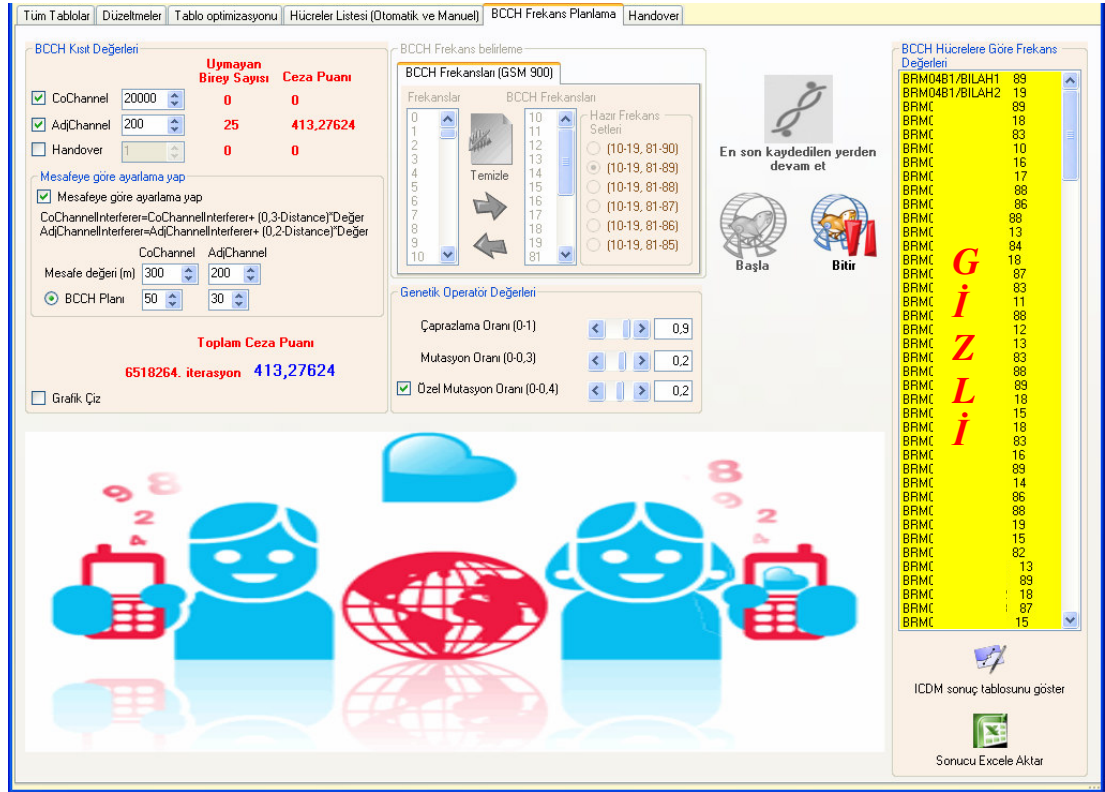
Toplam ceza değeri = 368 144,072 değerinde başlamıştır.

Resim 5.20'de bu uygulamaya ait hücre ve bunlara ait frekansların excel dosyasına aktarılarak otomatik olarak frekans kullanım grafiğinin gösterimi yapılmıştır.



Resim 5.20. Frekansların hücelere göre dağılımının excel sayfasında gösterimi

Resim 5.21 ve Resim 5.22 eş kanal ve komşu kanal kesin kısıtları ve mesafe yumuşak kısıtları altında devretme işlemi kısıtının dâhil edilmediği durumdaki çalışmaya ait görüntülerdir.



Resim 5.21. Bilecik iline ait handover kısıtının dahil edilmediği toplam baz istasyonlarının frekans atama sonuçları

Bu işlem sonucunda program 6 518 264. iterasyona kadar çalıştırılmış ve

Eş kanal frekans çakışma sayısı = 0; Eş kanal frekans ceza değeri = 0

Komşu kanal frekans çakışma sayısı=25; Komşu kanal frekans ceza değeri = 413,276

Toplam ceza değeri = 413,276 değerinde program durdurulmuştur.

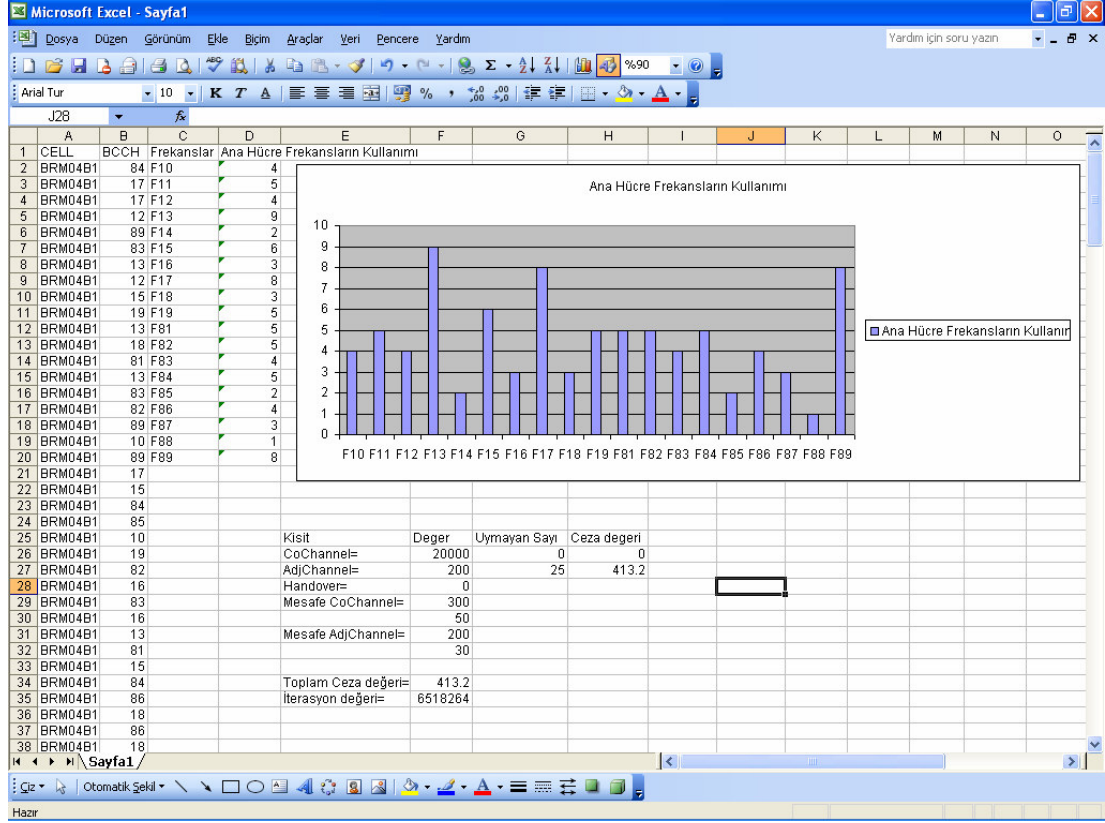
Program ilk çalıştırıldığı anda;

Eş kanal frekans çakışma sayısı = 33; Eş kanal frekans ceza değeri = 376 823,826

Komşu kanal frekans çakışma sayısı= 23; Komşu kanal frekans ceza değeri 1215,718

Toplam ceza değeri 378 039,544 değerinde başlamıştır.

Resim 5.22’de bu uygulamaya ait hücre ve bunlara ait frekansların excel dosyasına aktarılarak otomatik olarak frekans kullanım grafiğinin gösterimi yapılmıştır.



Resim 5.22. Frekansların hücelere göre dağılımının excel sayfasında gösterimi

Şebekeye ait güncelleştirilmiş verilerle birlikte Bilecik ilinin BCCH frekans planlaması Bursa Bölge Santralinde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmanın sonucunda elde edilen BCCH frekans değerleri Turkcell’deki frekans planlama uzmanlarının onayından geçtikten sonra Bilecik ilindeki baz istasyonlarına uygulanmıştır. 2 haftalık istatistiksel verilerin değerlendirilmesi sonucunda CSSR (Call Setup Success Rate, çağrı kurma başarısı) değerinde %9,16 oranında iyileşme gerçekleşmiştir. CSSR’in değerlendirilmesinde RACH FAIL (Random Access CH, atama hata yüzdesi), SDCCH ACC FAIL (SDCCH sinyalleşme kanalı atama hata yüzdesi) ve SDCCH DROP (SDCCH kanaldan düşme yüzdesi) değerleride hesaba katılmıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde GSM 900 MHz bandında 25 MHz verme yönünde ve 25 MHz alma yönünde olmak üzere 125 adet 200 KHz'lik taşıyıcı frekansa ayrılmıştır. Toplam 125 frekans kanalının 124 tanesi etkin olarak kullanılmaktadır. Bunlardan 10-19 ve 81-120 aralığındaki frekanslar Turkcell'in kullanımına ayrılmıştır. Turkcell'de bu frekansları hem BCCH hemde TCH kullanılmaktadır. Tabii ki bu frekans band aralıkları frekans planlaması yapılan ilin büyüklüğüne (kullanılan baz istasyonu sayısı) göre değişmektedir. 50 adet frekans ile Türkiye gibi bir ülkenin bütün her yerine yüzde yüz kalitede hizmet verilmesi ise zor bir işlemdir. Bu duruma çözüm sağlamak için operatörler frekans kullanımı ve hangi sıklıkla kullanacaklarına karar vermek için çeşitli hesaplamalar ve yapılar kullanılmaktadır.

Bu doktora çalışmasında Turkcell'e ait GSM şebekesi kullanılmış ve gerekli teknik bilgi ve alt yapı Turkcell'den sağlanmıştır. Bu çalışmada Turkcell'e ait baz istasyonlarının Bilecik ili için BCCH frekans planlaması veri füzyonu işlemi ile birlikte yapay zeka tekniklerinden biri olan genetik algoritma kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu tez çalışmasında elde edilen frekans değerleri Bilecik ilinde Turkcell'e ait baz istasyonlarına uygulanmıştır.

Veri füzyonun uygulandığı GSM teknolojisi çok karmaşık bir yapıya sahiptir. Doğal olarak bu tür bir teknolojinin kurulması, işletmeye alınması, yönetilmesi ve optimize edilmesi büyük bir iştir. GSM şebekesi çok büyük olduğundan her bir hücrede kaç tane frekans kullanılabilir ve bu frekanslar hangi sıklıkla kullanılmalıdır sorusu cevaplandırılmalıdır. Bu sorudan yola çıkarak eş kanal ve komşu kanal girişimi de göz önüne alınarak kullanılacak frekans tekrar kullanım desenine karar verilmelidir. Bu işlem aynı zamanda uzun vadede kapasitenin gelişimini tahmin etmek için ve sistem kalitesi içinde de zorlayıcı bir faktördür. Bu sebeple frekans planlamada şebekenin büyüme şekline göre daha sonra değiştirilebilecek bir planlamanın yapılması gerekmektedir. Her ne kadar şebekenin kuruluşu aşamasında bir hücre deseni oluşturulmaya çalışılsa da uygulama sahasında değişik alanların bir arada olabileceği gibi aynı istasyonda farklı yönlere bakan hücrelerin yüksekliklerinde

farklı olabilmesi mümkündür. Böylelikle şebekenin hem tek düze bir yapıda olmadığı hem de büyümenin bölgelere bağlı olarak lineer olmadığı görülmüştür.

Uygulaması gerçekleştirilen Bilecik ilinin yüzölçümü 4307 km^2 ve nüfusuda 2008 yılı verilerine göre 203 777 kişidir. Bu ile ait 96 tane frekansı bulunacak olan hücre ve diğer komşu illere ait olan ve Bilecik ilindeki hücrelere girişim yapan frekansı sabit ve bilinen harici 98 tane hücre mevcuttur. Bilecik iline ait olarak 10-19, 81-89 aralığındaki toplam 19 tane frekans bandı 96 tane ana hücreye BCCH frekansı olarak harici hücrelerin frekans değerleri sabit kalacak şekilde dağıtılmıştır. Bu tür bir işlem kısıtlı optimizasyon problemine girmektedir. Böylesi tür problemlerin çözümünde mutlak sonuçtan ziyade en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmaktadır.

Frekans planlama problemi NP problemi olarak nitelendirilmelidir. NP problemler için ise kısa sürede gerçek çözümü bulan yöntemler mevcut değildir. Bu tezde ortaya konan problemin çözümünde GA kullanılmıştır. GA, sezgisel bir metot olduğundan dolayı verilen bir problem için kesin sonuçtan ziyade bilinen metotlarla çözülemeyen ya da çözüm zamanı problemin büyüklüğü ile üstel olarak artan problemlerde kesin sonuca çok yakın çözümler vermektedir. GA ile çözüm gerçekleştirilirken kısıtlara ait ceza değerlerinin belirlenmesi aşamasında baz istasyonu şebekesini ve sistem yapısının çok iyi bilinmesi gerekmektedir. Hangi keskin kısıtların veya yumuşak kısıtların hangi ceza değerleri ile programın çalıştırılacağı uzman kişi tarafından belirlenmelidir. Ayrıca bu çalışma esnasında klasik genetik operatörlerinin dışında bu uygulamaya yönelik özel değişim operatörünün uygulanması gerektiği görülmüştür. GA yapısında yer alan klasik genetik operatörlerinin dışında değişik problem tiplerine özgü olarak çeşitli yeni operatörlerinin de geliştirilmiş olması çözümde olumlu yönde etki ettiği görülmüştür.

Bu bağlamda yapılan çalışmada GA kullanılarak GSM sisteminde frekans planlama gerçekleştirilmiştir. Veri füzyonu dünya modellerinde gerçek dünya modeli alanına giren bu problemde aşağıdaki maddelerde yer alan unsurların tez çalışması süresince gerçekleştirilmesi ile sağlanmıştır.

- Belirlenmiş olan uygulama için hangi tür algoritmaların ve tekniklerin uygun ve en iyi yöntem olduğunun,
- Ne tür veri füzyon mimarisinin kullanılacağıının,
- Her bir bağımsız algılayıcıdan gelen verilerden maksimum oranda istenen verileri almak için hangi işlemlerin gerçekleştirileceğinin,
- Veri füzyon işlemiyle hangi hassasiyetle gerçeğe uygun verilere ulaşılabiliceğinin,
- Dinamik yapıda füzyon işlemi nasıl en iyilenebileceğinin,
- Verinin elde edildiği ortam toplam çalışmayı nasıl etkilediğinin,
- Çok algılayıcılı veri füzyon hangi şartlar altında sistemi düzeltir, gibi sorularının cevabı ve kararı verilmiştir.

KAYNAKLAR

1. Brooks, R.R. And Iyengar, S. S., “Multi-sensor fusion: Fundamentals and applications with software”, **Prentice Hall Inc.**, Upper Saadle River, New Jersey, 25-77 (1998).
2. Wald, L., “Some terms of reference in data fusion”, **IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing**, 37:1190-1193 (1999).
3. Manyika, J. And Durrant-Whyte, H., “ Data fusion and sensor management: a decentralized information- theoretic approach”, **Ellis Horwood**, 43-56 (1994).
4. Hall, L., D. And Llinas, J., “An introduction to multisensor data fusion”, **Proceedings of the IEEE**, 85(1):1 6-23 (1997).
5. Luo, R. C. And Kay, M. G., “Multisensor integration and fusion for intelligent machines and systems”, **Ablex publishing corporation**, Norwood, New Jersey, 56-121 (1995).
6. Goodman, I. R., Mahler, R. P. S. And Nguyen, H. T., “Mathematics of data fusion”, **Kluwer Academic Publisher**, Dordrecht, Boston, 33-97 (1997).
7. Llinas, J., And Waltz, E., “Multisensor data fusion”, Boston, **MA: Artech House**, 67-107 (1999).
8. Durrant-Whyte, H. F., “Integration, coordination and control of multisensor robot system”, **Kluwer Academic pres**, Boston, MA., 25-91 (1987).
9. Hager, G., “Task directed sensor fusion and plannig”, **Kluwer Academic pres**, Boston, MA., 22-65 (1990).
10. Klein, L.,A., “Sensor and data fusion concepts and application”, second edition, **SPIE Press**, Washington, TT35 (1999).
11. Weisstein, W., E., “Eric Weissten’s world of science”, <http://scienceworld.wolfram.com/physic/> (2003).
12. Hall, D., “Mathematical techniques in multisensor data fusion”, **MA: Artech House**, 34-88 (1992,2004).
13. Richardson, J. M. And Marsh, K. A., “Fusion of multi-sensor data”, **Int. J. Robotics Research**, 7: 78-96 (1988).
14. McKendall, R. And Mintz, M., “Data fusion techniques using robust statistics”, in Abidi, M. A. and Gonzales, R. C., **Data fusion in robotics and machine intelligence**, Academic pres, 211-244 (1992).

15. Abidi, M., "Sensor fusion: a new approach and its application", *In proceedings of the SPIE: Sensor fusion II human and machine strategies*, 235-246 (1989).
16. Dasarathy, B.V., "Sensor fusion potential exploitation- Innovative architectures and illustrative applications", *Proceedings of the IEEE*, 85(1): 24-38 (1997).
17. Waltz, E., "Data fusion for C³I: A tutorial" *in Command, Control, Communications Intelligence (C3I) Handbook*, Palo Alto, CA:EW Communications, 33-125 (1986).
18. Klein, L.A., "Sensor and data fusion concepts and applications", *SPIE Opt. Engineering Pres*, Tutorial Text, 14: 132 (1993).
19. Petrakos, M., And Benediktsson, J. A., "The effect of classifier agreement on the accuracy of the combined classifier in decision level fusion", *Geoscience and remote sensing, IEEE transaction on*, 39: 2539-2546 (2001).
20. Lockwood, S., Brown, A., And Hua Lee, "Backward propagation image reconstruction techniques for bistatic synthetic aperture radar imaging systems with circular aperture configurations", *Signals, systems and computers, conference record of the thirty-fifth asilomar conference on*, 1:110-115 (2001).
21. Hall, D. L. And Llinas, J., "A challenge for the data fusion community I: Research imperatives for improved processing", *Proc. 7th Natl. Symp. On sensor fusion*, Albuquerque, NM, (1994).
22. Llinas, J. And Hall, D. L., "A challenge for the data fusion community II: Infrastructure imperatives", *Proc. 7th Natl. Symp. On sensor fusion*, Albuquerque, NM, (1994).
23. J. Gelfaud, "Selective guide to literature on artificial intelligence and expert systems", Number:12, *Amer. Soc. for engineering education*, (1992).
24. Hall, D.L., Linn, R.J. and Llinas, J., "A survey of data fusion systems", *in Proc. SPIE Conf. on data structure and target classification*, 1470: 13-16 (1991).
25. Abidi, M.A. And Gonzalez, R.C., "Fusion of multi-dimensional data using regularization", *Academic pres, Boston*, MA, 415-455 (1992).
26. *Proc. 7th Natl. Symp. on sensor fusion*, ERIM, Ann Arbor , (1994)
27. Hall, D.L. And Linn, R.J., "Survey of commercial software for multisensor data fusion", *in Proc. SPIE Conf. Sensor fusion and aerospace applications*, 13-36 (1991).

28. Kessler et al., "Functional description of the data fusion process", *Tech Rep., Office of naval technol., Naval air development Ctr.*, Warminster, (1992).
29. Varshney, P. K., "Multisensor data fusion", *Electronics&Communication engineering journal*, 245-253 (1997).
30. Shared H. Grade, "Building an enterprice and information model, database programming and design", *Premier Issue*, 48-58 (1987).
31. Russell, R. A., "Robot tactile sensing", *Prentice Hall*, Englewood Cliffs, NJ, 45-71 (1990).
32. Shafer, G., "A mathematical theory of evidence", *Priceton, NJ: Priceton Univ. Press*, 24-79 (1976).
33. Jackson, P., "Introduction to expert systems", Reading, *MA: Addison- Wesley 3rd Edition*, 1-96 (1999).
34. Olhoeft, G. R., "Ground Penetration Radar", *www.g-p-r.com*, (2003).
35. Priebe, C. And Marchette, D., "An adaptive hall-to-emitter correlator", *in Proc. 1988 Tri-Service data fusion conf.* DFS-88, John Hopkings Univ., 433-436 (1988).
36. Tolstoy, L. "Multisensor fusion algorithms for object detection, using subsurface data", *Master of Science in Computer Engineering University of Puerto Rico*, 58-75 (2003).
37. Hand, D., Mannila, H. and Smyth, P., "Principle of data mining", *MIT Pres.*, Cambridge, MA, USA, 34-128 (2001).
38. ORACLE, "Building a network-centric warfare architecture", *Oracle White Paper*, <http://www.oracle.com>, 7-17 (2004)
39. ELMAS, Ç., "Yapay Zeka Uygulamaları", *Seçkin Kitapevi*, 24-76, 380-400 (2007).
40. Priebe, C. And Marchette, D., "An adaptive hall-to-emitter correlator", *in Proc. 1988 Tri-Service data fusion conf.* DFS-88, John Hopkings Univ., 433-436 (1988).
41. Salkever, A. "The network is the battlefield", *Special report: Military Technology, BusinessWeek Online*, <http://www.businessweek.com>, (2003).
42. Ericsson Radio System AB, "GSM System Survey", *EN/LZT 123 3321 R2A*, <http://learning.ericsson.net>, (1998).

43. Decision and information sciences division, "Wireless technology evaluation: Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)", <http://www.dis.anl.gov>.
44. TÜBİTAK, Bilgi Teknolojileri ve Elektronik Araştırma Enstitüsü (BİLTEN), "Elektromanyetik dalgalar ve insan sağlığı sıkça sorulan sorular ve yanıtları", *TÜBİTAK matbaası*, Ankara, 1-24 (2001).
45. Lee, W.C.Y., "Mobile Cellular Telecommunication Systems", *McGraw-Hill*, 100-149 (1989).
46. Bayrakçı, H.E., "Uydu ve hücreli mobil haberleşme sistemleri", *Birsen Yayınevi*, İstanbul, 24-145 (2002).
47. Pollini, G. P., "Treds in handover design.", *In IEEE Communications Magazine*, 82-90 (1996).
48. Shapira, J., "Microcell engineering in CDMA cellular Networks" *in IEEE Trans. On Veh. Tech.*, 43(4): 817-825 (1994).
49. Ransom, A.J., "Handoff considerations in microcellular systems planning", in *Proc. PIMRC*, 804-808 (1995).
50. Kanalebe, H.Y., "Capacity analysis of base station diversity", Doktora tezi, *University of South Australia, Electrical and Information Engineering*, South Australia, 23-67 (1999).
51. Rysavy, P., "GSM to UMTS voice capacity", <http://www.3gamericas.org/PDFs/Webcast/PeterRysavy.pdf>, 1-11 (2004).
52. Pollini, G. P., "Treds in handover design.", *In IEEE Communications Magazine*, 82-90 (1996).
53. Hata, M., "Empirical Formula for propagation loss in land mobile radio services", *IEEE, Trans. Vehic. Technol*, VT-29(3): 317-325 (1980).
54. Markopoulus, A. Pissaris, P., Kyriazakos, S., "Optimized handover procedure based on mobile location in cellular systems", *the 14th International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC '03)*, 3: 2490-2494 (2003).
55. Holtzman, J.M. and Sampath, A., "Adaptive averaging methodology for handoffs in cellular systems", *in IEEE Trans. on Veh. Tech.*, 44: 59-66 (1995).
56. Tripathi, N.D., Reed, J. and VanLandingham, H.F., "Adaptive handoff algorithms for cellular overlay system using fuzzy logic", *IEEE Vehicular Technology Conference*, 1413-1418 (1999).

57. Tripathi, N.D., Reed, J. and VanLandingham, H.F., "An adaptive direction biased fuzzy handoff algorithm with unified handoff candidate selection criterion", *VTC '98-IEEE Vehicular Technology Conference*, Canada, 1: 127-131 (1998).
58. Aghvami, H., "Mobile and personal communication systems", *King's College London Department of Electronic and Electrical Engineering*, London, 3-16 (2002).
59. Cavdar, İ.H. and Akcay, O., "The optimization of cell sizes and base station power lever in cell planning", *press in IEEE VTCH'01*, 2344-2348 (2001).
60. Rappaprot, T.S., "Wireless communications", *Englewood Cliffs*, NJ, Prentice – Hall, 47-78 (1996).
61. Yamamoto, R., Matsutani, H., Matsuki, H., Oono, T. and Ohtsuka, H., "Position location technologies using signal strengths in cellular system.", *Proc. of the 53rd IEEE Vehicular Technology Conference*, 4: 2570-2574 (2001).
62. Takenga, C. and Kyamakya, K., "Location fingerprint in GSM network and impact of data pre-processing.", *presented at WMC06*, Munich, 91-96 (2006).
63. Laitinen, H., Lahteenmaki, T. and Nordstrom, T., "Database correlation method for GSM location.", *Presented IEEE VTC'01*, 4: 2504-2508 (2001).
64. Khalaf-Allah, M., Kymakya, K., "Database correlation using bayes filter for mobile terminal localization in GSM suburban environments.", *proceedings of the 63rd IEEE vehicular technology conference*, Australia,2: 798-802 (2006).
65. Takenga, C. and Xi, C., "A hybrid neural network data base correlation positioning in GSM network", *IEEE 10th conference on communication systems*, 1-5 (2006).
66. FCC amended report to congress on the deployment of E-911 phase II services by tier III service providers. <http://www.fcc.gov/911/enhanced/> (2005).
67. Spirito, M.A., "On the accuracy of cellular mobile station location estimation.", *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, 50(3): 674-684 (2001).
68. Zhang, M., Knedlik, S., Uboldkosold, P. and Loffeld, O., "A data fusion approach for improved positioning in GSM networks", *IEEE ION/PLANS*, 218-223 (2006).
69. McGuire, M., Plataniotis, K.N. and Venetsanopoulus, A.N., "Data fusion of power and time measurements for mobile terminal location", *IEEE CS, CASS, ComSoc, IES&SPS*, 4(2): 142-153 (2005).

70. Poston, G.P. and Krotkov, E.P., "Dead reckoning navigation for walking robots", *IEEE/RSJ conference on intelligent robots and systems*, Raleigh, NC, 607-612 (1992).
71. Spirito, M. and Wylie-Green, M., "Mobile station location in future TDMA mobile communication systems", *Proc. IEEE fall vehicular technology conf.*, 790-794 (1999).
72. LiXu, S. J., "A kind of Frequency Planning Method", *Fifth Asia-Pacific Conference on and Fourth Optoelectronics and Communications Conference*, APCC/OECC'99, 1: 491-494 (1999).
73. Pasquale, A.D., Magnani, N.P. and Zanini, P., "Optimizing frequency planning in the GSM system", *Universal Personal Communications, ICUPC '98, IEEE 1998 International Conference*, 1(1): 293 – 297 (1998).
74. Neskovic, N., Neskovic, A. and Paunovic, D., "Automatic frequency planning algorithm in a real land mobile radio system design", *Electrotechnical Conference MELECON 2002*, 11th Mediterranean, 448 – 452 (2002).
75. Engstrom, S., Johansson, T., Kronestedt, F., Larsson, M., Lidbrink, S., Olofsson, H., "Multiple reuse patterns for frequency planning in GSM networks", *Vehicular Technology Conference, VTC 98*. 48th IEEE 3: 2004 – 2008 (1998).
76. Jalden, N. and Wilson, S.K., "Autonomous frequency planning for GSM networks", *Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium. NETWORKS*, 11th International, 169 – 174 (2004).
77. Sherali, H.D., Pendyala, C.M. and Rappaport, T.S., "Optimal location of transmitters for microcellular radio communication system design.", *IEEE J. select areas commun.*, 14(4): 662-673 (1996).
78. Tutschku, K., "Interference minimization using automatic design of cellular communication networks", *IEEE VTC*, 634-638 (1998).
79. Ye, C., Subramanian, S. and Jain, N., "CDMA cell site optimization using a set covering algorithm" *in proc. 8th int. network planning symp.*, 75-78 (1998).
80. Calegari, P., Guidec, F., Kuonen, P. and Kobler, D., "Genetic approach to radio network optimization for mobile systems", *IEEE VTC*, 755-759 (1997).
81. Lee, C.Y. and Kamg, H.G., "Cell planning with capacity expansion in mobile communications: a tabu search approach", *IEEE tran. on veh. Tech.*, 49(5): 1678-1691 (2000).

82. Bourjolly, J.M. and Touhami, S., "Optimizing frequency hopping in GSM cellular phone networks", *Telecommunication systems*, 21(2-4): 249-260 (2002).
83. Zander, J., "Performance of optimum transmitter power control in cellular radio systems", *IEEE transaction on vehc. Tech*, 41(1): 57-62 (1992).
84. Goldberg, D.E., "Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning.", Canada: *Addison- Wesley Publishing Company Inc*, 23-176 (1989).
85. Holland, J.H., "Adaptation in Natural and Artificial Systems", *University of Michigan Press*, Ann Arbor, MI, 54-98 (1975).
86. Davis, L., "Job shop scheduling with genetic algorithm.", *Proceeding of the first International Conference on Genetic Algorithms*, 136-140 (1985).
87. Liepins, G.E. and Hilliard, M.R., "Genetic algorithm: foundations and applications.", *Annals of Operation Research*, 31-38 (1989).
88. Biegala, J.E. and Davern, J.J., "Genetic algorithms and job shop scheduling", *Computers and Industrial Engineering*, 19(1-4): 81-91 (1990).
89. Nakano, R. and Yamada, T., "Conventional genetic algorithm for job shop problems.", *Proceedings of the Fourth International Conference on Genetic Algorithms*, 63: 397-414 (1996).
90. Chen, C.L., Nepalli, R.V. and Aljber, N., "Genetic algorithms applied to the continuous flow shop problem.", *Computers and Industrial Engineering*, 919-929 (1996).
91. Chaiyaratana, N. and Zalzal, A.M.S., "Recent developments in evolutionary and genetic algorithms: theory and applications", *Second International Conference On Genetic Algorithms In Engineering Systems: Innovations And Applications*, GALEZIA, 97:270 – 277 (1997).
92. Beasley, D., Bull, D.R. and Martin, R.R., "A sequential niche technique for multimodal function optimization.", *Evolutionary Computation*, 1(2): 101-125 (1993).
93. Pullan, W., "Adapting the genetic algorithm to the travelling salesman problem", *Proceedings of the 2003 Congress on Evolutionary Computation*, CEC '03, 2: 1029-1035 (2003).
94. Potter, T. and Bossomaier, T., "Solving vehicle routing problems with genetic algorithms", *IEEE International Conference on Evolutionary Computation*, 2: 788-793 (1995).

95. Gen, M., Tsujimura, Y. and, Kubota, E., “Solving job-shop scheduling problems by genetic algorithm”, *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Humans, Information and Technology*, 2: 1577 – 1582 (1994).
96. Biroğul, S. , ‘Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme’, Yüksek lisans tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 45-67, Ankara (2005).
97. Kratica, J., Tomic, D., Filipovic, V. and Ljubic, I., “Solving the Simple Plant Location Problem by Genetic Algorithms”, *RAIRO - Operations Research*, 35(1): 127-142 (2001).
98. Bahuman, A., Rasheed, K. and Bishop, B., “An evolutionary approach for VLSI standard cell design”, *Proceedings of the 2002 Congress on Evolutionary Computation*, CEC '02, 1: 431-436 (2002).
99. Erben, W. and Keppler, J., “A Genetic Algorithm Solving a Weekly Course-Timetabling Problem”, *Proceedings of the First International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (ICPTAT '95)*, Napier University, Edinburgh, UK, 21-32 (1995).
100. Yiğit, T., “Bir Anahtarlama Relüktans Motorun Genetik Uyarlamalı Hız Denetiminin Gerçekleştirilmesi", Doktora Tezi,*Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 37-65 (2005).
101. Elbaum, R. and Sidi, M., “Topological of local-area Networks using genetic algorithms”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 4(5): 766-778 (1996).
102. Karr, C.L. and Freeman, M.L., “Industrial Applications of Genetic Algorithms”, *CRC Press*, USA, 299-304 (1999).
103. Bhattacharyya, S., “Direct-Marketing Performance Modeling Using Genetic Algorithms”, *Journal on Computing*, 11(3): 248-267 (1999).
104. Fang, H., “Genetic algorithms for scheduling”, MSc Dissertation, *Department of Artificial Intelligence University of Edinburg*, 4: 7-11, 21-27 (1992).
105. Michalewicz, Z., “Genetic Algorithms + Data Structures= Evolution Programs”, *Springer-Verlag*, Berlin, Germany, 159-267 (1996).
106. Elmas, Ç., Biroğul, S., “Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme”, *1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri kongresi*, 550-556 Eylül (2005).
107. Elmas, Ç., Yigit, T., "Genetic algorithms Based on-line tuning of a PI controller for a switched reluctance motor drive", *Electric Power Components and Systems*, 35(6): 675-691 (2007).

108. Elmas, Ç. and Yiğit, T., "Genetik Uyarlamalı Denetleyici İle Anahtarlamalı Relüktans Motorun Hız Denetimi", *1 st International Vocational And Technical Education Technologies Congress*, İstanbul, 533-542 (2005).
109. Yiğit, T., "School Weekly Courses Timetabling Using Genetic Algorithms" *4th FAE International Symposium*, Lefke, KKTC (2006)
110. Yigit, T., "Constraint-Based School Timetabling Using Hybrid Genetic Algorithms" *The 10th Congress of the Italian Association for Artificial Intelligence (AIIA 2007)*, Roma (2007).
111. Özel, S., "Üretim çizelgeleme algoritmalarının programlanması", Yüksek lisans tezi, *Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Bursa, 5-9, 55-66 (1999).
112. Altınparmak, F., "Genetik algoritmalar ile haberleşme şebekelerinin topolojik optimizasyonu", Doktora tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 39-46, 85 (1996).
113. Davis, L., "Handbook of Genetic Algorithms", *Van Nostrand Reinhold*, New York, 78-284 (1991).
114. Murata, T., Ishibuchi, H., "Performans evaluation of genetic algorithms for flowshop scheduling problems", *IEEE*, 812-817 (1994).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : BİROĞUL, Serdar
 Uyruğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 10.09.1980 İzmit
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (532) 667 26 87
 e-mail : sbirogul@yahoo.com

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Elektrik Eğitimi Bölümü	2005
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Elektrik Eğitimi Bölümü	2002
Lise	Kocaeli Anadolu Teknik Lisesi	1998

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2003-2008	Gazi Üniversitesi	Araştırma Görevlisi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. Elmas, Ç., Biroğul, S. ve Yılmaz, C., “Veri füzyonunun askeri ve ağ merkezli harp uygulamaları”, Kara Harp Okulu, **KHO Bilim Dergisi**, 18(1): 37-53 (2008).
2. Güvenç, U., Sönmez, Y ve Biroğul, S., “Bulanık mantık denetimli Da-Da çeviricileri için geliştirilen bir eğitim seti”, **Journal of Polytechnic**, 10(4):339-346 (2007).
3. Biroğul, S., Sönmez, Y. ve Güvenç, U., “Veri Füzyonuna Genel Bir Bakış”, **Journal of Polytechnic**, 10(3): 235-240 (2007).
4. Güvenç, U., Biroğul, S. ve Sönmez, Y., “Yapay Sinir Ağları Eğitim Seti”, **The Proceedings of 7th International Educational Technology Conference**, 709-713 (2007).
5. Elmas, Ç., Biroğul, S. “Genetik Algoritma Yaklaşımıyla Atölye Çizelgeleme”, **1. Uluslararası Mesleki ve Teknik Eğitim Teknolojileri kongresi**, 550-556 (2005).
6. Biroğul, S. ve Elmas, Ç., “Ağ Merkezli Harpte Veri Füzyonunun Etkinliği”, **SAVTEK2008** (Savunma Teknolojileri Kongresi), Cilt II, 231-238 (2008).

7. Biroğul, S., ve Yiğit, T., “Genetik Algoritmada Tamir Operatörünün Etkinliği”, **ASYU2008** (Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu), 134-137 (2008).
8. Yiğit, T. ve Biroğul, S., “Genetik Algoritma Tabanlı Haftalık Ders Çizelgeleme Yazılımı”, **ASYU2008** (Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu), 143-146 (2008).
9. Biroğul, S., Saygın, A., Battaloğlu, H., Yılmaz, C. ve Dursun, M., “Bobinajcı Meslek Standardı Geliştirilmesi”, **UMES 2007** (Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu), 268-271 (2007).
10. Biroğul, S., Dursun, M, Battaloğlu, H., Yılmaz, C. ve Saygın, A., “Elektrik Pano Montörü Meslek Standardı Geliştirilmesi”, **UMES 2007** (Ulusal Teknik Eğitim, Mühendislik ve Eğitim Bilimleri Genç Araştırmacılar Sempozyumu), 272-275 (2007).
11. Biroğul, S. ve Güvenç, U., “Genetik Algoritma İle Çözümü Gerçekleştirilen Atölye Çizelgeleme Probleminde Ürün Sayısının Etkisi”, **Akademik Bilişim 2007**, (2007).
12. Biroğul, S. ve Sönmez, Y., “Neden Veri Füzyonu”, **Akademik Bilişim 2007**, (2007).

Hobiler

Tenis, Basketbol, Dalgıçlık (tüplü dalış), Sinema, Müzik