

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**ENTERKONNEKTE ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KAPALI ÇEVİRİM
GÜÇ AKIŞLARINI ÖNLEMeye/DÜZENLEMeye YÖNELİK
BULANIK KARAR VERME TEMELLİ BİR YÖNTEM**

DOKTORA TEZİ

Gülcihan ÖZDEMİR DAĞ

Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Anabilim Dalı

Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Programı

TEMMUZ 2011

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ BİLİŞİM ENSTİTÜSÜ

**ENTERKONNEKTE ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KAPALI ÇEVİRİM
GÜÇ AKIŞLARINI ÖNLEMeye/DÜZENLEMeye YÖNELİK
BULANIK KARAR VERME TEMELLİ BİR YÖNTEM**

DOKTORA TEZİ

**Gülcihan ÖZDEMİR DAĞ
(702022011)**

Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Anabilim Dalı

Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

TEMMUZ 2011

İTÜ, Bilişim Enstitüsü'nün 702022011 numaralı Doktora Öğrencisi **Gülcihan ÖZDEMİR DAĞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**ENTERKONNEKTE ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KAPALI ÇEVİRİM GÜÇ AKIŞLARINI ÖNLEMeye/DÜZENLEMeye YÖNELİK BULANIK KARAR VERME TEMELLİ BİR YÖNTEM**” başlıklı tezini aşağıdaki imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Yrd. Doç. Dr. Lale Tükenmez ERGENE**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Şima Etaner UYAR
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇIN
Sakarya Üniversitesi

Teslim Tarihi : **18 Şubat 2011**
Savunma Tarihi : **12 Temmuz 2011**

Anneme ve çocuklarıma,

ÖNSÖZ

Öğrenime epeyce bir ara verdikten sonra, evli ve iki çocuklu bir anne olarak doktora yapmaya karar vermenin daha sonraki aşamalarda gördüm ki başlangıçta doktora çalışmasının "d"sinin bile farkında değilmişim. Yaşamda böyle değildir. Birşeyleri gerçekten anlamak için onları yaşamamız gerekmektedir. Bu kararı vermemdeki en büyük etken *annemin verdiği cesaret, destek ve anneme olan güvenimdir*. Doktoraya başlarken bir idealimi daha gerçekleştirmek için yola çıkmıştım. Gerek kendi yaşamımda yaptığım fedakarlıklar gerekse bu çalışma nedeni ile ailemin yaptığı fedakarlıkları düşününce bu çalışmanın emek değerinin hiç birşeyle ölçülemeyeceğini söyleyebilirim. Daha dün gibi hatırlıyorum doktora yeterlilik sınavına hazırlanırken, bir yandan oğlum Can'ın bir yandan kızım Güneş'in *anne sen çalış ne istersen bize söyle, biz getiririz* dediklerini. Bu çalışma alanında okyanusta bir damla kadar küçük olsa dahi bir katkı sağladığına inanıyorum.

Bu çalışmanın yürütülmesinde danışmanlığımı üstlenen Doç. Dr. Mustafa Bağrıyanık başta olmak üzere tez izleme komisyonu üyelerim Yrd. Doç. Dr. Lale Tükenmez Ergene ve Doç. Dr. Şima E. Uyar'a teşekkürlerimi sunmayı bir borç biliyorum.

Enstitüde çoğu zaman sayısız geceler ve hafta sonlarında çalışmak gerekiyordu. Bu durumlarda arkadaşlık ve dostluklarını esirgemeyen, herhangi bir desteğe ihtiyaç duyduğumda özveriyle yardımcı olmaya çalışan başta Oğuzhan Ceylan ve Fatih Yetkin'e, arkadaşlığı, dostluğu ve tez yazım kurallarında takıldığımda elinden gelen desteği esirgemeyen Gülşen Taşkın Kaya'ya, sistemlerle ilgili veya genel olarak teknik bir sorum olduğunda güler yüzle daima yardımlarını esirgemeyen Özden Akıncı, Birkan Tunç, H. Hakan Gürel, Berk Onat, Ahmet Cem Mercan, U. Ufuk Turunçoğlu, Şenol Pişkin, Murat Savcı ve özellikle oda arkadaşım Ayda Aktaş'a çok çok teşekkür ediyorum. Muzaffer Ayvaz'a her zaman güler yüzü ve neşeli sohbetlerine ve burada daha adını yazmadığım diğer öğrenci arkadaşlar ile enstitü çalışanları Cuma Çalışkan, Ayhan Tokuri, Sırrı Dönmez, Elife Karakoç, Tomris Yaman, Pervin Nasırlıel ve Nursel Yenidoğan'a her zaman anlayışlı, güler yüzlü olmaları ve dostluklarından dolayı teşekkür ediyorum.

Son olarak da canım anneme bu çalışmalarımın her aşamasında ve her ihtiyaç duyduğumda yanımda olduğu için ve canım yavrularıma teşekkür ediyorum. İyi varsınız.

Temmuz 2011

Gülcihan ÖZDEMİR DAĞ
Elk. Yük. Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ.....	xxi
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1. KONU ve TARİHSEL GELİŞİMİ	1
1.1 Giriş	1
1.2 Kısıtlılık Analizi	3
1.3 Yük Akışı.....	4
1.3.1 Yük akışı çözümü için Newton-Raphson (NR) algoritması	6
1.3.2 Ayrık (decoupled) yük akışı	7
1.4 Güç Sistemleri İşletiminde Denetimsiz Yapıya Geçişin Getirdikleri	10
1.5 Tez Çalışmasının Amaç ve Hedefi.....	13
1.6 Literatür Araştırması	16
1.7 Bölüm Sonucu	23
2. BULANIK KÜMELER VE BULANIK KARAR VERME	25
2.1 Giriş	25
2.2 Bulanık Kümeler	26
2.3 Bulanık Kümeler ile Temel İşlemler	28
2.4 Bulanık Karar Verme.....	28
2.5 Üyelik Fonksiyonları Formları	31
3. GENETİK ALGORİTMALAR.....	35
3.1 Giriş	35
4. PROBLEM FORMÜLASYONU ve ÖN HAZIRLIK	41
4.1 Giriş	41
4.2 Çalışmanın Kuramsal ve Matematiksel Altyapısı	41
4.3 Bulanık Kümelerin Uygulanması	44
4.3.1 Bara gerilimlerinin bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması.....	44
4.3.2 Hat akış kısıtlarının bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması.....	45

4.3.3 Çevrimsel akışlarının bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması.....	47
4.3.4 Sistem iletim kayıplarının bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması.....	49
4.4 Problemin Akış Diagramı.....	50
4.5 Güç Sistemleri Üzerinde Kontrol Değişkenlerinin Etkilerinin İncelenmesi ..	52
4.5.1 Seri kompanzasyonun hat akışları ve bara gerilimleri üzerindeki etkileri	52
4.5.1.1 Seri kompanzasyon.....	52
4.5.1.2 Hat akışları ve bara gerilimlerinin değişimlerinin incelenmesi	54
4.5.2 Generator bara gerilimleri üzerindeki ayarlamaların hat akışları ve yük bara gerilimleri üzerindeki etkileri	56
4.5.2.1 Hat akışları ve yük bara gerilimlerindeki değişimlerin incelenmesi	56
4.6 Bölüm Sonucu	59
5. SERİ ORTAM TEST SONUÇLARI.....	63
5.1 Giriş.....	63
5.2 Sistem İşletim Koşullarının Üyelik Değerleri Üzerindeki Etkileri	63
5.3 Genetik Algoritalarda Yer Alan Farklı Seçim Operatörlerinden En Uygun Olanının Belirlenmesi.....	66
5.3.1 IEEE 30 baralı test sisteminin tanıtımı.....	66
5.3.2 Test sonuçları.....	67
5.3.3 Her üç seçim operatörü sonuçlarının karşılaştırılması	68
5.3.4 Benzetim sonuçlarının yorumlanması	71
5.4 Güç Akış Kontrolü İçin En Uygun Üyelik Fonksiyonu Formunun Belirlenmesi.....	75
5.4.1 Çevrimsel akışlar için seçilen üyelik formlarının karşılaştırılması	75
5.4.2 Üyelik foksiyonlarına ait benzetim sonuçları.....	77
5.4.3 Üyelik foksiyonlarından elde edilen sonuçların yorumlanması	80
6. PARALEL PROGRAMLAMA	81
6.1 Giriş	81
6.2 Paralel Hesaplama	81
6.2.1 Paralel hesaplama terminolojisi.....	82
6.2.2 Paralel bilgisayar bellek mimarileri.....	85
6.2.2.1 Ortak Bellekli (shared memory) Mimariler.....	85
6.2.2.2 Dağıtık bellekli (distributed memory) mimariler	87
6.2.2.3 Karma bellekli (hybrid memory) mimariler	88
6.2.3 Paralel programlama modelleri	89
6.2.3.1 Ortak bellekli	89
6.2.3.2 Mesaj gönderimli (message passing).....	89
6.2.3.3 Efendi/köle (master/slave).....	89
6.2.3.4 Tek programlı çoklu verili (single program multiple data, SPMD)	90
6.2.3.5 Veri kümeli komut işleme (data pipelining)	90
6.2.3.6 Böl ve yönet (divide and conquer).....	90
6.2.3.7 İlmekler (threads).....	91
6.2.3.8 Karma (hybrid) model	91

6.2.4 Paralel program tasarımı.....	91
6.2.4.1 Problemi anlamak	91
6.2.4.2 Programın ayrıklaştırılması (decomposition or partitioning)	91
6.2.4.3 Haberleşme	92
6.2.4.4 İşin dengeli dağıtımı (load balancing)	92
6.2.4.5 Paralel programlamada limit ve maliyetler.....	92
6.2.4.6 Verimin incelenmesi, düzeltilmesi.....	93
6.3 Paralel Genetik Algoritmalar (Parallel Genetics Algorithms, PGAs)	94
6.3.1 Efendi-köle paralelleştirme.....	95
6.3.2 İnce-ölçekli paralel GAs (cellular GAs).....	97
6.3.3 Birden fazla topluluklu veya kaba-ölçekli paralel GAs (dağıtık GAs veya coarse-grained GAs)	97
6.3.4 Karma paralel algoritmalar.....	99
6.4 MATLAB Paralel Hesaplama Aracı / Dağıtık Hesaplama Sunucusu (MATLAB Paralel Computing Toolbox / Distributed Computing Server) ...	100
7. PARALEL ORTAM TEST SONUÇLARI	103
7.1 Giriş	103
7.2 Problemin Paralel Ortam Akış Diagramı.....	104
7.3 Kullanılan Paralel Sistemin Özellikleri	105
7.4 IEEE 118 Baralı Test Sistemi Üzerindeki İncelemeler	105
7.4.1 Testler için kullanılan IEEE 118 baralı test sisteminin tanıtımı	105
7.4.2 IEEE 118 baralı sistem için paralel hesaplama ait benzetim sonuçları ve yorumlanması.....	105
7.4.2.1 Programın işleyişi	105
7.4.2.2 IEEE 118 baralı test sistemi için GA parametre değerleri.....	110
7.4.2.3 Bulanık üyelik fonksiyonları için ayar değerleri	110
7.4.2.4 IEEE 118 baralı test sistemi benzetim sonuçları	110
7.5 IEEE 300 Baralı Test Sistemi Üzerindeki İncelemeler	111
7.5.1 Testler için kullanılan IEEE 300 baralı test sisteminin tanıtımı	111
7.5.2 IEEE 300 baralı sistem için paralel hesaplama ait benzetim sonuçları ve yorumlanması.....	111
7.5.2.1 Programın işleyişi	111
7.5.2.2 IEEE 300 baralı test sistemi paralel çalışma için GA parametre değerleri	112
7.5.2.3 Bulanık üyelik fonksiyonları için ayar değerleri	112
7.5.2.4 IEEE 300 baralı test sistemi benzetim sonuçları 1	114
7.5.2.5 IEEE 300 baralı test sistemi benzetim sonuçları 2	115
7.5.2.6 IEEE 300 baralı test sistemi için çizelgeler	116
7.5.2.7 IEEE 300 baralı test sistemi çizelgelerinin yorumlanması.....	118
7.5.2.8 IEEE 300 baralı test sistemi benzetim sonuçları 1 ve 2 nin karşılaştırılması.....	118
8. SONUÇLAR.....	121
KAYNAKLAR.....	129
EKLER	137

EK A.....	139
EK B.....	141
EK C.....	143
EK D.....	145
EK E.....	149
ÖZGEÇMİŞ	156

KISALTMALAR

AC	: Alternatif Akım (Alternating Current)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
FACTS	: Esnek Alternatif Akım İletim Sistemleri (Flexible AC Transmission Systems)
GAOT	: Genetik Algoritma Eniyileme Paketi (Genetic Algorithm Optimization Toolbox)
GA	: Genetik Algoritma, yinelemeli (Genetic Algorithm)
GAs	: Genetik Algoritmalar, yinelemeli (Genetic Algorithms)
SGA	: Genetik Algoritmalar, durağan hal (Steady state Genetic Algorithms)
MPI	: Mesaj Gönderim Arabirimi (Message Passing Interface)
MW	: Aktif güç birimi, Mega Watt
VAr	: Reaktif güç birimi, Volt-Amper-reaktif
OPF	: Optimal Yük Akışı (Optimal Power Flow)
PAR	: Faz Açısı Düzenleyici (Phase Angle Regulator)
PST	: Faz Kaydırma Transformatörü (Phase Shifting Transformer)
PTDF	: Güç İletimi Dağıtım Faktörü (Power Transfer Distribution Factor)
WF	: Geniş Alan Etki Faktörü (Wide Area Impact Factor)
PVM	: Sanal Paralel Makina (Parallel Virtual Machine)
QP	: Kuvadratik Programlama (Quadratic Programming)
SPMD	: Tek Program Çoklu Veri (Single Program Multiple Data)
STATCON	: Statik Kondansatör (Static Condenser)
SVC	: Statik Reaktif Güç Kompanzatorü (Static VAr Compensator)
TCSC	: Tristör Kontrollü Seri Kompanzasyon (Thyristor Controlled Series Compensator)
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Birketi
UPFC	: Birleştirilmiş Güç Akış Kontrolörü (Unified Power Flow Controller)
MATLAB	: Teknik Hesaplama Dili (MATrix LABoratory)
LSF	: Kuyruk Yönetimi Yazılımı (Load Sharing Facility)
SA	: Benzetimli Tavlama (Simulated Annealing)
pu	: Birim değer (per-unit)

ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 1.1 Bara tipleri ve bu tiplere göre değişkenlerin durumu.	5
Çizelge 1.2 Üç baralı bir sistem için bara tipleri ve bu tiplere göre değişkenlerin durumu.....	8
Çizelge 5.1 Farklı çalışma durumları için üyelik değerleri, IEEE 14 baralı test sistemi.	65
Çizelge 5.2 Üreme operatörü rulet çarkı verileri, IEEE 30 baralı test sistemi.	70
Çizelge 5.3 Üreme operatörü, turnuva seçimi verileri (turnuva boyu 2), IEEE 30 baralı test sistemi.....	71
Çizelge 5.4 Üreme operatörü turnuva seçimi verileri (turnuva boyu 4), IEEE 30 baralı test sistemi.....	72
Çizelge 5.5 En iyi başarımlar (best fitness) karşılaştırması.....	72
Çizelge 5.6 En iyi başarımlar güven aralığı.	73
Çizelge 5.7 Yineleme sayıları bakımından karşılaştırma.	73
Çizelge 5.8 Yineleme sayıları bakımından güven aralığı.....	73
Çizelge 5.9 Güzergahlardaki hedef güç akışları (50 MW) açısından karşılaştırma.	73
Çizelge 5.10 Güzergahlardaki hedef güç akışları (50 MW) açısından güven aralığı.	73
Çizelge 5.11 Güzergahlardaki hedef güç akışları (20 MW) açısından karşılaştırma.	74
Çizelge 5.12 Güzergahlardaki hedef güç akışları (20 MW) açısından güven aralığı.	74
Çizelge 5.13 Tüm durumlar için elde edilen ortalama değerler.	78
Çizelge 6.1 Hız işlemci sayısı.	93
Çizelge 7.1 Amaç ve kısıtlar için yirmi kez çalıştırmanın sonucunda elde edilen ortalama değerler.....	117
Çizelge 7.2 Ortalama memnuniyet değerleri.	117
Çizelge 7.3 Amaç ve kısıtlar için yirmi kez çalıştırmanın sonucunda elde edilen ortalama değerler.....	117
Çizelge 7.4 Ortalama memnuniyet değerleri.	117
Çizelge 7.5 Her iki test sisteminin karşılaştırma değerleri.	120
Çizelge A.1 IEEE 14 baralı örnek sistem bara verileri.	140
Çizelge A.2 IEEE 14 baralı örnek sistem hat verileri.	140
Çizelge A.3 IEEE 14 baralı örnek sistem transformatör verileri.	140
Çizelge E.1 Literatürdeki referansların ve önerilen yöntemin karşılaştırılması.	150
Çizelge E.2 (devam):	151
Çizelge E.3 (devam):	152
Çizelge E.4 (devam):	153

Çizelge E.5 (devam): 154

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 1.1 : Elektrik enersijinin üretim, iletim ve dağıtımı.....	1
Şekil 1.2 : İki baralı kısa bir iletim hattı.....	2
Şekil 1.3 : Üç baralı bir sistem.....	8
Şekil 1.4 : Kapalı çevrim güç akışı.	11
Şekil 1.5 : İşletim maliyetleri ve doluluk oranları gösterilen 7-baralı güç sistemi [12].....	12
Şekil 1.6 : Üç numaralı baradaki yük artışı ve etkileri [12].	13
Şekil 1.7 : Yük artışının devam etmesi durumu [12].	14
Şekil 1.8 : Tüm sistemin çöküşü [12].	15
Şekil 2.1 : "Uzun" un, miktara göre derecelendirilmesi.....	26
Şekil 2.2 : "10' a yakın gerçek sayılar.....	27
Şekil 2.3 : Trapez üyelik formu.....	31
Şekil 2.4 : Çan eğrisi üyelik formu.	32
Şekil 2.5 : Üçgen üyelik formu.	32
Şekil 2.6 : Süreksiz üyelik formu.....	32
Şekil 2.7 : Üstel türetilmiş üyelik formu.....	33
Şekil 2.8 : Gauss türetilmiş üyelik formu.....	33
Şekil 3.1 : Genetik Algoritmada başlangıç topluluğu.	36
Şekil 4.1 : Bara gerilimleri için bulanık üyelik fonksiyonu.....	46
Şekil 4.2 : Hat akışları için bulanık üyelik fonksiyonu.....	46
Şekil 4.3 : Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (trapez form).	48
Şekil 4.4 : Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (üstel form).	48
Şekil 4.5 : Kayıplar için bulanık üyelik fonksiyonu.	50
Şekil 4.6 : Problemin akış diagramı.	51
Şekil 4.7 : Hat seri kompanzasyon oranı ile aktif kayıpların değişimi.	55
Şekil 4.8 : Hat seri kompanzasyon oranı ile reaktif kayıpların değişimi.	55
Şekil 4.9 : Hat seri kompanzasyon oranı ile hat akışlarının temel duruma göre değişimi.....	56
Şekil 4.10 : Hat seri kompanzasyon oranı ile 4' nolu baranın gerilim genliğinin değişimi.....	57
Şekil 4.11 : V_2 ve V_3 gerilimleri ile aktif kayıpların değişimi.	58
Şekil 4.12 : V_2 ve V_3 gerilimleri ile reaktif kayıpların değişimi.	58
Şekil 4.13 : V_2 ve V_3 gerilimleri ile V_4 gerilim genliğinin değişimi.	59
Şekil 4.14 : V_2 ve V_3 gerilimleri ile 2-3 hattının MW akışının değişimi.	59

Şekil 4.15	: V_2 ve V_3 gerilimleri ile 2-4 hattının MW akışının değişimi.	60
Şekil 4.16	: V_2 ve V_3 gerilimleri ile 3-4 hattının MW akışının değişimi.	60
Şekil 5.1	: GA üreme operatörü rulet çarkı için memnuniyet değişimi.	68
Şekil 5.2	: GA üreme operatörü turnuva seçimi (ts,2) için memnuniyet değişimi.	68
Şekil 5.3	: GA üreme operatörü turnuva seçimi (ts,4) için memnuniyet değişimi.	69
Şekil 5.4	: Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (trapez form).	76
Şekil 5.5	: Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (üstel form).	77
Şekil 6.1	: Ortak bellekli paralel bilgisayar sistemi.	86
Şekil 6.2	: Dağıtık bellekli paralel bilgisayar sistemi.	87
Şekil 6.3	: Karma bellekli paralel bilgisayar sistemi.	88
Şekil 6.4	: Efendi-köle paralel GA.	95
Şekil 6.5	: Fine-grained paralel GA.	97
Şekil 6.6	: Çoklu topluluk paralel GA.	98
Şekil 6.7	: Karma GA (üst seviye çoklu topluluklu GA ile alt seviye fine-grained GA).	99
Şekil 6.8	: Karma paralel GA (üst seviye çoklu topluluklu GA ile alt seviye her düğüm efendi-köle GA).	99
Şekil 6.9	: Karma paralel GA (hem üst hem alt seviye çoklu topluluklu).	100
Şekil 6.10	: MATLAB paralel hesaplamının temel yapısı [99].	100
Şekil 6.11	: Paralel hesaplama veri akışı iş akış şeması [99].	101
Şekil 7.1	: Paralel ortam akış diagramı.	104
Şekil 7.2	: IEEE 118 baralı test sistemi, zaman işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.	107
Şekil 7.3	: 118 baralı standart test sistemi, hız işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.	108
Şekil 7.4	: IEEE 118 baralı standart test sistemi, hızlanma işlemci sayısı grafiği (teorik).	108
Şekil 7.5	: IEEE 118 baralı test sistemi, verim işlemci sayısı grafiği, topluluk boyu 150, yineleme sayısı 150.	109
Şekil 7.6	: IEEE baralı standart test sistemi zaman, işlemci sayısı grafiği topluluk boyutu 100, yineleme sayısı 100.	114
Şekil 7.7	: 300 baralı standart test sistemi, hız işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 100, yineleme sayısı 100.	114
Şekil 7.8	: IEEE 300 baralı standart test sistemi, verim işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 100, yineleme sayısı 100.	115
Şekil 7.9	: IEEE 300 standart test sistemi, zaman işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.	115
Şekil 7.10	: 300 baralı standart test sistemi, hız işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.	116
Şekil 7.11	: IEEE 300 baralı standart test sistemi, verim işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.	116
Şekil 7.12	: IEEE 300 baralı standart test sistemi, iki ayrı test setinin karşılaştırılması.	119

Şekil A.1	: IEEE 14 baralı standart test sistemi [100].	139
Şekil B.1	: IEEE 30 baralı standart test sistemi [100].	142
Şekil C.1	: IEEE 118 baralı standart test sistemi [100].	144
Şekil D.1	: IEEE 300 baralı standart test sistemi, 1. parça [100].	146
Şekil D.2	: IEEE 300 baralı standart test sistemi, 2. parça [100].	147
Şekil D.3	: IEEE 300 baralı standart test sistemi, 3. parça [100].	148

SEMBOL LİSTESİ

- \vec{I} : Akım (current)
 \vec{V} : Gerilim (voltage)
 \vec{P} : Aktif Güç (active power)
 \vec{Q} : Reaktif Güç (reactive power)
 \vec{S} : Görünür Güç (kompleks güç)
 θ : Faz Açısı (phase angle, empedanslar için)
 δ : Faz Açısı (phase angle, gerilimler için)
 \vec{Z} : Empedans (impedance)
 R : Direnç (resistance)
 \vec{X} : Reaktans (reactance)
 \vec{Y} : Admitans (admittance) ($y = g + jb$)
 g : Geçirgenlik (conductance, (admitansın reel kısmı))
 b : Süseptans (susceptance, (admitansın sanal kısmı, sanal geçirgenlik))
 J : Jakobyen (jacobien)

ENTERKONNEKTE ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE KAPALI ÇEVİRİM GÜÇ AKIŞLARINI ÖNLEMENE/DÜZENLEMENE YÖNELİK BULANIK KARAR VERME TEMELLİ BİR YÖNTEM

ÖZET

Seksenli yıllara kadar tüm dünyada elektrik enerji sistemlerinin tamamı; üretim, iletim ve dağıtım devletlerin kontrolünde idi. Bunun başlıca nedeni çok büyük yatırım ve işletme maliyetlerinin olması idi. Kalitenin ve maliyetlerin ancak rekabet ortamlarında oluşacağına inanılan kapitalist ekonomilerde, özellikle hava yolu işletmeciliğinde tekel sisteminin kaldırılıp serbest piyasa koşullarına geçilmesi ile ulaşım maliyetlerindeki ciddi düşüş ve yaygın ekonomik servislerin gelmesi ile, benzer bir başarının elektrik sektöründe de oluşacağına olan inançla elektrik güç sistemlerinde de özelleştirme furyası başladı. İngiltere, İzlanda ve ABD bu işin öncülüğünü yaparak sistemlerinin neredeyse tamamını özelleştirerek sektörü özel teşebüse bıraktı. Daha doğrusu elektrik enerjisinin üretimi, iletimi ve dağıtımını farklı farklı firmalara satılarak başka türlü bir tekelin oluşması da engellenmeye çalışıldı. Devlet kendisi, ya da kurduğu düzenleyici otoriteler aracılığı ile sektörde yalnızca kontrolör olarak görev üstlendi.

Devlet tarafından işletilen sistemlerde güç kayıplarının yüksekliği, verimin düşüklüğü, veya enerjinin çok uzun yollardan (iletim hatlarında dolaşarak) tüketim noktalarına varması sorununa ciddi bir şekilde yaklaşılmadı. Maliyetlerin artması doğrudan tüketiciye yansıtıldığından, yada maliyetlerin bir kısmının devlet tarafından karşılanması nedeni ile enterkonnede sistemlerin doğasında var olan kapalı çevrimler içinde dolaşan enerji (yada bu dolaşım sonucu hatlarda oluşan ısı kayıpları) pek sorun olarak görülmedi. Özelleştirme sonucunda; hangi miktarlarda enerjinin hangi iletim hatlarında iletildiği, hangi firmanın hangi iletim hattını ne kadar süre ile ve hangi saatlerde kullandığı, enerji iletim sisteminin hatlarının doluluğu nedeni ile eğer sistem bir arıza durumuna geçerse bundan kimin sorumlu olduğu konuları çok önem kazanmaya başladı. Elektrik enerjisinin izleyeceği yol fizik kurallarına göre yani, Kirchhoff'un akım yasası ve Ohm yasasına göre belirlenir. Enerji akışı kontrat yapılan güzergah yerine empedansı en düşük olan iletim hatlarını seçer. Bu durum, enerjiyi satılan ile satan arasına üçüncü birinin girmesi sonucunu doğurur. Enerji akışının böyle olması sonucu bazı işletim problemlerini ortaya çıkardı. Böyle ki, enerji alış-veriş planında sınırlamalar, iletim kapasitesinde değişimler, hatların aşırı yüklenmesi, güvenlik ve güvenilirlik konuları ve enerjinin serbest piyasada fiyatlandırılması komplikasyonları, enerjiyi satılan ile onu satan arasına üçüncü birinin (sistemi kullanılan taraf) girmesi sonucu, üçüncü birinin sisteminin kullanım bedelinin kimler tarafından karşılanacağı gibi.

Kapalı çevrim güç akışı, işte bu üçüncü birinin işgal edilen hatlarında oluşan enerji kayıplarının nasıl ücretlendirileceği, kime faturalandırılacağı, sistemde hatların dolu olması durumunda tıkanıklığa sebep olunmasından, sistemin çöküntüye gitmesinden

kimlerin ne derecede sorumlu tutulacağı gibi konuları içerdiğinden çok önem kazanmıştır. Halen aktif bir araştırma konusudur.

Bu çalışmada amaç; enterkonnekte elektrik güç iletim sistemlerinde kapalı çevrim güç akışlarını önlemeye/düzenlemeye yönelik bir yöntem geliştirmektir. Bunu gerçekleştirirken ilave amaçlar da probleme dahil edilmiştir. Bunlar; sistem baralarındaki gerilim profilinin bozulmaması ve düzeltilmesi (gerilim genliklerinin arzu edilen değerlerde tutulması), iletim hatlarındaki hem aktif hem de reaktif kayıpların en aza indirilmesi ve temel durum değerlerinden fazla uzaklaşmaması, hatlardaki güç akışlarının iletim hatlarının akım taşıma kapasite limitleri dahilinde tutulmasıdır. Görüldüğü gibi problemimiz çok amaçlı ve çok kısıtları olan bir problemdir. Bu çoklu amaçlı ve kısıtlı problemde bulanık karar vermeden yararlanılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen tek amaçlı en iyileme problemine evrimsel arama tekniklerinden genetik algoritmalar uygulanmıştır.

Bu yöntemi düzenlerken işletim koşullarını etkileyen elektrik güç sistemi kontrol ve durum değişkenleri ve bunların üzerlerindeki kısıtlamalar da göz önünde bulundurularak, bulanık ortamda her birisi için uygun üyelik fonksiyonlarının tespit edilmeleri ile modellenmişlerdir.

Genetik algoritmaların uygulanması sırasında GA operatörlerinde probleme uyarlanması açısından çeşitli benzetimler yapılmış ve literatürdeki uygulamalar da incelenerek çalışmaya en uygun olanının tespiti yapılmıştır.

Problem günlük bir işletme problemi olduğundan gün içerisinde defalarca çözümü yapılmaktadır. Bundan dolayı çözüm süreside önem teşkil etmektedir. Çözüm süresinin azaltılması için hem genetik algoritmalarda paralel algoritmalar seçilmiş hem de kurumdaki yüksek başarımlı laboratuvarlarından yararlanılarak yüksek başarımlı bilgisayarlarda paralel ortam hesaplama tekniklerinden yararlanılmıştır.

A FUZZY-DECISION MAKING BASED METHOD TO PREVENT/REGULATE LOOP FLOWS IN INTERCONNECTED ELECTRICAL POWER SYSTEMS

SUMMARY

After the liberalization of the electricity markets, the operation of the power system has fundamentally changed. How much power flows on which transmission lines, which company uses the other's transmission lines and/or the amount and duration of the transmission line usage have all become very important issues.

When the actual power flow exceeds system-operating limit for a transmission path, the transmission system operators must immediately mitigate the transmission overloads to reduce the actual power flow across the path. The deviation of actual electric power flows in transmission circuits from the scheduled (expected) power flows is called closed loop flows, and/or unscheduled flows, and these flows may cause the transmission limit violations. The unscheduled flows have been seen as a serious problem, since these flows may result in blackouts and affect cross border trading in the electricity markets. Therefore, such flows in an interconnected power system should be kept under control to improve both the operation conditions and the market conditions.

In interconnected power systems there are many parallel transmission lines and closed loops causing electrical energy to follow different routes to reach load centres. Thus, when for a reason a transmission line becomes out of service, there are alternative ways of feeding loads at the end of that particular transmission line. Otherwise, loss of electrical energy may cause interruption of all types of production, transportation, communication, entertainment, education and the other life related activities to be affected partially or totally.

Up until eighties all activities of electrical power systems, such as production, transmission and distribution, were under the control of governments. The reason for this was that both investment and operation costs were too high. With the belief that both the quality and reduced cost would be possible in a free market, especially considering the success of deregulated aviation systems, electrical power systems were deregulated. England, Iceland and USA were the first to deregulate their power systems. Production, transmission, and distribution systems were privatized to different companies. Either government herself or via regulation authorities took the regulation role.

High power losses, low efficiencies, or the long paths electrical energy travels through (using transmission systems) in a government controlled system were not taken into consideration seriously. Since the rising costs are directly adjusted to the customers' bill, or part of the cost is subsidized by government, the loop flows, which is a natural

result of an interconnected power system, were not considered as a problem. As a result of deregulation the following questions have become quite important. How much power flows on which lines? Who is using a certain transmission line and how long the line is being used? At which hours a transmission line is used? If, due to overloaded lines a fault occurs who is responsible for this fault? Electrical power does not follow a prescribed line, it rather follows ohm's law. That is, energy does not follow from a contracted path, it flows through the lines which has the least resistance. This fact brings a third party into a picture when there is an energy seller and a buyer. This, in turn, creates operational problems, such as limitations on power transactions, changes in transmission line capacity, lines being overloaded, security and reliability problems, and complications in pricing the electricity in the market (who pays the transmission line usage, when there is third party between a buyer and seller on a contracted path).

Closed loop flows, tries to answer the question as to who will be responsible for the line usage in the third party's system, how the pricing shall be done, who is and how much responsible for the congestion of transmission lines especially on the third party's system. This field is still a heavily researched area.

The main purpose of this study is to design a method to control power flows in closed loops of interconnected electrical power systems. This problem has become significant due to deregulation in power systems. By this method we aim to prevent and/or regulate unwanted loop flows. There are some additional purposes needed to be handled besides the main purpose. These additional purposes are the voltage profiles of each bus of the system should not be destroyed, active and reactive power losses of transmission lines must be minimized and should not be far away from the one of basic case solution. The values of the transferred power must be kept under the current carrying limits of the transmission lines. As seen the problem has multi objectives and multi constraints that are needed to be handled. The multi objectives and multi constraints problem is handled by using fuzzy-decision-making techniques. The finalized single objective problem is optimized by using genetic algorithms which is one of the evolutionary search algorithms.

The power system control variables, state variables and the constraints that are effecting the operational conditions of the system are also taking under considerations while arranging the method. A membership function is determined to each objectives and constraints in fuzzy environment. The break-points of the fuzzy membership functions are tested. After a set of simulations the best form of the membership functions are determined to improve the success rate of the solution of the problem.

In fuzzification step, the objectives and constraints were fuzzified by using designated membership functions, where these functions should be properly constructed to guarantee the overall performance and improve the success rate of the solution of the problem. After a set of simulations the best form of the membership functions are determined by arranging the break-points of the fuzzy membership functions. The value or value of a fuzzy membership function defines the degree of membership that a crisp value has in a fuzzy set. The closer the value of membership is to one, the better the solution is for that objective or constraint. In fuzzy decision-making, the optimal solution is defined to be the one with the highest degree of membership, and thus the optimization problem becomes that of maximizing the satisfaction with the solution;

subject to the crisp and fuzzy constraints. In the proposed approach, the objective functions were minimization of the line flows of the closed loop on the contracted paths, and minimization of both total active losses and total reactive losses. The constraints (voltages remaining within the limits, line flows remaining within the limits etc..) were also handled in fuzzy environment by using designated fuzzy membership functions.

Two different shapes of fuzzy membership functions are tested for the main objective that is the line flows for the closed loops. One of the shapes is trapezoidal function. The other shape is exponential function. The study showed that more satisfying results can be obtained by using exponential form of the membership functions. It is described by four parameters that are the break-points of the function.

The reason handling the objectives and constraints in fuzzy environment is that the small variations of power systems variables (bus voltages, line currents etc..) from their limit values can be tolerated, and this can help to obtain one of the best solutions to the problem. Furthermore, one may reach to a better objective function by allowing small violations of limits. To what degree toleration and/or on which variable of power systems it is allowed depends on systems operating conditions. In practice, to determine the break-points of each fuzzy membership function, the experience of system operators are also taking in considerations.

In optimization step, first, the applications of genetic algorithms in literature are checked. One of the good characteristics of evolutionary search algorithms is that they could be easily adapted from one problem to another by modifying related parameters and the way of application techniques of operators. Then some simulations are performed to determine the best variety of each operator of genetic algorithms that they fit better to our problem.

The problem is an operational problem in power systems that is required to solve many times as a daily routine. That is why the time spent for a solution is gained importance. To reduce the computational time some parallel computing techniques and some types of parallel genetic algorithms are also searched. The simulations belong to larger systems among the test systems are used are performed using the utilities provided by the high performance computing lab in computational science and engineering department of informatics institute.

The main disadvantage of genetic algorithms is the high CPU time execution. This can cause heavy computation demands in a large-scale power system case, resulting in large dimensional matrix operations. One way to overcome these computation demand is to use parallel algorithms in multi-processor computers or in distributed environments.

To solve a computational problem, parallel computing simply involves the simultaneous use of many computing resources. Computing resources come in the form of either a single computer with multiple processors or multiple computers (computing nodes) connected by a fast network.

In most cases, there are both paralleling and unparalleled parts in the problem formulations. The speed up of a program using multiple processors in parallel computing is limited by the time needed for the serial part of the program. There

are also several factors that limit the speed up such as communication time for sending messages.

Genetic algorithms are very powerful search and optimization techniques that can be applied to problems in many different areas. They can produce an acceptable solution to a problem in a reasonable time. However when they are applied to very hard and large problems it takes quite a long time. In that case there might be some effort to reduce the time into a reasonable range. One way of reducing execution time is to implement genetic algorithms in parallel environment.

Master-slave parallelism among the types of parallel genetic algorithms was chosen. The algorithm was implemented in MATLAB environment using toolboxes such as genetic algorithm toolbox, parallel computing toolbox, distributed computing server, and MATPOWER which is an open source power flow program was also used.

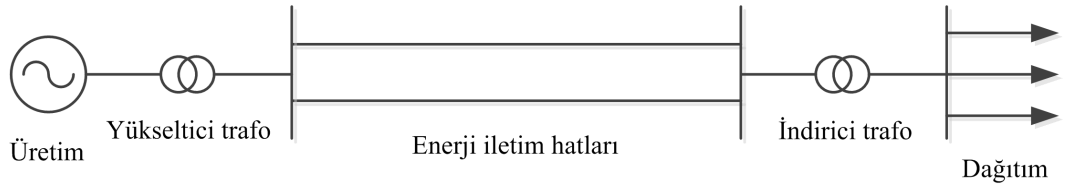
The large portion of the computation time is spent for the function evaluation in the problem. This is due to the nature of the problem solved. Master-slave parallel genetic algorithm is perfectly matched with the needs. It is concluded that by using a larger system, we would gain more benefit from using a high performance computing facility that allows parallel implementation of our program to get the system solution faster than the serial corresponding.

As a result of this work can be concluded as follows. A fuzzy set theory based genetic algorithm procedure is proposed to control and/or prevent loop flows. The problem is formulated as a multi-objective problem subject to operational and electrical constraints and it is handled in fuzzy environment. The proposed method works well and very satisfactory results for the objectives such as scheduled path flows, active and reactive power losses are obtained. When the classical methods are used to control loop flow in a rigid manner a feasible solution may not be found. However, using the proposed method one can find a feasible solution. This can be better adjusted using different membership functions, since the shape of the membership function affects the satisfaction level appreciably.

1. KONU ve TARİHSEL GELİŞİMİ

1.1 Giriş

Elektrik enerjisi; kömür, su, jeotermal, rüzgar vb gibi kaynaklara yakın yerlerde üretilir. Üretim merkezlerinde generatör (üreteç) çıkışlarında 10-15 kV gerilim seviyesinde üretilen elektrik enerjisi üretim merkezlerinde yer alan yükseltici transformatörler ile 154-380 kV seviyesine yükseltilerek (Türkiye’de 380 kV olan iletimde kullanılan en yüksek gerilim değeri bazı ülkelerde 1100 kV’a kadar yükseltilmiştir.) uzak mesafelerde bulunan tüketim bölgelerine iletilir. Dağıtım merkezlerinde indirici transformatörler kullanılarak gerilim seviyesi dağıtımda kullanılan gerilim değeri olan orta gerilim seviyesine düşürülür. Ülkemizde genel olarak 34,5 kV olan dağıtım sistemleri, 10-34,5 kV arasında gerilim seviyesine sahiptir [1].



Şekil 1.1: Elektrik enerjisinin üretim, iletim ve dağıtımı.

İletimde çok yüksek gerilim seviyelerinin kullanılmasındaki amaç elektriksel güç iletimi esnasında oluşacak ısı kayıplarını en aza indirmektir. Bu durumun daha iyi ifade edilebilmesi için enerji iletim sistemlerinin doğasında var olan alternatif akım 3-fazlı aktif güç denklemleri verilmiştir. Bunun için Şekil 1.2’de verilen kısa bir iletim hattı gözönüne alınmıştır.

Bu hat üzerinde iletilen aktif güç

$$\vec{P}_{12} = 3 \left(\frac{|\vec{V}_1|^2}{|\vec{Z}|} \cos \theta - \frac{|\vec{V}_1||\vec{V}_2|}{|\vec{Z}|} \cos(\theta + \delta_1 - \delta_2) \right) \quad (1.1)$$

İletilen reaktif güç ise,

$$\vec{Q}_{12} = 3 \left(\frac{|\vec{V}_1|^2}{|\vec{Z}|} \sin \theta - \frac{|\vec{V}_1||\vec{V}_2|}{|\vec{Z}|} \sin(\theta + \delta_1 - \delta_2) \right) \quad (1.2)$$

olarak elde edilir. Bu eşitliklerde $\vec{Z} = R + jX = |\vec{Z}| \angle \theta$ kısa iletim hattının empedansını, R hattın direncini, X hattın reaktansını, $\vec{V}_1 = |\vec{V}_1| \angle \delta_1$ bir nolu baranın gerilimini ve $\vec{V}_2 = |\vec{V}_2| \angle \delta_2$ iki nolu baranın gerilimini ifade etmektedir. Bu hat üzerinden iletilen akım

$$\vec{I}_{12} = \left(\frac{|\vec{V}_1| \angle \delta_1 - |\vec{V}_2| \angle \delta_2}{|\vec{Z}| \angle \theta} \right) \quad (1.3)$$

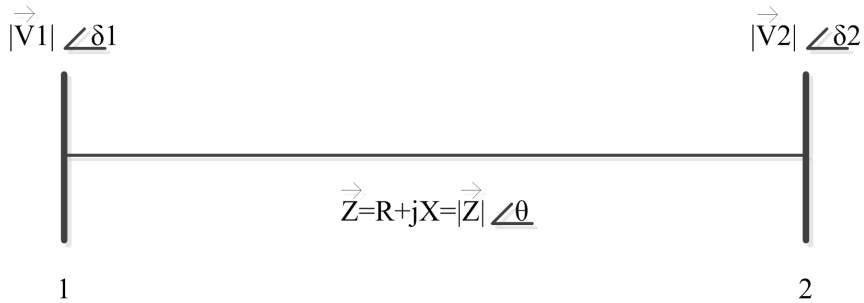
biçimindedir. Bu iletim hattından (1.3) ile belirtilen akım aktığında, \vec{P}_{12} ve \vec{Q}_{12} ile verilen aktif ve reaktif güç 1 nolu baradan 2 nolu baraya iletildiğinde, hat üzerinde bir kayıp meydana gelir. Hat üzerinde meydana gelen aktif güç kaybı

$$P_L = 3 R I_{12}^2 \quad (1.4)$$

hat üzerinde meydana gelen reaktif güç kaybı

$$Q_L = 3 X I_{12}^2 \quad (1.5)$$

şeklindedir.



Şekil 1.2: İki baralı kısa bir iletim hattı.

Güç sabit tutulmak istendiğinden (kayıpsız bir iletim) gerilim yükselince, akım düşecek böylece kayıplar azalacaktır. Ülke geneline yayılmış enerji iletim hatları ile tüketicilerin enerji ihtiyaçları karşılanmaya çalışılmaktadır. Bir hatta enerji kesintisi olduğu zaman alternatif yollardan beslenme devam edebilsin diye tüketicilerin enerji ihtiyaçları farklı farklı güzergahlarla beslenmeye çalışılır. Enerji alım-satımı da yapılabilsin diye sistemler hem ülke içindeki enerji iletim sistemleri hem de komşu

ülkelerin enerji iletim sistemleri ile entegre edilir. Bu tür sistemlere enterkonnekte sistemler denilir. Çalışmanın amacı, enterkonnekte sistemlerde kapalı çevrim güç akışlarını önlemeye/düzenlemeye yönelik yöntem geliştirmek olduğundan bu tür sistemlerin işletiminde gerçekleştirilen çeşitli analizlere de değinilmiştir [2, 3]. Bu analizler içerisinde kısıtlılık analizleri ve yük akışı analizleri en önemlileri arasında olduğundan bu konulara değinilecektir.

1.2 Kısıtlılık Analizi

İnsanoğlunun en vazgeçilmez temel ihtiyaçlarından biri haline gelen elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamak üzere Şekil 1.1'deki radyal sistem yerine sistem Şekil A.1'deki gibi enterkonnekte bir yapı haline getirilir. Bu durum bir örnekle gösterilmiştir. Şekilde verilen güç sistemi, araştırmalarda kullanılan 14 baralı IEEE test sistemidir. Şekilde görüldüğü üzere, sistemde paralel iletim hatları ve kapalı çevrimli iletim hatları mevcut olup, enerjinin farklı yollardan tüketim noktalarını beslemesi sağlanmıştır. Yani, herhangi bir nedenle iletim hatlarından biri devre dışı kaldığı zaman, alternatif yollardan bu iletim hattının ucunda bulunan elektriksel yüke enerji verilebilecektir. Sistemde yer alan her bir hattın teker teker devrede olmaması durumunda sistem davranışının incelenmesine (n-1) kısıtlılık analizi adı verilir. Bu analizlerde iletim hatlarının birer birer sistem dışı bırakılarak geri kalan sistemin arz-talep dengesini sağlayıp sağlamadığına bakılır. Bu çalışma hem tüm iletim hatları için hemde tüm generatörler için tek tek yapılır. Bu koşulu sağlayan sisteme (n-1) seviyede güvenilir sistem adı verilir [4]. Bu çalışma hem planlama aşamasında hem de işletim aşamalarında gerçekleştirilir. İşletim aşamasında gerçekleştirilen incelemeler ile sürekli olarak işletim anında izlenen sistemde tek bir hattın devre dışı kalması durumunda sistemde çalışma koşulları açısından bir olumsuzluk olup olmayacağına bakılır. İstenmeyen bir durum söz konusu ise gerekli manevralar yapılarak sistem (n-1) açma durumuna dayanıklı hale getirilmeye çalışılır. Bu manevralar hat, yük, üretim anahtarlamaları ve diğer kontrol elemanları yolu ile yapılan ayarlamaları kapsar. Kısıtlılık analizinde yapılan işlem, herhangi bir sistem elemanının devre dışı kalması durumunda sistem durumunun belirlenmesidir. Örneğin, sistemden bir hat devre dışı kaldığında toplam elektriksel güç üretiminin, talep edilen toplam elektriksel güç

ile hatlarda ve cihazlarda meydana gelen toplam elektriksel güç kayıplarını kabul edilebilir gerilim sınırları içinde karşılayıp karşılayamayacağına bakılmasıdır. Yük akışı, bu süreçte gerçekleştirilen en önemli analizdir ve matematiksel olarak, doğrusal olmayan (nonlinear) bir denklem takımının çözümlerinden birinin bulunması işlemidir. Normalde alternatif akım bazlı olarak işletilen güç sistemlerinde hızlı ve yaklaşık bir çözüm bulabilmek için çeşitli fiziksel özelliklere dayanan varsayımlar da yapılabilir.

1.3 Yük Akışı

Yük akışı analizi, bir güç sisteminde süreklilhal işletme koşullarını bulmak için yapılan incelemedir. Yük akışı hesaplamasının amacı; bara yüklerinin verilen bir seti için, güç üretim/iletim sisteminin süreklilhal işletim koşullarında, şebekedeki güç akışları ve gerilimleri (genlik ve faz açıları) hakkında bilgi sağlamaktır. Güç sistemleri normal olarak dengeli olduğu için, yük akışı analizinde, tek faz gösterimi yeterlidir. Bir güç sisteminin her bir barası, dört değişken ile belirtilir [1].

1. gerilim genliği $|\vec{V}|$,
2. gerilimin faz açısı δ ,
3. enjekte edilen net aktif güç \vec{P} ,
4. enjekte edilen net reaktif güç \vec{Q} .

N baralı bir güç sisteminin i . barasına enjekte edilen kompleks güç,

$$\vec{S}_i = \vec{P}_i + j\vec{Q}_i = \vec{V}_i \vec{I}_i^*, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.6)$$

olarak ifade edilirse, i . baraya enjekte edilen akım,

$$\vec{I}_i = \sum_{j=1}^n \vec{Y}_{ij} \vec{V}_j \quad (1.7)$$

olup (1.6) eşitliğinin kompleks eşleniğinde \vec{I}_i yerine (1.7) eşitliğini koyarsak,

$$\vec{P}_i + j\vec{Q}_i = \vec{V}_i \sum_{j=1}^n \vec{Y}_{ij}^* \vec{V}_j^*, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.8)$$

olur. Bu durumda eşitliğin gerçek ve sanal kısımları eşitlenirse ve

$$\vec{V}_i = |\vec{V}_i| \angle \delta_i$$

$$\vec{Y}_{ij} = |\vec{Y}_{ij}| \angle \theta_{ij}$$

alınırsa

$$\vec{P}_i = \sum_{j=1}^n |\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \cos(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.9)$$

$$\vec{Q}_i = \sum_{j=1}^n |\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \sin(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (1.10)$$

elde edilir. O zaman (1.9) ve (1.10) eşitlikleri statik yük akışı eşitlikleri olarak adlandırılır ve toplam $2n$ adettir. Bu eşitlikler doğrusal olmayan cebirsel eşitlikler olduğundan, çözümleri için yinelemeli sayısal teknikler kullanılmalıdır.

Yük akışı incelemesinde, baralar bilinen ve hesaplanacak değişkenlerin türüne göre üç sınıfa ayrılır:

Çizelge 1.1: Bara tipleri ve bu tiplere göre değişkenlerin durumu.

Bara Tipi	Açıklama	Kontrol Değişkenleri (Bilinenler)	Durum Değişkenleri (Bilinmeyenler)
Salınım (slack)	Referans barası	$ V = 1.0, \delta = 0.0$	P, Q
PV	Generatör barası	P, $ V $	Q, δ
PQ	Yük barası	P, Q	$ V , \delta$

Bir sistemdeki iletim kayıpları, bara gerilimi ile ilgili olduğu için, bir çözüm elde edilene kadar gerekli toplam güç üretimi belirlenemez. Bu yüzden, salınım barasındaki generatör, iletim kayıplarına harcanan gerekli ilave aktif ve reaktif gücü sağlamak için kullanılır. Böylece salınım barası için, gerilimin genliği ve faz açısı bilinen büyüklükler, üretilen aktif ve reaktif güç ise hesaplanan büyüklüklerdir [1].

1.3.1 Yük akışı çözümü için Newton-Raphson (NR) algoritması

Bir güç sistemi yük akışı çözümü aşağıdaki doğrusal olmayan cebirsel eşitlikleri sağlamalıdır.

$$\vec{f}_{P_i}(V, \delta) = P_{i(bilinen)} - \vec{P}_i = \Delta\vec{P}_i = 0 \quad (1.11)$$

$$\vec{f}_{Q_i}(V, \delta) = Q_{i(bilinen)} - \vec{Q}_i = \Delta\vec{Q}_i = 0 \quad (1.12)$$

\vec{P}_i ve \vec{Q}_i için (1.9) ve (1.10) eşitlikleri yerleştirilirse

$$\Delta\vec{P}_i = P_{i(bilinen)} - \sum_{j=1}^n |\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \cos(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i) \quad (1.13)$$

$$\Delta\vec{Q}_i = Q_{i(bilinen)} - \sum_{j=1}^n |\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \sin(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i) \quad (1.14)$$

olur. Bilinmeyenler ise

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|\vec{V}| \end{bmatrix}$$

dir. $(r+1)$. yineleme için

$$\begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|\vec{V}| \end{bmatrix}^{(r+1)} = \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|\vec{V}| \end{bmatrix}^{(r)} - [J^{(r)}]^{-1} \begin{bmatrix} \Delta\vec{P}^{(r)} \\ \Delta\vec{Q}^{(r)} \end{bmatrix} \quad (1.15)$$

$$J = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (1.16)$$

olarak yazılır. Yinelemeler önceden belirlenen tolerans (ϵ) değeriyle arzu edilen doğruluk sağlanıncaya kadar sürdürülür.

Salınım barasında (bara numarası 1) P_1 ve Q_1 belirlenmemiş ve, V_1 ve δ_1 sabit tutulduğu için (1.15) eşitliğinde bu bara için eşitlik olmaz, böylece salınım barası jakobyen matrise girmez. PV baraları durumunda; eğer i barası bir PV barası ise Q_i belirlenmemiştir. Bu yüzden ΔQ_i eşitliği bulunmaz, yalnızca ΔP_i için eşitlik yazabiliriz. Jakobyen matris elemanları;

$$J_1(i, i) = \frac{\partial f_{\vec{P}_i}}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1, j \neq i}^N |\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (1.17)$$

$$J_1(i, j) = \frac{\partial f_{\vec{P}_i}}{\partial \delta_j} = -|\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}), j \neq i \quad (1.18)$$

$$J_2(i, i) = \frac{\partial f_{\vec{P}_i}}{\partial |\vec{V}_i|} = - \sum_{j=1, j \neq i}^N |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) - 2|\vec{V}_i| |\vec{Y}_{ii}| \cos(-\theta_{ij}) \quad (1.19)$$

$$J_2(i, j) = \frac{\partial f_{\vec{P}_i}}{\partial |\vec{V}_j|} = -|\vec{V}_i| |\vec{Y}_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}), j \neq i \quad (1.20)$$

$$J_3(i, i) = \frac{\partial f_{\vec{Q}_i}}{\partial \delta_i} = - \sum_{j=1, j \neq i}^N |\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) \quad (1.21)$$

$$J_3(i, j) = \frac{\partial f_{\vec{Q}_i}}{\partial \delta_j} = |\vec{V}_i| |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \cos(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}), j \neq i \quad (1.22)$$

$$J_4(i, i) = \frac{\partial f_{\vec{Q}_i}}{\partial |\vec{V}_i|} = - \sum_{j=1, j \neq i}^N |\vec{V}_j| |\vec{Y}_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}) - 2|\vec{V}_i| |\vec{Y}_{ii}| \sin(-\theta_{ij}) \quad (1.23)$$

$$J_4(i, j) = \frac{\partial f_{\vec{Q}_i}}{\partial |\vec{V}_j|} = -|\vec{V}_i| |\vec{Y}_{ij}| \sin(\delta_i - \delta_j - \theta_{ij}), j \neq i \quad (1.24)$$

Newton-Raphson yöntemine ait algoritma aşağıda Algoritma 1'de verilmiştir.

Algoritma 1 $f(x) = 0$ denkleminin çözümü için Newton-Raphson Algoritması.

- 1: x^0 başlangıç değerlerini seç,
 - 2: **while** ((maximum_yineleme < M) ve $f(x^k) > \varepsilon$)) **do**
 - 3: Jakobyen matrisinin değerini hesapla, $J(x^k)$
 - 4: $[J(x^k)]\Delta x^k = -f(x^k)$ doğrusal denklem takımını çöz,
 - 5: $x^{k+1} = x^k + \Delta x^k$,
 - 6: $k \leftarrow k+1$,
 - 7: $x^k = x^{k+1}$
 - 8: **end while**
-

1.3.2 Ayırık (decoupled) yük akışı

Enerji iletim sistemlerinde normal süreklihal çalışma koşulları altında, aktif güç (P) ile gerilimin açısı (δ) arasında ve reaktif güç (Q) ile gerilimin genliği ($|V|$) arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Buna karşılık ($P - V$) ve ($Q - \delta$) çiftleri arasındaki ilişki ise çok daha zayıftır. Bu özellikten yararlanarak Jakobyen matrisin, J_2 ve J_3 alt matrisleri ihmal edilebilir. Böylece

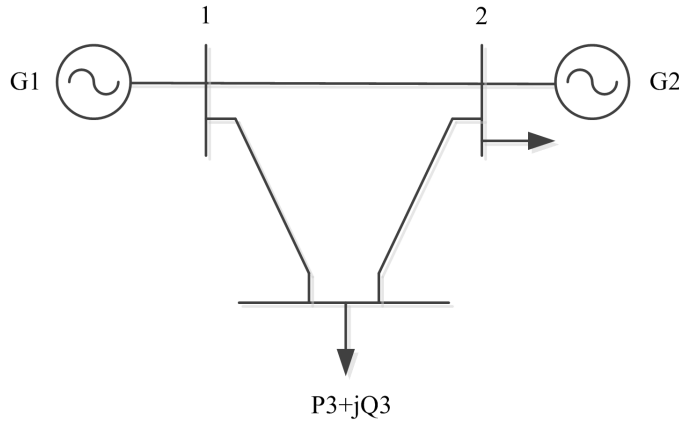
$$\begin{bmatrix} \Delta \vec{P} \\ \Delta \vec{Q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \\ & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |\vec{V}| \end{bmatrix} \quad (1.25)$$

olur. Bu kabul yük akışı çözümünde bellekten tasarruf sağlar ve çözümü hızlandırır.

Yük akış denklemlerine detaylı bir göz atabilmek için örnek olarak Şekil 1.3'te iki generatör ve bir yükten oluşan üç baralı bir güç sistemi gösterilmiştir. Bu sistemde 1 nolu barayı salınım (referans) barası olarak seçilirse, 2 nolu bara PV generatör barası, 3 nolu bara ise PQ, yani yük barası adını alır (Bknz Tablo 1.2). Burada bara başına iki değişken söz konusudur. Daha doğrusu her bir bara için bir aktif güç (P) bir de reaktif güç (Q) denklemi yazılabildiği için toplam bilinmeyen değişken sayısı bara adedinin iki katı kadardır. Fakat, bir bara referans seçildiğinden ve generatör baralarındaki gerilim genlikleri bilindiğinden üretim baraları için sadece faz açıları, yük baraları için ise gerilim genlikleri ve faz açıları bilinmeyen olarak göz önüne alınır. Şekil 1.3'teki devre için bilinmeyenler; 2 nolu baraya ait gerilimin açısı, 3 nolu baraya ait gerilim genliği ve açısı olduğundan, yük akış denklemlerini yazmak için üç adet denkleme ihtiyaç vardır. Açı bilinmeyeni için aktif güç denklemi ve gerilim genliği için ise reaktif güç denklemi yazılır. Her bir barada sisteme enjekte edilen aktif güç o baraya bağlı üretim ve o barada tüketilen yerel gücün farkı, yani, $P_i = P_G - P_L$ şeklinde ifade edilir ve bilinen bir büyüklüktür.

Çizelge 1.2: Üç baralı bir sistem için bara tipleri ve bu tiplere göre değişkenlerin durumu.

Bara Tipi	Açıklama	Bilinen	Bilinmeyen
Salınım (referans)	Generatör	$ V_1 = 1.0, \delta_1 = 0.0$	P_1, Q_1
PV	Generatör	$P_2, V_2 $	Q_2, δ_2
PQ	Yük	P_3, Q_3	$ V_3 , \delta_3$



Şekil 1.3: Üç baralı bir sistem.

Benzer şekilde reaktif güç $\vec{Q}_i = \vec{Q}_G - \vec{Q}_L$ şeklinde ifade edilir. Bu güçler aynı zamanda sistemin bilinmeyenleri olarak ifade edilip sistemde her bir bara için tek tek aynı baraya ait her iki denklemin birbirine eşit olduğu durumda denge oluşur ve sistem kararlı olarak işler.

$$\vec{P}_2 = |\vec{V}_2||\vec{V}_1|(b_{21} \sin \theta_{21} + g_{21} \cos \theta_{21}) + g_{22}|\vec{V}_2|^2 + |\vec{V}_2||\vec{V}_3|(b_{23} \sin \theta_{23} + g_{23} \cos \theta_{23}) \quad (1.26)$$

$$\vec{P}_3 = |\vec{V}_3||\vec{V}_1|(b_{31} \sin \theta_{31} + g_{31} \cos \theta_{31}) + |\vec{V}_3||\vec{V}_2|(b_{32} \sin \theta_{32} + g_{32} \cos \theta_{32}) + g_{33}|\vec{V}_3|^2 \quad (1.27)$$

$$\vec{Q}_3 = |\vec{V}_3||\vec{V}_1|(-b_{31} \cos \theta_{31} + g_{31} \sin \theta_{31}) + |\vec{V}_3||\vec{V}_2|(-b_{32} \cos \theta_{32} + g_{32} \sin \theta_{32}) - b_{33}|\vec{V}_3|^2 \quad (1.28)$$

Sistemdeki tüm güç kayıplarının ise salınım (referans) barası tarafından sağlandığı varsayımı yapıldığından kayıplar, tüm bilinmeyenler hesaplandıktan sonra bu bilinmeyenler yardımı ile rahatlıkla hesaplanır. Yukarıdaki (1.26)-(1.28) denklemlerini vektör cinsinden ifade edelim [1, 4].

$$f(\vec{x}) = \begin{bmatrix} \vec{P}_2(x) - P_2 \\ \vec{P}_3(x) - P_3 \\ \vec{Q}_3(x) - Q_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \vec{P}_2 \\ \Delta \vec{P}_3 \\ \Delta \vec{Q}_3 \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} |\vec{V}_2||\vec{V}_1|(b_{21} \sin \theta_{21} + g_{21} \cos \theta_{21}) + g_{22}|\vec{V}_2|^2 + |\vec{V}_2||\vec{V}_3|(b_{23} \sin \theta_{23} + g_{23} \cos \theta_{23}) - P_2 \\ |\vec{V}_3||\vec{V}_1|(b_{31} \sin \theta_{31} + g_{31} \cos \theta_{31}) + |\vec{V}_3||\vec{V}_2|(b_{32} \sin \theta_{32} + g_{32} \cos \theta_{32}) + g_{33}|\vec{V}_3|^2 - \vec{P}_3 \\ |\vec{V}_3||\vec{V}_1|(-b_{31} \cos \theta_{31} + g_{31} \sin \theta_{31}) + |\vec{V}_3||\vec{V}_2|(-b_{32} \cos \theta_{32} + g_{32} \sin \theta_{32}) - b_{33}|\vec{V}_3|^2 - \vec{Q}_3 \end{bmatrix} \quad (1.29)$$

Yukarıdaki ifadede x bilinmeyenleri içeren bir vektör, $f(x)$ ise vektörel bir fonksiyondur. $f(\vec{x}) = 0$ ifadesini klasik Newton-Raphson yöntemi ile çözmek için başlangıç koşulu olarak \vec{x} ifadesinde,

$$x = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \\ |\vec{V}_3| \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1.30)$$

faz açılarına sıfır, gerilim genliklerine ise bir (1.0) başlangıç değeri verilir. Çözüm sonunda beklenen ve kabul edilen değerlerde gerilim genliklerin 1 birim, açıların ise 0 birim civarında olmasıdır. Newton-Raphson yöntemi ile çözüm yapılırken $f(x) = 0$

ifadesine ait Jakobyen matris $J(x)$, $f(x)$ fonksiyonunun kısmi türevi olarak tanımlanır. Yani,

$$f(\vec{x}) = \begin{bmatrix} \Delta\vec{P}_2 \\ \Delta\vec{P}_3 \\ \Delta\vec{Q}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta\vec{P} \\ \Delta\vec{Q} \end{bmatrix}, \quad J(x) = \frac{\partial f(\vec{x})}{\partial \vec{x}} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Delta\vec{P}}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta\vec{P}}{\partial |\vec{V}|} \\ \frac{\partial \Delta\vec{Q}}{\partial \theta} & \frac{\partial \Delta\vec{Q}}{\partial |\vec{V}|} \end{bmatrix}$$

Bu ifadelerde

$$\Delta\vec{P} = \begin{bmatrix} \Delta\vec{P}_2 \\ \Delta\vec{P}_3 \end{bmatrix}, \quad \Delta\vec{Q} = \begin{bmatrix} \Delta\vec{Q}_3 \end{bmatrix}, \quad |\vec{V}| = \begin{bmatrix} |\vec{V}_3| \end{bmatrix}, \quad \text{ve } \theta = \begin{bmatrix} \theta_2 \\ \theta_3 \end{bmatrix}$$

şeklinde tanımlanmıştır. Jakobyen matriste köşegen dışı terimler köşegen terimlere oranla daha küçüktür. Yani, aktif güçlerin gerilim genliklerindeki değişikliklere bağımlılığı, açılara olan bağımlılığından daha zayıftır. Benzer şekilde, reaktif güçlerin açılara olan bağımlılığı gerilim genliklerine bağımlılığına göre daha zayıftır. Bu nedenle köşegen dışı terimler ihmal edilebilir. Bu durum ayırık yük akışı (decoupled load flow) olarak adlandırılır [4].

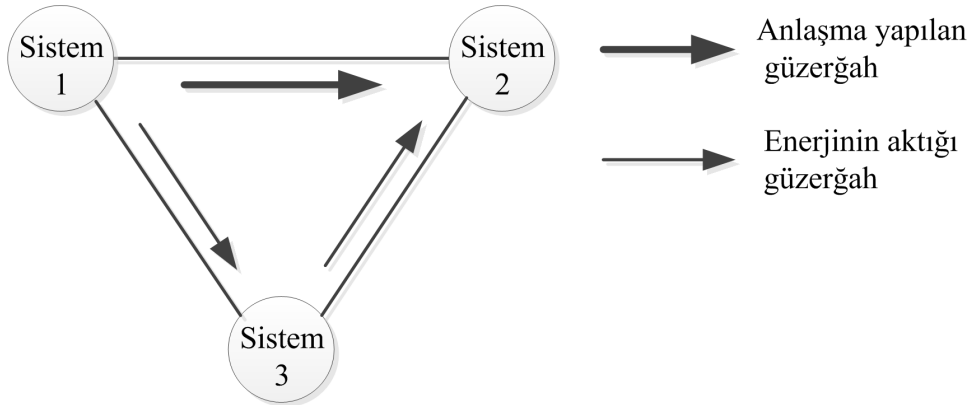
1.4 Güç Sistemleri İşletiminde Denetimsiz Yapıya Geçişin Getirdikleri

Seksenli yıllara kadar tüm dünyada elektrik enerjisi sistemlerinin tamamı yani; üretim, iletim ve dağıtım devletlerin kontrolünde idi. Bunun başlıca nedeni çok büyük yatırım ve işletme maliyetlerinin olması idi. Kalitenin ve ekonomik ücretlerin ancak rekabet ortamlarında oluşacağına inanılan kapitalist ekonomilerde özellikle hava yolu işletmeciliğinde tekel sisteminin kaldırılıp serbest piyasa koşullarına geçilmesi ile ulaşım maliyetlerindeki ciddi düşüş ve yaygın ekonomik servislerin gelmesi ile benzer bir başarının elektrik sektöründe de oluşacağına olan inançla elektrik güç sistemlerinde de özelleştirme furyası başladı. İngiltere, İzlanda ve ABD bu işin öncülüğünü yaparak sistemlerinin neredeyse tamamını özelleştirerek sektörü özel teşebüse bıraktı. Daha doğrusu, üretim, iletim ve dağıtım farklı firmalara satılarak başka türlü bir tekelin oluşması da engellenmeye çalışıldı. Devlet kendisi yada kurduğu düzenleyici otoriteler aracılığı ile sektörde yalnızca kontrolör olarak görev üstlendi [5–7].

Devlet tarafından işletilen sistemlerde güç kayıplarının yüksekliği, verimin düşüklüğü, veya enerjinin çok uzun yollardan (iletim hatlarında dolaşarak) tüketim noktalarına varması pek sorun değildi çünkü sorgulayan bir birimde yoktu. Maliyetlerin artması

doğrudan olarak tüketiciye yansıtıldığından, yada maliyetlerin bir kısmının devlet tarafından karşılanması nedeni ile enterkonnette sistemlerin doğasında var olan kapalı çevrimler içinde dolaşan enerji (yada bu dolaşım sonucu hatlarda oluşan ısı kayıpları) pek sorun olarak görülmedi. Özelleştirme sonucunda; hangi miktarlarda enerjinin hangi iletim hatlarında iletildiği, hangi firmanın hangi iletim hattını ne kadar ve hangi saatlerde kullandığı, sistem hatlarının doluluğu nedeni ile eğer sistem bir arıza durumuna geçerse bundan kimin sorumlu olduğu konuları çok önem kazanmaya başladı [8].

Elektrik enerjisinin izleyeceği yol fizik kurallarına göre yani, Kirchhoff'un akım yasası ve Ohm yasasına göre belirlenir. Enerji akışı kontrat yapılan güzergah yerine empedansı en düşük olan hattı seçer. Bu durumda enerjiyi alan ile satan arasında üçüncü birinin girmesi sonucunu doğurur. Enerji akışının böyle olması sonucu bazı işletim problemlerini ortaya çıkardı. Şöyle ki, enerji alış-veriş planında sınırlamalar, iletim kapasitesinde değişimler, hatların aşırı yüklenmesi, güvenlik ve güvenilirlik konuları ve enerjinin serbest piyasada fiyatlandırılması komplikasyonları bu problemler arasında sayılabilir. Örneğin, enerjiyi satın alan ile onu satan arasında üçüncü bir kurumun (sistemi kullanılan taraf) girmesi sonucu, üçüncü kurumun sisteminin kullanım bedelinin kimler tarafından karşılanacağı bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır.

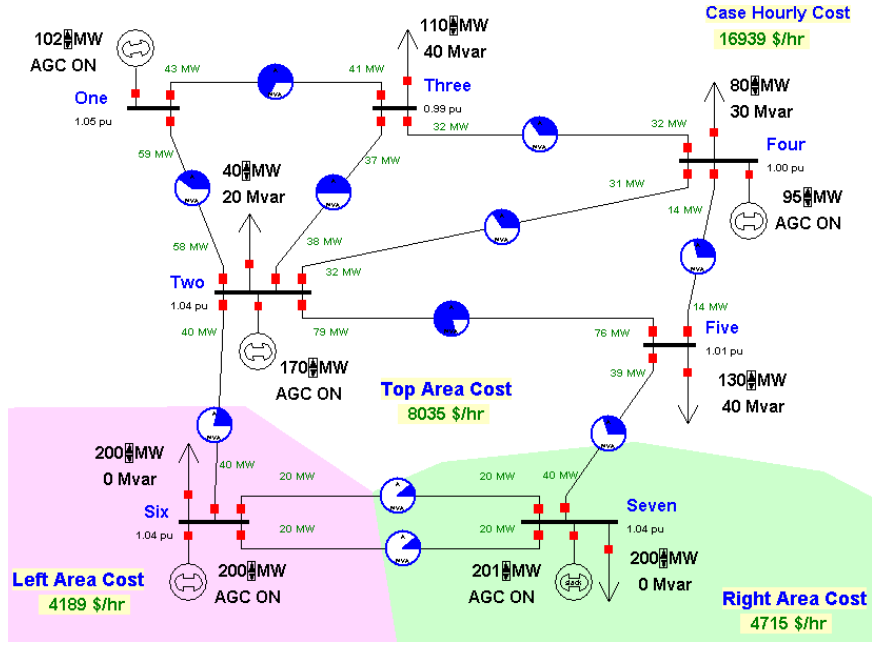


Şekil 1.4: Kapalı çevrim güç akışı.

Kapalı çevrim akış olayını Şekil 1.4 yardımcı ve referans [9] ile açıklamaya çalışalım. Şekilde 1 ve 2'nolu sistemler arasında enerji-alış verişi anlaşması yapılmış olmasına karşın, enerji anlaşmada yer almayan 3'nolu sistem üzerinden akarak, farklı iletim

hatlarını işgal etmektedir. İşgal edilen (kullanılan) bu hatlarda oluşan enerji kayıplarının nasıl ücretlendirileceği ve kime faturalandırılacağı, sistemde hatların dolu olması durumunda tıkanıklığa (bunun sonucunda sistemin bir kısmı, bazen tamamı devre dışı kalabilir) sebep olunmasından kimlerin ne derecede sorumlu olduğu gibi konular çok önem kazanmıştır ve halen aktif bir araştırma alanıdır.

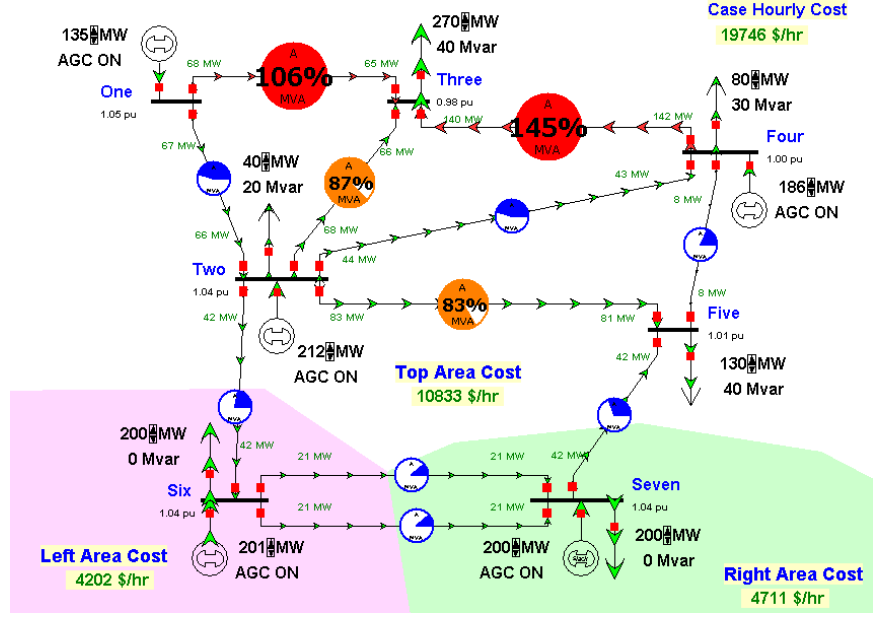
Bir güç sisteminde zaman içinde talep artışının sistem üzerinde yaratacağı etki bir örnek ile daha iyi açıklanabilir [10]. Bunun için POWERWORLD [11] güç sistem analizi yazılımı ve bu yazılım ile gelen 7-baralı sistem kullanılacaktır. Şekil 1.5’de ele alınan 7-baralı güç sisteminin normal işletme durumu gösterilmektedir.



Şekil 1.5: İşletim maliyetleri ve doluluk oranları gösterilen 7-baralı güç sistemi [12].

Sistemde güç talebi arttıkça hatların doluluk oranı gittikçe artmaktadır. Bu artış aynı zamanda ücretleri de arttırmaktadır. Üç numaralı baradaki yük artışı hızla hatların doluluk oranlarının yükselmesine ve ücretlerin artmasına neden olmaktadır.

Bu durum Şekil 1.6’da açıkça görülmektedir. Yük artış talebi, 1. bölgede (üst bölge) olduğundan buradaki hatların doluluk oranları hızla artmakta ve bunun sonucu olarak ücretlerde hızlı bir şekilde artmaktadır [13]. Diğer bölgede (2. bölge) (alt-sol ve alt-sağ) ise ücretler çok az bir artış göstermektedir. Örneğin, 4’üncü barada saatlik ücret 16939 USD’den 19746 USD’ye çıkarken 3 ve 4’üncü baralar arasındaki iletim hattının doluluk oranı normal sınırları aşarak %147’ye ulaşmaktadır. Anlık müsadere



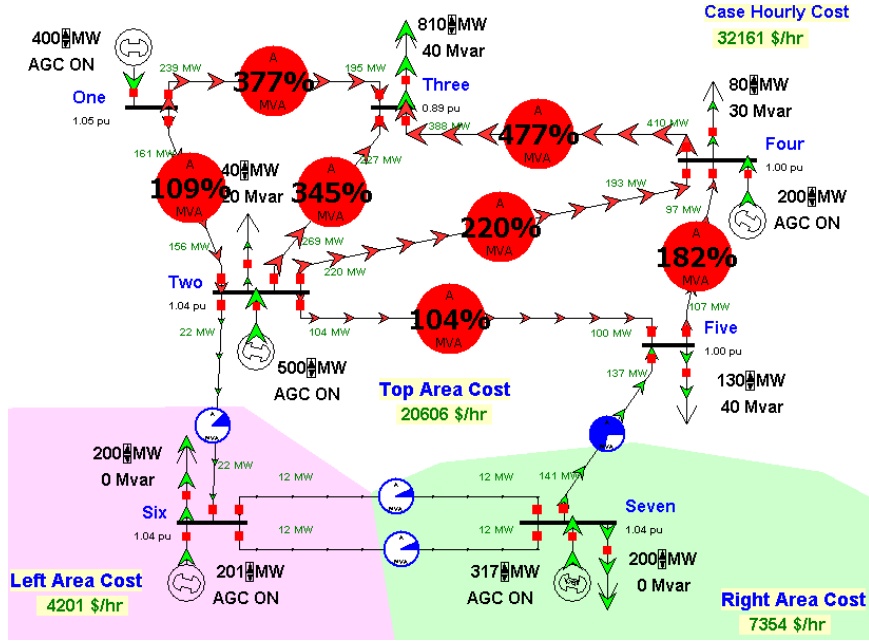
Şekil 1.6: Üç numaralı baradaki yük artışı ve etkileri [12].

edilen bu artışlar yük arttıkça devam etmektedir. Yük miktarı (talep edilen güç) örneğin 3'nolu barada 810 MW'a ulaştığında iletim limitini aşan hat sayısında Şekil 1.7'de gösterildiği gibi yediye çıkmaktadır. Yük artışının devam etmesi durumunda, yedi adet iletim hattında aşırı yüklenme durumu başlamış enerji fiyatları 32.000 USD'ın üstüne çıkmıştır. Şekil 1.8'de görüldüğü gibi talep edilen güç daha da arttığında hatlar güç iletim sınırlarını aşmış olacağından sistem tamamıyla çökme durumuna gitmektedir. Artık enerji alış-verişi olamayacaktır ve günlük yaşam; ulaşım, üretim, ısınma/iklimlendirme vs. olmaması nedeni ile de hayat felç olacaktır. Bu sistemin beslediği bölge için ciddi şekilde maddi kayıp getirecektir [14].

Yukarıda verilen örnekten de görüldüğü gibi sistem işletimi sırasında meydana gelen değişikliklerin (yük artışı, arıza sonucu üretimin veya hattın devre dışı kalması gibi) sistemi bir çöküntüye götürmesine engel olmak için sistemdeki kontrol elemanlarının uygun ayarlamaları ile güvenilir çalışma koşullarının sağlanması önemlidir.

1.5 Tez Çalışmasının Amaç ve Hedefi

Bu çalışmada amaç, elektrik güç sistemlerinde tekelleşmiş yapının ortadan kaldırılarak serbest piyasa koşullarında işletimi nedeniyle çok önemli bir problem haline gelen çevresel (kapalı çevrim) güç akışlarının engellenmesi/düzenlenmesi için yöntem

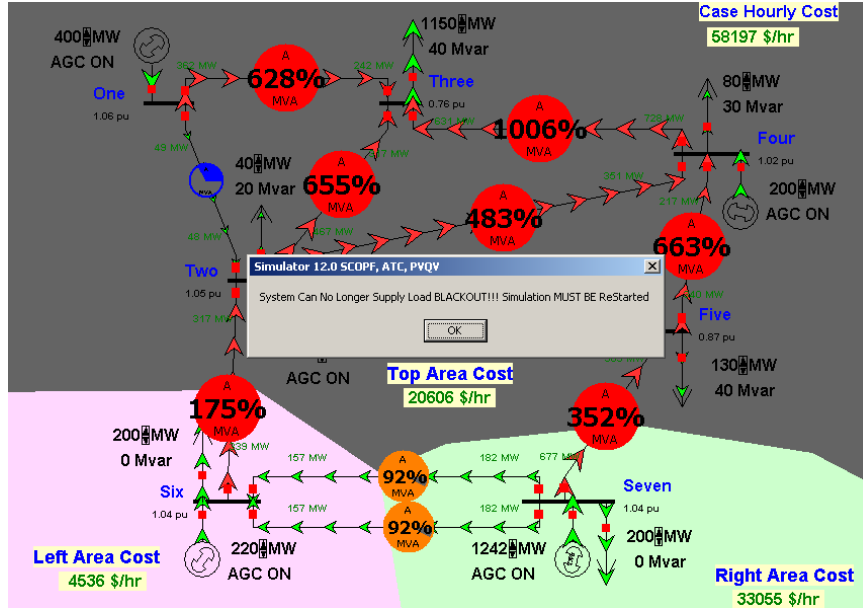


Şekil 1.7: Yük artışının devam etmesi durumu [12].

geliştirmektedir. Problem çok-amaçlı ve çok-kısıtlı bir eniyileme problemi oluşturularak çözülmüştür.

Elektrik güç sistemlerinde pratikte, bazı güç sistem değişkenleri (bara gerilimleri, hat akımları gibi) limit değerlerinde küçük değişikliklere tolerans gösterebilir. Böylece en iyi çözüm bu limitlerin küçük ihlalleri ile elde edilebilir. Ayrıca, bu küçük limit ihlalleri ile daha iyi bir amaç değerine de ulaşılabilir. Güç sisteminde hangi büyüklüklere ilişkin limitlerde ne kadar tolerans gösterilebileceği sistemin işletme koşullarına bağlıdır. Sistem değişkenlerine ilişkin limitlerdeki bu esneklik, son yıllarda bulanık küme teorisi kullanılarak problem çözümlerine yansıtılabilmektedir. Ayrıca işleticilerin deneyimleri ve sistem işletim koşullarındaki memnuniyet beklentisi de bulanık ortamda daha iyi ele alınabilir. Son yıllarda elektrik güç sistemi problemlerine ilişkin incelemelerde, bulanık küme teorisinin çeşitli uygulamaları da gerçekleştirilmektedir.

Güç sistemlerinde eniyileme konusunda yapılan incelemelerde geçmişte doğrusal olmayan ve doğrusal programlamaya dayalı çözüm yöntemlerinin uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Günümüzde ise gelişen hesaplama olanakları ile beraber genetik algoritmalar, evrimsel algoritmalar gibi yeni yöntemlerin uygulamaları araştırmacılar tarafından incelenmektedir. Holland [15] tarafından ortaya konulan ve sonraları Goldberg [16, 17] tarafından geliştirilen Genetik algoritmalar fonksiyon eniyilemesi,



Şekil 1.8: Tüm sistemin çöküşü [12].

sistem tanımlaması ve kontrolü, görüntü işleme, yapay sinir ağ yapısı belirleme gibi çeşitli alanlarda kullanılmaktadırlar. Genetik algoritmaların üstünlüğü, eniyilemesi yapılacak fonksiyona herhangi bir şekil kısıtlaması getirmemeleri ve global arama yapabilmeleridir. Yapısal olarak paralel çalışmaya uygun olduklarından, paralel hesaplama algoritmaları ile uygulandıkları zaman bilgisayar işlem zamanı azalacaktır.

Güç sistemi işletim koşullarının iyileştirilmesi ve çevresel akışların engellenmesini amaçlayan bu çalışmada, problemin bulanık ortamda ele alınan çok-amaçlı bir eniyileme problemi olarak oluşturulması ve geliştirilen yeni nesil güç akışı kontrolörlerini de içerecek şekilde öncelikli olarak genetik algoritmalarından yararlanarak paralel ortamda çözülmesi hedeflenmiştir. Gerçek güç sistemlerinin binlerce düğüm noktasından oluşması ve sistem çözümünün büyük boyutlu matris işlemleri ve yinelemeli çözümleri içermesi nedeniyle problemin paralel ortamda çözülmesi çözüm süresi açısından katkı sağlamaktadır. Sistem işletiminde uygun kararların alınarak uygun manevraların gerçekleştirilmesinde saniyelerin öneminin olması ve sistemde yaşanacak bir aşırı yüklenme (iletim hatlarında tıkanıklık) nedeniyle oluşacak kararlılık sorunları sonucu sistemin çökmesinin (iletim sisteminin devre dışı kalarak tüketicileri besleyememesi) yaratacağı sorunlar nedeniyle uygun çözümlerin en kısa zamanda alınarak işletici tarafından uygulanması oldukça önemlidir. Akışlardaki istenmeyen durumun maliyetler üzerinde yaratacağı etki nedeniyle tüketici üzerinde

oluşacak aşırı maliyetli elektrik tüketiminin yanı sıra oluşacak uzun süreli kesintilerin yaratacağı güvenlik sorunlarının incelenmesi ise amaçlanan uygulamanın bir başka yararlarıdır. Amaçlanan yöntemin uluslararası ortamda kabul edilmiş test sistemleri üzerindeki uygulamaları gerçekleştirilmiştir.

1.6 Literatür Araştırması

Elektrik sistemlerinde 1990'larda başlayan kontrolsüz yapıya geçiş öncesinde, dikey yapılanmaya sahip elektrik kuruluşları tarafından elektrik sistemleri işletilmekteydi. Tek bir kurum (ülkemizde Türkiye Elektrik Kurumu örneğinde olduğu gibi) bulunduğu bölge ya da ülkede yer alan tüm elektrik üretim, iletim ve dağıtımını kontrol etmekte ve bir tekel durumunda idi. Bu kurum üretim, iletim ve dağıtım için tüm planlamaları yapar ve ihtiyaçlara göre üretim biçimlerini oluştururdu. Tüm kararlar bir merkezi planlama ve karar aşaması ile gerçekleştirilirdi. Elektrik sistemlerinde değişim süreci ile beraber devlet tarafından düzenlenmemiş (deregulated) yapının hakim olması ile beraber yatay bir yapılanma ve üretim, iletim ve dağıtım aşamalarında bağımsız şirketler devreye girdi. Sistem üzerinde gerek işletim, gerekse planlama aşamasında kararlar piyasa kuralları içinde rekabet ortamında oluşmaya başladı. Bu durumla beraber çevresel güç akışlarının engellenmesi/düzenlenmesi problemi de çözülmesi gereken bir problem olarak ortaya çıktı. Kurumlar arasında tek bir bağlantı dışında, farklı noktalarda doğrudan veya başka kurumlar üzerinden bağlantıların olması nedeniyle, belirli bir güzergahtan aktarılan elektrik enerjisinin yanı sıra farklı bağlantı yolları üzerinden ters yönlü istenmeyen akışlar oluşmaktadır. Tüm sistemin tek bir kurum tekelinde olması durumunda önemsenmeyecek bu durum, sistemdeki çeşitli kısımların bağımsız ve farklı farklı şirketlerin elinde olması durumu ve piyasa şartları doğrultusunda faturalandırma nedeniyle çözülmesi gereken bir problem olarak ortaya çıkmıştır. Çevresel güç akışlarının engellenmesi/düzenlenmesi problemi son yıllarda önem kazanması nedeniyle çeşitli araştırmacılar tarafından incelenmekte olan güncel bir problemdir. Çeşitli araştırmacılar farklı yaklaşımlar ve kabuller altında probleme yaklaşmışlardır. Çalışmaların bir kısmı çevrimsel güç akışı problemini ortaya koymakta, bir kısmı ise bu akışların kestirimini yapmak için yöntemler önermektedir. Önemli bir bölümü ise çevrimsel akışların önlenmesi/düzenlenmesi

için çeşitli eniyileme teknikleri ve farklı kontrol aygıt ve yöntemlerinin kullanılmasını amaçlamaktadır. Bazı çalışmalar sadece bir kontrol aygıtı ele alırken, bazı çalışmalarda yeni geliştirilen FACTS aygıtları yanı sıra klasik hat anahtarlama dayalı yöntemleri de göz önüne almaktadır. Aşağıda literatür taraması ile amacımız açısından önemli olabilecek çalışmalara yer verilmiştir.

Suryanarayana ve arkadaşları [18–20] enterkonnekte elektrik güç sistemlerinde oluşan, planlanmamış kapalı çevrim akış (loop flow) probleminin önemini vurgulayarak, bu durumun nasıl fiyatlandırılacağı konusuna yardımcı olabilecek bir çalışma yapmışlardır. L_2 norm veya en küçük kareler metoduna dayalı olan L_p tahmin metodu ile kapalı çevrim akışını kestirmeye çalışmışlardır. Oluşturdukları katkı faktörü matrisinden, kapalı çevrim akışı nedeniyle kime ne kadar maliyet olacağı konusunda yararlanmışlardır. Bu çalışmada bulunan katkı faktörü daha sonraki bir çalışmalarında modifiye edilmiştir [21].

Yine Suryanarayana ve arkadaşları [22] enterkonnekte sistemlerde oluşan kapalı çevrim akışını azaltmak için doğrusal durum kestirimi (linear state estimator) ve doğrusal regresyon yöntemini kullanmışlardır. İncelemede kullanılan durum kestirimi modeli, devre gözlerinde sınırlanmış olan küçük çevrimsel akışların kestiriminde kullanılmıştır. Açıklanan durum kestirici modelin yeterliliği ve doğrulaması açısından, residüel analiz ve normal olasılık eğrileri ve benzetim verilerinden yararlanılmıştır. Modellerin pratik amaçlar için geçerli olabileceği belirtilmiştir.

Granelli ve arkadaşları paralel akışların önlenmesi için genetik algoritma tabanlı prosedürlere bağlı bir yöntem tasarlayarak sistem yapısını eniyilemişlerdir [23]. Modelleme sırasında (N) ve (N-1) güvenlik kısıtlaması da göz önünde bulundurulmuştur. Sistem kontrol değişkenleri olarak, devre kesicileri ve bunların yerleri ile faz değiştirme transformatörlerinin açıları kullanılmıştır. Sistemde doğru anahtarlama ile kapalı çevrim akışının kontrol altına alınması ele alınmıştır. Çalışmada amaç güç iletimi dağıtım faktörünün (Power Transfer Distribution Factor, PTDF) belirlenen bir iletim koridorunda, en aza indirilmesidir. Bunun gerçekleştirilmesi sırasında baraların ayrılması, bazı hatların ve transformatörlerin bir baradan diğer baraya aktarılması, bazı hatların açılması gibi sistem yapısındaki değişimlerin yanısıra mevcut faz değiştirme transformatörlerinin yeni değerlerle işletilmesi ile yeni aygıtların yerleştirilmesi de

modellenmiştir. PTDF in, devre kesicilerinin ve faz değiştirme trasformatorlerinin mevcut durum bilgilerine göre analitik olarak ifade edilememesi nedeniyle PTDF in eniyilemesinin standart eniyileme teknikleri ile gerçekleştirilemeyeceği belirtilmiştir.

Zhao ve arkadaşları [24], çevrimsel akışları önlemek ve çevrimsel akış olan bir sistemdeki reaktif gücün fiyatlandırılması için bir yöntem amaçlamışlardır. Çalışmada çevrimsel akışlı sistemlerde çizge (graf) teorisinin uygulanmasına yer verilmiştir. Çizge teori yönteminin tüm var olan gücü sistemleri için uygun olabileceği belirtilmiştir.

Wu ve Wong [25] enterkonnekte sistemlerde çevrimsel akışların önlenmesinde esnek alternatif akım iletim sistemlerinin (Flexible AC Transmission Systems, FACTS) uygulamalarına yer verilmiştir. Kapalı evrim akışının nlenmesinde FACTS cihazları içinde özellikle birleştirilmiş gücü akış kontrolörü (Unified Power Flow Controller, UPFC) ele alınmıştır. Çalışmada, genellikle yüksek gerilim iletim sisteminde oluşan kapalı çevrimlerin, maliyeti düşürmek amacıyla orta gerilim seviyesindeki yerlere aygıtların yerleştirilmesi ile nlenmesine çalışılmıştır.

Siever doktora tezinde [26] elektrik gücü sistemlerinde genel gücü akışı kontrolü üzerinde çalışmalar yapmıştır. Tezde gücü akışı kontrolünde yüksek-hız ve yüksek-gücü yarı iletken teknolojilerinden oluşan UPFC ve FACTS aygıtları üzerinde durulmuştur. Sistemin hem kasıtlı hem de doğal yollardan oluşabilecek hatalarına karşı korunması için yüksek teknolojik kontrolörlerin kullanılması ve daha hızlı çalışan algoritmalar kullanılması tezin temel hedefi olmuştur. Hızlı alışan algoritmalar elde etmek için sembolik azaltım (sembolik hesaplamalarla işlem sayısında azalma olduğundan dolayı) yoluna gidilerek oluşturulan benzetimler ile bir çok değişik alanda kullanılarak problemlerin daha hızlı çözülebileceği savunulmuştur.

Gotham ve Heydt'da [27]'nolu çalışmalarında FACTS aygıtları ile gücü akışı kontrolü ve çevrimsel akışların önlenmesi ve modellenmesi konuları üzerinde durulmuştur. FACTS aygıtlarını genel olarak c grupta ele almışlardır. Birinci grupta, seri olarak aktif ve reaktif gücü kontrolü yapmak için, UPFC ler kullanılmıştır. İkinci grupta, seri olarak aktif gücü konttroll yapmak için, tristör kontrollü seri kontrolör (Thyristor Controlled Series Controller, TCSC) ve faz açısı düzenleyici (Phase Angle Regulator, PAR), kullanılmıştır. cnc grupta da paralel reaktif gücü kontrolü için, SVC

(Static VAR Compensator) ve statik kondensatörler (Static Condenser, STATCON) kullanılmıştır.

İletim hattındaki tıkanıklık problemini ve çevrimsel akış kontrolörleri [28]'nolu çalışmada ele alınmıştır. Çevrimsel akışı düzenlemek için kontrol aygıtları olarak DC-link ve faz öteleyicinin (phase-shifter, UPFC) yanı sıra kesici anahtarlamaları da kullanılmıştır. Kontrol aygıtları, aygıtların bulunduğu her baraya, aygıttan sistem operatorünün uyacağı belli kurallar çerçevesinde ayarlayacağı miktar kadar güç enjekte edilmesi ve bu baraların giriş ve çıkışına aynı miktarda güç eklenmesi ile modellenmiştir. Bu güçler aynı mutlak değere eşit olup zıt işarettedirler. Sistem işleticileri kontrol aygıtlarını ayarlanmasında doğrusal programlama veya kuvadratik programlamaya dayalı eniyileme yöntemini kullanmaktadırlar.

Birden fazla seri FACTS aygıtı ile bulanık mantık temelli güç akışı kontrolü için bir yöntem [29]'nolu referansta verilmiştir. Bu çalışmada geleneksel yaklaşımlar bulanık mantık tekniği ile ele alınarak sistemde birden fazla yerde bulunan ve bir seri FACTS aygıtı olan tristör kontrollü seri kapasitörler (Thyristor Controlled Series Compansator, TCSC) ile aktif güç akışı kontrolü yapılması hedeflenmiştir. Bu çalışmanın devamı sayılabilecek [30]'nolu çalışmada da kontrolör olarak birden fazla seri FACTS aygıtı (TCSC) olması durumu ele alınmış ve koordineli kontrolün nasıl sağlanacağı üzerinde durulmuştur. Önerilen kontrol stratejileri, sezgisel tabanlıdır ve bulanık mantık teknikleri kullanılmıştır. Normal ve (N-1) sürekli hal çalışma durumları da gözönüne alınmıştır.

Benzer şekillerde yine FACTS cihazları ile seri ve şönt kompansatörlerin kullanımları ile grid üzerinde güç akışı kontrolleri [31–33]'nolu çalışmalarda olduğu gibi yapılmaktadır [34].

Güç sistemlerinde akış kontrolünün iyileştirilmesinde FACTS aygıtlarının faydaları üzerine dayalı bir çalışma Kirschner ve arkadaşları tarafından gerçekleştirilmiştir [35].

Abhyankar ve arkadaşları [36] çizge (graf) teori uygulayarak güç akışının izlenmesiyle kapalı çevrim akışının olup olmadığını tespit etmektedirler. Çevrimsel akışı yok etmek için optimal güç akışı (OPF) önerilmekte ve OPF çözümü için de seri kuvadratik programlama (QP) kullanmaktadırlar.

Çevresel güç akışları kapalı bir çevrimde gerilimin faz açısını 2π veya katları kadar öteleyeceği [37]'nolu referansta gösterilmiştir. Devreden çıkan bir hattın tekrar devreye alınması kapalı çevrim akışını düzeltmemesine rağmen, uygun seçilmiş bir veye bir kaç hattın bu hatlar ayrı ayrı sistemleri birbirine bağlayan (tie lines) hatlar olması durumunda, bu hatlardaki seri empedansı artırmak için hatları bir kaç kez açma-kapama (reclosure) ile kapalı çevrim akışlarının önleneceği önerilmiştir. (N-1) güvenilirlik kısıtlamaları dikkate alınarak çalışmalar gerçekleştirilmiştir.

Kapalı çevrim akışlarının sebep olduğu işletme problemleri [38]'nolu referansta bir komite raporu olarak çok detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Bu çalışma da temel olarak, Pennsylvania, New Jersey, Maryland (PJM) enterkonnekte sistem, American Elektrik Power System ile Western Systems Coordinating Council üyeleri arasındaki enterkonnekte sistemler arasındaki kapalı çevrimlerin sebep olduğu problemler çalışılmıştır. İstenmeyen ve de önceden tahmin edilemeyen kapalı çevrim akışlarının gerçek enerji iletimi kapasitelerini düşürmesi, hat limitlerini zorlaması, sistem işletiminde güvenilirliği azaltması gibi sorunların üzerinde tartışılması ve mevcut sistemlerin yapıları ve oluşan işletme problemleri detaylıca belirtilen sistemler üzerinde anlatılmıştır.

Bir önceki referansta [38] belirtilen enterkonnekte sistem ile Kanada, Ontario bölgeleri arasında var olan enterkonnekte sistem de meydana gelen ve bir işletme (operational) problemi olarak üstünde durulan istenmeyen kapalı çevrim akışının sebep olduğu büyük çaplı elektrik kesintisi (blackout) [39] ve [40]'nolu referanslarda anlatılmıştır. Bu elektrik kesintisi Kuzey Amerika tarihinde o ana kadar görülmüş en büyük elektrik kesintisi olmuştur. Yaklaşık 50 milyon insan bu durumdan etkilenmiştir. Bu kesintilerin sebepleri ile bir daha gerçekleşmemesi için öneriler [14] verilmiştir. Konu hakkında çalışmalar [41,42]'nolu referanslarda olduğu gibi sürekli güncellenmektedir.

Ayrı bir referans [43] eylül 2003 de İtalya'daki elektrik kesintisini anlatan bir rapordur. Buradaki sistemde bir enterkonnekte sistemdir. İlgili ülkeler Avusturya, Fransa, İtalya, Slovenya ve İsviçre'dir. Elektrik kesintisine sebebiyet veren olaylar sırası ile şöyledir: İsviçre tarafında bir hatta atlama (flash-over) olması ile elektrik akımında bir kısa devre oluşmuştur. Ardından hattın tekrar kapamasında başarısızlık gerçekleşmiştir. O sırada İtalya tarafından anlaşma dışında 300 MW değerinde fazla güç çekimi oluşmuştur.

Bunun üzerine ilgili sistem operatörünün İtalya ile zamanında irtibata geçmemiş ve İtalya da çektiği fazla gücü azaltmamıştır. Sistemin böyle bir arıza durumunda 15 dakika kadar aşırı yükü karşılayabilmesine rağmen bu süre sonunda İsviçre tarafında ikinci bir hat aşırı yüklenmeden doğan ısınma ile flash-over olayının gerçekleşmesi ile ikinci hat da devre dışı kalmıştır. İsviçre İtalya ile olan bağlantıyı devre dışı bırakmak zorunda kalmıştır. Bu durumda İtalya ihtiyacı kadar gücü temin edememesinden dolayı gerilim seviyesinin toleransların altına inmesiyle hatlar teker teker devre dışı kalarak İtalya'daki gerilim çökmesi (blackout) durumu gerçekleşmiştir. Bu durumdan 10 milyon insan etkilenmiştir. Referans [44] 2003 yılında Kuzey Amerika ve Avrupa'da (Londra, 28 Ağustos, İsveç'in güneyi ve Danimarka, 23 Eylül, İtalya, 28 Eylül) oluşan kesintiler ardından bir durum değerlendirmesi için yapılan seminerdir.

Hem yerel olarak oluşan akış yoğunluğunu hemde enterkonnekte sisteme bağlanan farklı enterkonnekte sistemler arasında oluşan istenmeyen paralel akışları (kapalı çevrim akışları) kontrol etmek [45]'nolu çalışmada verilmiştir. Burada AC iletim hatlarında akış kontrolleri için kullanılan FACTS ve PST cihazlarından yararlanılmıştır. Bunların iki seviyeli hiyerarşik bir biçimde kullanılmaları ile sistem çözümünün eniyilemesi ile bu cihazların en iyi yerleşim yerlerinin bulunması ve kapalı çevrim akışlarının kontrol edilmesi için geniş alan etki faktörü (wide-area impact factor, WF) modeli geliştirilmiştir.

Van Hertem ve arkadaşları [46]'nolu referansta güç akışı kontrol cihazlarının çalışma prensiplerini ve uygulama aralıklarını veren bir çalışma yapmışlardır. Başka bir çalışmaları olan [47]'nolu referansta da akış kontrol aygıtları ile aktif güç akışı analizini yaparken DC güç akışının sağladığı kolaylıklardan yararlanmışlardır. DC güç akışı hesaplarında yapılan kabullerden dolayı sonuçlar AC güç akışında olduğu kadar hassas değildir. Ayrıca PST kullanımında da bir takım hatalar gelecektir. Fakat kontrol edilen açı değeri büyük olduğunda bu yolla yapılan akış kontrolündeki sonuç değerlerdeki hatalarda küçülecektir. DC güç akış kontrolü hesaplarından da AC akış kontrolüne göre yapılan hesaplar arasındaki hata varlığına dikkat edilmesi gerekliliği bir daha vurgulanmıştır.

Referans [48]'de istenmeyen kapalı çevrim güç akışları birden fazla faz açısı kontrolörleri (PST) ile kontrol edilmeye çalışılmıştır. Burada büyük boyutlu olan

optimal yük akışı (OPF) problemi alt gruplara ayrılarak problem daha küçük boyutlu ve de daha basit hale dönüştürülmüştür. İstenmeyen güç akışları harici üreteçlerin bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. İstenmeyen akış söz konusu olduğunda, birden fazla PST nin koordineli bir biçimde çalışması için, gerçek zamanlı olarak bir sistem operatörünün yardımı ile gerekli devreye alma ve çıkarmalarla sorun giderilmeye çalışılmıştır. Bu referansta olduğu gibi [49–52]’nolu referanslarda da PST cihazları ile güç akışı kontrolü üzerinde durulmuştur.

Çevresel güç akışları elektrik güç sistemlerinin enterkonnekte olarak işletilmeye başlanmasından beri var olan bir sorundur. Fakat tüm sistemin tek elden yönetildiğinde sorunun çok üzerine eğilinmemiştir. Çünkü sorunun sebep olduğu maliyetler tek şirket/devlet tarafından karşılanmaktaydı. Yukarıdaki literatür özetinden de anlaşılacağı üzere sistemde tek elden kontrol yapısı kaldırılıp özelleştirme başlayınca sorun önem kazanmaya başlamıştır. Çünkü sebep olunan maliyet kendisine değil bir başka firma veya ülkeye ait olabilmektedir. Ayrıca sistemi kararsızlığa götürebilmektedir [39, 43, 44].

Blickle ve Thiele, genetik algoritmada kullanılan seçim metodlarının birbirleri ile karşılaştırılmalarını yapmışlardır [53]. Seçim metodlarını analiz etmek için birleştirilmiş ve sistematik bir yaklaşım geliştirilmiş, bu yaklaşımlar çeşitli seçim metodlarına uygulanmıştır. Buradaki yaklaşım, aynı araştırmacıların yaptığı başka bir çalışmadan da bahsettikleri gibi bir toplulukta başarımların dağılımına dayalıdır [54]. Araştırmacılar, bu çalışmalarında turnuva seçiminin matematiksel analizini yapmışlar, seçim mekanizması için topluluğun başarımların dağılımı üzerinde çalışan bir model tanımlamışlardır. Çok detaylı bir matematiksel çalışma yapılmıştır. Bu sayede seçim yapıldıktan sonra başarımların değerinin tam olarak tahmin edilmesine olanak yaratılmıştır. Bununla birlikte ilave başka özellikler de turnuva seçimi için geliştirilmiştir. Turnuva seçiminin çeşitli özellikleri için matematiksel formüller geliştirilmiştir. Bunlar; çeşitliliğin kaybetmek (lose of diversity), seçim baskısı (selection pressure, (selection intensity)), seçim dağılımı (selection variance), tekrar üreme hızı (reproduction rate), turnuva seçimi evrelerinin birleştirilmesi (concatenation of tournament selection phases).

Miller ve Goldberg, Genetik Algoritma, Turnuva Seçimi ve Gürültü Etkisi konularını çalışmışlardır [55]. Turnuva seçimi ile seçimin oldukça yararlı ve güvenli bir mekanizma olduğuna değinilmiştir. Turnuva ile seçim işleminde seçim baskısı doğrudan olarak turnuva boyutu ile orantılı olarak değiştiğine değinilmiştir. Verilen turnuva boyutu ile seçimde ortaya çıkan seçim baskısını miktar olarak tahmin etmek için, (based on order statistics) sıralı istatistik tabanlı bir model geliştirmeye çalışmışlardır. Turnuva boyunun büyütülmesi veya küçültülmesi ile turnuva seçimi baskısı da büyümekte veya küçülmekte olduğu sonucuna varmışlardır.

Houck ve çalışma arkadaşları, fonksiyon eniyilemesi için bir genetik algoritma çalışması yaparak onu MATLAB ortamına uyarlamışlardır [56]. MATLAB altında bir GA toolbox oluşturularak bir seri doğrusal olmayan, multi modal, non-convex test problemleri test edilmiştir. Ayrıca elde edilen sonuçlar Simulated Annealing (SA) de kullanılarak karşılaştırma yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar sonucunda gerçek sayılarla çalışılan GA, binary GA ya ve SA ya göre etkinlik ve de sonuçların kalitesi açısından daha üstün olduğu sonucuna varılmıştır. Bir başka sonuçta GA nın SA ya göre daha iyi çözümler üretmesi ve daha az fonksiyon hesaplaması gerektirmesidir [57].

Zhong ve arkadaşları bu çalışmada basit genetik algoritma (SGA) üreme (seçim) operatörlerinden rulet çarkı seçimi ile turnuva seçimi arasında performans karşılaştırmaları yapmışlardır [58]. SGA da temel olarak üç operatörden oluştuğu üreme, çaprazlama ve mutasyon belirtilmiştir. Bunlardan çaprazlama ile mutasyon için yapılan işlemler hep aynı tutularak, yapılan benzetim çalışmalarında bu makalede bahsedilen seçim operatörlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Her bir fonksiyon için değişik ikiyüz sonuç elde edilmiştir. Her bir parametre grubu için SGA bin kez çalıştırılmıştır. SGA yüzüncü iterasyonunda menmuniyet verici sonuçlar üretmiştir. Yapılan test sonuçlarında kullanılan her bir fonksiyon için turnuva ile seçim rulet çarkı ile seçime göre performans açısından daha iyi sonuçlar üretmiştir. Daha hızlı yakınsamıştır.

1.7 Bölüm Sonucu

Literatür araştırmasından da görüldüğü gibi çalışmada ele alınan konu güncel bir araştırma konusu olup aktif olarak halen çok sayıda araştırmacı tarafından

incelenmektedir. Bu çalışmada amaç, çoklu amaçlar ve kısıtlılıklardan oluşan problemimizi bulanık ortamda modelleyip, genetik algoritmalar yöntemi ile eniyileme problemi olarak çözmektir. Çözümler hem seri ortamda hem de paralel ortamda gerçekleştirilerek paralel hesaplamanın problemin çözümü üzerinde getirdiği katkıları da incelenmiştir.

Konu bulanık ortamda çok kısıtlılığı olan bir eniyileme problemi olarak ele alınarak genetik algoritmalar yardımıyla çözüldüğünden ileriki bölümlerde bulanık kümeler, genetik algoritmalar ve paralel hesaplama konusunda temel bilgilere yer verilmiştir.

Bulanık ortamda bir problem ele alındığı vakit üyelik için seçilen formların önemi çok büyüktür. Bu nedenle hangi tür bir üyelik formunun problemimiz için daha uygun olduğu da araştırılmıştır ve sonuçlar sunulmuştur. Benzer şekilde genetik algoritmalarda çarpazlama ve seçim tekniklerinin belirlenmesine ilişkin incelemeler yapılmıştır.

Problem formülasyonunu takiben problem üzerinde en fazla etkili olan sistem parametreleri araştırılmış, devam eden bölümde çok kısıtlılığı olan problem önce seri ortamda çözülerek sonuçlar tartışılmıştır. Problem doğası gereği bir işletme problemi olduğundan gün içerisinde defalarca çözülmektedir. Bu nedenle problemi daha kısa sürede çözebilmenin yollarından biri olan paralel hesaplama teknikleri verilmiş ve problem paralel ortamda çözülerek sonuçlar tartışılmıştır.

2. BULANIK KÜMELER VE BULANIK KARAR VERME

2.1 Giriş

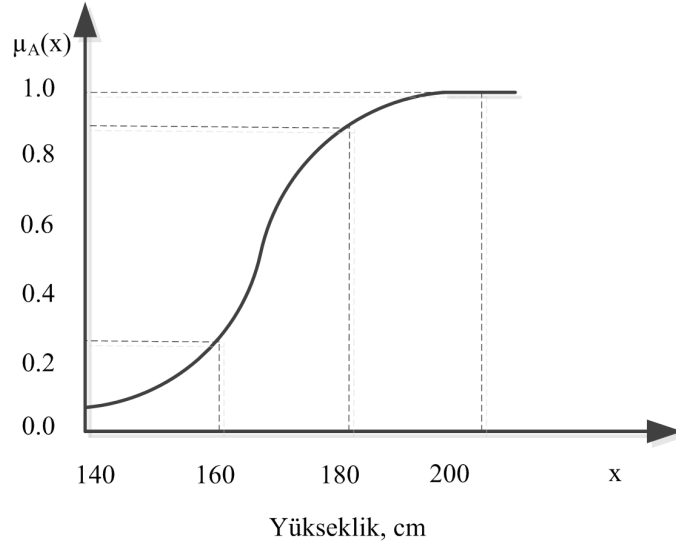
Bulanık kümeler (fuzzy sets) ilk olarak L. A. Zadeh tarafından 1965 yılında ortaya kondu [59]. İlk yıllarda bilim adamları tarafından pek fazla ilgi gösterilmeyen bulanık kümelere olan ilgi sonraki zaman içinde birçok alandaki araştırma ve uygulamalar ile hızla arttı. Uygulama alanlarına örnek olarak planlama, sınıflama, biçimlerin tanınması, hekimlikte teşhis, yaklaşık akıl yürütme, iktisat bilimi vb verilebilir [60].

Klasik (ikili) mantıkta; bir durum doğru veya yanlış olabilir, ikisi arasında olamaz. Küme teorisinde; bir eleman, bir kümenin ya içinde ya da dışında olabilir. Eniyilemede, bir çözüm ya gerçekleştirilmesi mümkün olabilir ya da olmayabilir. Bulanık kümeler kuramı, kümeler kuramı ve klasik mantığı düzenleyen, ait olma ya da olmama, doğru ya da yanlış katı ikilemesinden kurtulmayı sağlar. Bulanık kümelerin önemli bir özelliği de insan düşüncesine uygun olarak belirsizliği nitelendirebilme yeteneğidir. Bu yüzden, insan düşüncesi ile bağlantılı problemlerin çözümünde uygulanabilir [61].

Doğal ifade etme biçiminde sıfatların verdiği anlamda bir belirsizlik vardır. Örneğin uzun kişi dersek, kimin uzun olduğunu veya kimin uzun olmadığını açık olarak belirleyemeyiz. Kelimeler genellikle niteleyicidirler, fakat mühendislikte, değişik şeylerin durumları ve koşullarını ifade eden sıfatlar, çoğu kez miktarlarla bağlantılıdır. Uzun sıfatının anlamındaki belirsizliği, Şekil 1 ile inceleyebiliriz. Burada uzun olarak adlandırılan 140-200 cm arasındaki x yükseklikleri uzun olma bakımından μ

$$0 \leq \mu \leq 1$$

ile derecelendirilmiştir [62–64].



Şekil 2.1: "Uzun" un, miktara göre derecelendirilmesi.

2.2 Bulanık Kümeler

Bir geleneksel (kesin mantık) küme, normal olarak sonlu sayılabilir veya sayılamayan elemanlarının bir toplamı olarak tanımlanır. Her tekil eleman, bir A kümesine ya ait olabilir yada olmayabilir ($A \subseteq X$). İki durum olan " $x \in A$ " ya ait" durumu doğrudur. Oysa sonraki ait olmama durumu yanlıştır.

Bir geleneksel küme farklı yollarla ifade edilebilir, yollardan biri kümeye ait elemanları birer birer listeleterek kümeyi analitik olarak ifade etmektir. Örneğin üyelik için koşullar ifade ederek

$A = \{x | x \leq 5\}$ biçiminde, ya da aşağıdaki gibi karakteristik fonksiyon,

$$K_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$$

kullanarak üye elemanlarını tanımlamaktır. Bu durumda 1 üyeliği ve 0 üye olmamayı gösterir. Bir bulanık küme için; karakteristik fonksiyon, verilen kümenin elemanları için üyeliğin değişik değerlerine izin verir. Başka bir deyişle bir kesin değere sahip değişken fikri ile değişkenin alabileceği mümkün olan her değere ayarlanmış üyeliğin derecesine sahip bir değişken fikrini yer değiştirmektir.

Eğer X , genel olarak x ile belirtilen cisimlerin bir toplamı ise o zaman X 'deki bir bulanık küme \tilde{A} , bir sıralanmış çiftler kümesidir.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\} \quad (2.1)$$

Burada; $\mu_{\tilde{A}}(x)$, x 'e karşı gelen üyelik fonksiyonu değeri veya \tilde{A} da x ' in üyeliğinin derecesi olarak ifade edilebilir.

Literatürde bulanık kümeleri belirtmenin farklı yolları vardır. Bunlardan biri bulanık kümeyi sıralanmış çiftler kümesi ile göstermektir. Bu gösterimde çiftin birinci elemanı, elemanın kendisini ve ikincisi ise üyeliğin derecesini gösterir. Örneğin 10'dan büyük gerçek sayılara ilişkin bulanık küme

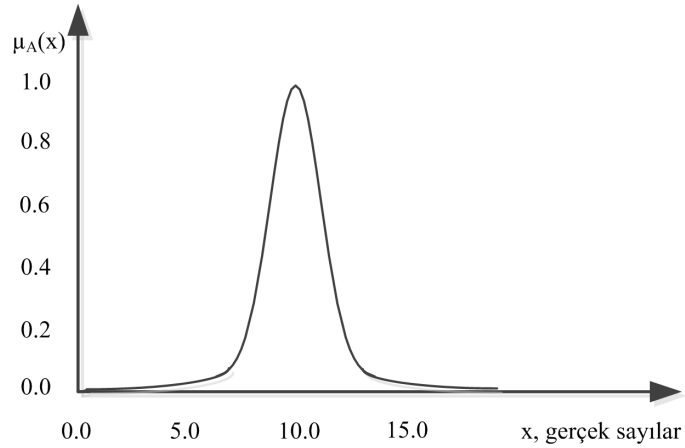
$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | x \in X\}$$

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \\ (1 + (x - 10)^{-2})^{-1}, & x > 10 \end{cases}$$

dir. 10'a yakın gerçek sayılara ilişkin bulanık küme ise

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) | \mu_{\tilde{A}}(x) = (1 + (x - 10)^{-2})^{-1}\}$$

dir. (Bknz Şekil 2.2)



Şekil 2.2: "10' a yakın gerçek sayılar.

Bulanık kümeleri belirtmenin farklı bir yolu da aşağıdaki gösterimdir.

$$\tilde{A} = \mu_{\tilde{A}}(x_1)/x_1 + \mu_{\tilde{A}}(x_2)/x_2 + \dots + \sum_{i=1}^n \mu_{\tilde{A}}(x_i)/x_i \quad (2.2)$$

dir. Bu gösterim biçimi ile 10' a yakın tamsayılar,

$$A = 0.1/7 + 0.5/8 + 0.8/9 + 1/10 + 0.8/11 + 0.5/12 + 0.1/13$$

tür.

2.3 Bulanık Kümeler ile Temel İşlemler

Üyelik fonksiyonu, bulanık küme teorisinin çok önemli bir parçasıdır. Bu yüzden, bulanık kümeler ile işlemlerin tanımlanması üyelik fonksiyonları vasıtasıyla yapılır. Zadeh bulanık küme işlemleri için tanımlar önermiştir [59].

Bulanık kümelerin eşitliği $\tilde{A} = \tilde{B}$,

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \mu_{\tilde{B}}(x) \quad (2.3)$$

Bulanık kümelerin kesişimi $\tilde{C} = \tilde{A} \cap \tilde{B}$

$$\mu_{\tilde{C}}(x) = \min\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}, x \in X \quad (2.4)$$

Bulanık kümelerin birleşimi $\tilde{D} = \tilde{A} \cup \tilde{B}$

$$\mu_{\tilde{D}}(x) = \max\{\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)\}, x \in X \quad (2.5)$$

Bir bulanık kümenin tümleyeni,

$$\mu_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \mu_{\tilde{A}}(x), x \in X \quad (2.6)$$

şeklinde ifade edilir [62, 63].

2.4 Bulanık Karar Verme

Karar verme insan olmanın en temel özelliklerinden biridir. Günlük yaşamda, uygun olabilen alternatiflerle karşılaşılır ve bazı durumlarda en uygun alternatifin hangisi olduğu kararı vermek zorunda kalınır. Karar verme, verilecek kararın daha iyi veya daha başarılı olarak nasıl yapılabileceğinin incelenmesidir. Karar verme, genel olarak alternatiflerin seçimi için tanımlanır. Karar verme işlemi; yatırım, personel hareketleri, yeni ürün geliştirme ve kaynakların uygun yerleştirilmesi gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Elektrik güç sistemlerinin işletim ve planlama safhasında da bir çok durumda karar verme işlemi gerçekleştirilir. Örneğin sistemdeki yüklenme

durumdaki değişimle hangi üretim merkezlerinin ne kadar üretim yapacağı bir karar verme işlemidir. Verilen kararın amaçlar ve kısıtlar doğrultusunda en uygun karar olması için ise eniyileme yöntemlerinin uygulamalarından yararlanılır.

Karar verme alanı içine bulanık kümelerin uygulamaları, karar vermenin klasik teorilerinin bulanıklaştırılmalarını içermektedir. Risk koşulları altında karar verme, olasılıksal karar teorileri ve oyun teorileri ile modellenmekte iken, bulanık karar teorileri; tercihler, kısıtlamalar ve amaçların belirlenmesinde insan yapısından dolayı varolan belirsizlik ve kesinsizliği ele almaya çalışır.

Genel olarak doğal alternatif durumlar kümesini ve karar vericiye uygun olan alternatifler kümesini ele alan klasik karar verme, her bir alternatiften beklenen durum veya sonucu arzu edilirliliklerine göre sıralayan bir fayda veya amaç fonksiyonunu da içerir.

Her bir alternatif için sonuç, kesin olarak belirlenebildiği ve düzenlenebildiği zaman, bir kararın belirlilik koşulları altında yapıldığı söylenir. Bu durumda, en yüksek yararı veren alternatif seçilir. Yani karar verme problemi, bir eniyileme problemi olur. Problem, yarar fonksiyonunun maksimize edilmesidir. Diğer yandan; sonuçlara ilişkin kullanılabilir bilgi, yalnızca her bir alternatif için durumsal olasılık dağılımlarından oluştuğu zaman, risk koşulları altında karar verme yapılır. Bu durumda karar verme problemi, beklenen yararı maksimize eden bir eniyileme problemi olur. Sonuçların olasılıkları bilinmediği veya amaca uygun olmadığı ve her bir alternatif için sonuçlar yalnızca yaklaşık olarak karakterize edildiği zaman, kararlar belirsizlik altında yapılır.

Karar verme problemlerinin çeşitli sınıfları vardır. Bir kritere göre; karar problemleri bir tek karar verici içeren ve birçok karar verici içeren olarak sınıflandırılır. Bu sınıflar sırası ile, "bireysel karar verme" ve "çok-kişili karar verme" olarak belirtilir. Bir başka kritere göre, bir yarar fonksiyonunun basit eniyilemesi, kısıtlamalar altında bir eniyileme veya çoklu-amaç kriteri altında bir eniyileme içeren karar problemlerine ayrılır. Ayrıca, karar verme, bir safhada veya birkaç safhada yinelemeli (iterative) olarak yapılabilir.

Bulanık karar verme üzerine ilk çalışmada; Bellman ve Zadeh (1970) bulanık kümelere göre uygun amaçlar ve kısıtlamaları ifade eden ve bu bulanık kümelerin

uygun bir birleşimi ile kararın belirlendiği, bir bulanık model önermiştir. Bu modelde bir karar durumu, aşağıdaki bileşenler ile karakterize edilir;

- A , mümkün olan alternatiflerin kümesi
- $G_i (i \in N_n)$, A 'da tanımlanan bir bulanık kümeye göre, herbiri ifade edilen amaçlar kümesi
- $C_j (j \in N_m)$, A ' da tanımlanan bir bulanık küme ile herbiri ifade edilen kısıtlamalar kümesi

G'_i ve C'_j , sırasıyla X_i ve Y_j kümelerinde tanımlanan bulanık kümeler olsun, burada $i \in N_n$ ve $j \in N_m$ dir. Bu bulanık kümelerin, karar verici vasıtası ile ifade edilen amaçlar ve kısıtlamaları gösterdiği varsayalım. Böylece, her $i \in N_n$ ve her $j \in N_m$ için,

$$g_i : A \implies X_i$$

$$c_j : A \implies Y_j$$

fonksiyonları ile X_i ve Y_j kümelerine göre A kümesinde eylemlerin anlamı açıklanır. G'_i ile g_i nin bileşimi vasıtasıyla G_i amaçlarını; C_j ile c_j nin bileşimi vasıtasıyla C_j kısıtlamaları ifade edilir. Şöyle ki,

$$G_i(a) = G'_i(g_i(a)) \quad (2.7)$$

$$C_j(a) = C'_j(c_j(a)) \quad (2.8)$$

her $a \in A$ için,

A , $G_i (i \in N_n)$ ve $C_j (j \in N_m)$ bulanık kümeleri ile karakterize edilen bir karar durumu olan bulanık karar D ; verilen G_i amaçlarını ve C_j kısıtlamalarını aynı anda sağlayan bir bulanık küme olarak tasarlanır, tüm $a \in A$ için

$$D(a) = \min \left[\inf_{i \in N_n} G_i(a), \inf_{j \in N_m} C_j(a) \right] \quad (2.9)$$

dir. Burada, standart bulanık kesişim işlemi kullanılır.

Bulanık eniyilemede, bulanık amaç fonksiyon ve kısıtlılıkları üyelik fonksiyonları cinsinden ifade edilebilir. Eniyilemeli çözüm (D bulanık kararı) kısıtlılık ve amaç

fonksiyonlarını tanımlayan bulanık kümelerin kesişimi olarak verilir. Bulanık amaçların üyelik fonksiyonu olan $\mu_g(x)$ ve bulanık kısıtlılıkların üyelik fonksiyonu olan $\mu_c(x)$ kullanılarak, genel fonksiyon üyelik değeri aşağıdaki gibi elde edilir.

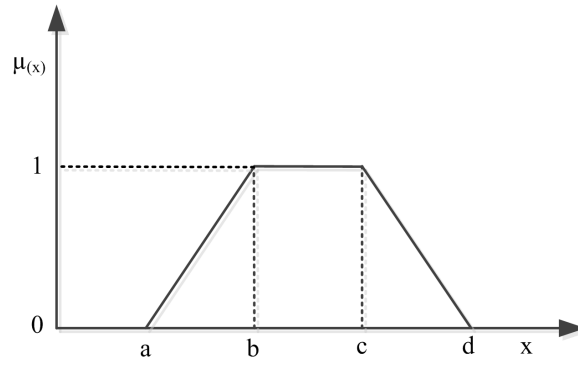
$$\lambda = \min[\mu_g(x), \mu_c(x)] \quad (2.10)$$

Yukarıdaki λ değeri arttıkça memnuniyetin artması ile, en iyilemli çözümde amaç ve kısıtların istenilen değerine daha çok yaklaşmış olunacaktır.

2.5 Üyelik Fonksiyonları Formları

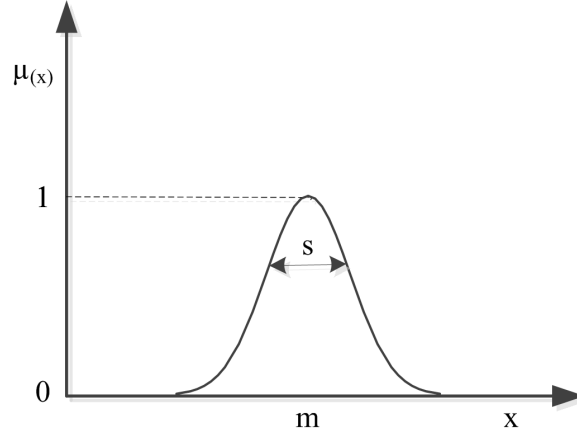
Literatürde en temel olarak kullanılan üyelik fonksiyonları formları şunlardır [65, 66]:

- Trapez (a, b, c, d) olmak üzere dört değerle tanımlanır. (Şekil 2.3)
- Çan eğrisi (Gaussian) $N(m, s)$ olmak üzere iki değerle tanımlanır. (Şekil 2.4)
- Üçgen (triangular) (a, b, b, d) olmak üzere üç değerle tanımlanır. (Şekil 2.5)
- Tek noktalı (singleton) ($a, 1$) ve ($b, 0.5$) olarak tanımlanır. (Şekil 2.6)

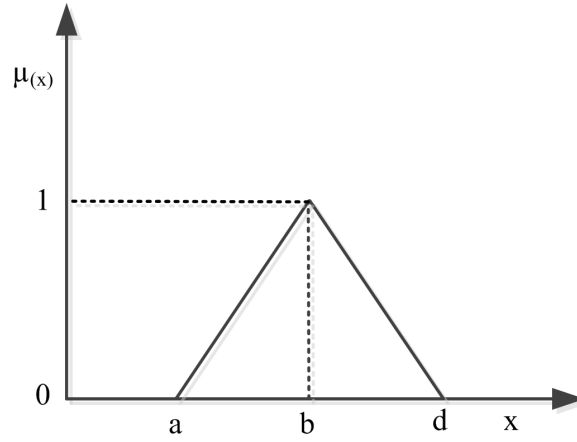


Şekil 2.3: Trapez üyelik formu.

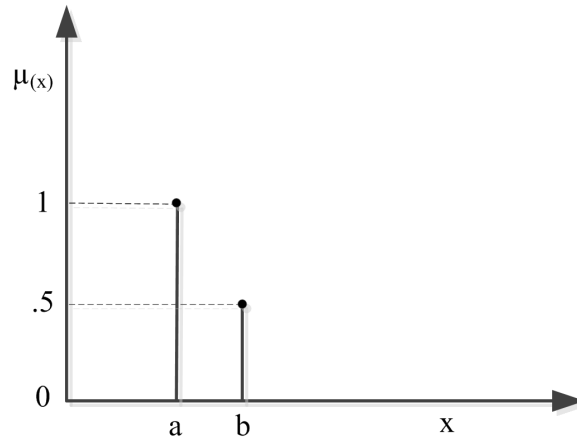
Trapez ve üçgen formlar doğrusal yapılarından dolayı hesaplama açısından kolay formlardır. Eğer problem yapısında daha iyi bir uyum için eğri uydurma gerekirse o zaman bu form iyi uyum sağlamayacaktır. Bu durumda çan eğrisi formunu kullanmak daha uygun olacaktır. Eğer problem yapısı gereği süreksiz alanda tanımlı ise bu durumda tek noktalı form uygun olacaktır. Bu temel formlar kullanılarak problemin gereklerine göre yeni formlar oluşturulabilir. Temel formlar kullanılarak oluşturulan yeni formlardan bazı örnekler Şekil 2.7- Şekil 2.8'de verilmiştir.



Şekil 2.4: Çan eğrisi üyelik formu.

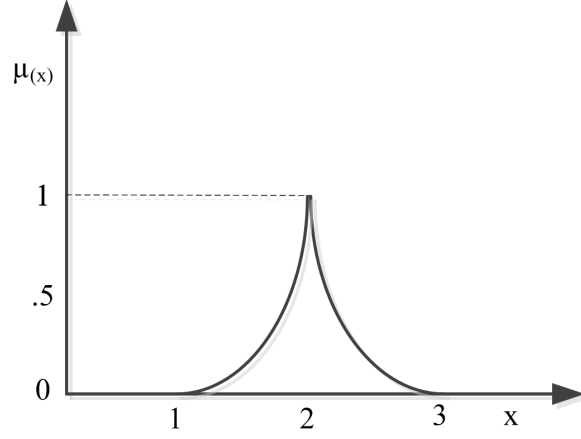


Şekil 2.5: Üçgen üyelik formu.

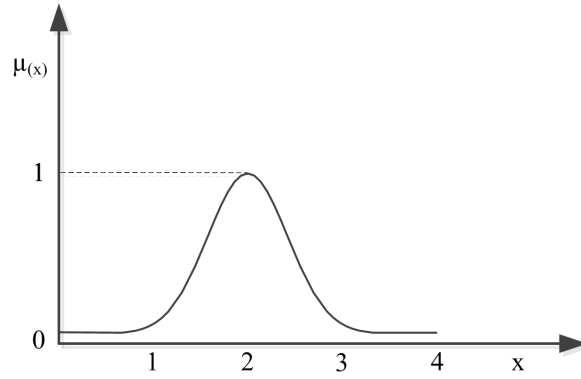


Şekil 2.6: Süreksiz üyelik formu.

Bizim problemimizde üyelik fonksiyonu ile tanımladığımız amaç ve kısıtlar; bara gerilm genlikleri, hatların aktif güç akışları, çevresel akışlar ile aktif ve reaktif güç kayıplarıdır. Üyelik fonksiyonları formları hem probleme göre hem de problemdeki amaç ve kısıtların şartlarına göre değişim gösterir.



Şekil 2.7: Üstel türetilmiş üyelik formu.



Şekil 2.8: Gauss türetilmiş üyelik formu.

Elektrik güç sistemlerinde pratikte, bazı güç sistem değişkenleri (bara gerilimleri, hat akımları gibi) limit değerlerinde küçük değişikliklere tolerans gösterilebilir. Böylece eniyi çözüm bu limitlerin küçük (önemsiz) ihlalleri ile elde edilebilir. Ayrıca, bu küçük limit ihlalleri ile daha iyi bir amaç değerine de ulaşılabilir. Güç sisteminde hangi büyüklüklere ilişkin limitlerde ne kadar tolerans gösterilebileceği, sistemin işletme koşullarına bağlıdır. Sistem değişkenlerine ilişkin limitlerdeki bu esneklik, son yıllarda bulanık küme teorisi kullanılarak problem çözümlerine yansıtılabilmektedir. Ayrıca işleticilerin deneyimleri ve sistem işletim koşullarındaki memnuniyet beklentisi de bulanık ortamda daha iyi ele alınabilir [67–71].

3. GENETİK ALGORİTMALAR

3.1 Giriş

Genetik algoritmalar (GAs), doğal evrimden esinlenen stokastik eniyileme yöntemleridir. Bir çok alanda farklı ve zor problemlerin çözümünde kullanılmakta ve iyi çözümler elde edilmektedir. Genetik algoritmaların parametrelerinde, problemlerin yapılarına göre, çok kolaylıkla değişiklikler yapılarak daha iyi çözümler elde edilebilir [72, 73]. İşlemsel açıdan oldukça basit algoritmalarıdır. Ağır bir matematik gerektirmez. Bir çok stokastik arama metodu bir probleme çözüm ararken tek bir çözüm üzerinde çalışırken genetik algoritmalar çözüm topluluğu üzerinde arama yaparlar. Topluluk içindeki her bir çözüm problem için tam bir çözüm seti oluşturur.

Genel olarak GAs üç temel operatörden oluşurlar. Bunlar;

- seçim,
- çaprazlama,
- mutasyon.

Çaprazlama, iki ebeveyn çözüm setini alarak bunlardan iki yeni çocuk dediğimiz, çözüm setlerini üretir.

Mutasyon operatörü aramaya rastgelelik katarak erken sonlanmayı ve de dolayısıyla yerel minimumlara takılmayı önler. Çaprazlamada temel amaç güncel iterasyondaki çözümlerden aldığı genetik yapıyı bir sonraki iterasyona taşımaktır.

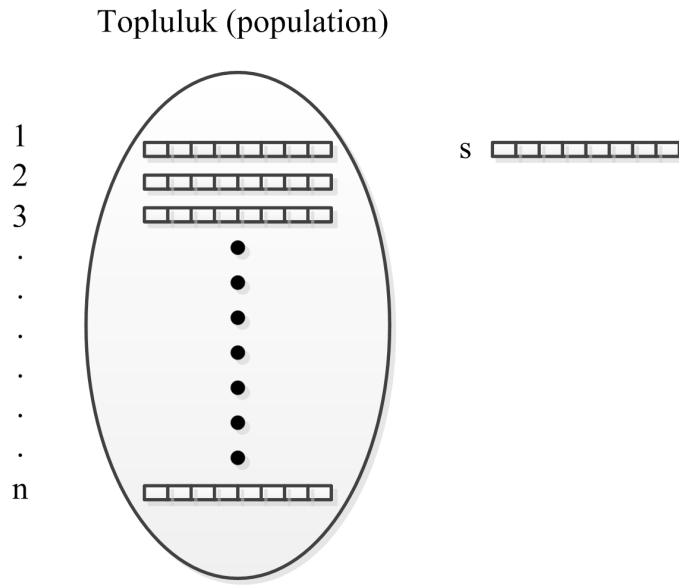
En yaygın iki genetik algoritmalarından biri basit GA (simple GA), diğeri de durağan durum GA'dır (kararlı hal, sabit hal, steady state GA, SGA). Basit algoritmaya yinelemeli (üretimsel) GA'da denir [16, 17]. Bu algortmada her yinelemede topluluk yeni oluşturulan toplulukla değiştirilir. Durağan durum algortmada her yinelemede topluluk içerisindeki sadece bir kaç birey bir sonraki yinelemeye değiştirilmiş olarak girer. Geleneksel eniyileme yöntemlerinin aksine, amaç fonksiyonu yerine başarıım

(fitness) fonksiyonu kullanılır. Türev bilgisi gerektirmez. Yapısı gereği paralel çalıştırılmaya müsaittir. Topluluktaki her bir birey uzunluğu n olan bir karakter katarı (string (s)) olarak ifade edilir. Genetik olarak kodlandığında kromozom'a karşı gelir. Bknz. Şekil 3.1. Kromozom n adet genden oluşur.

Bir çözüm seti veya kromozomu x ile ifade edersek;

$$x = [x_1, x_2, x_3, \dots, x_n] \text{ veya}$$

$$s = [s_1, s_2, s_3, \dots, s_n]$$



Şekil 3.1: Genetik Algoritmada başlangıç topluluğu.

Algoritma 2 Genetik algoritmalar için genel prosedür.

- 1: $t:=0$,
 - 2: başlangıç koşullarını belirle ($P(t)$ topluluğundaki bireyleri rastgele oluştur),
 - 3: oluşturulan her birey için başarımlı fonksiyonu (fitness) hesapla,
 - 4: **while** (sonlandırma koşulu sağlanmadığı sürece) **do**
 - 5: $t:=t+1$,
 - 6: $P(t)$ 'yi $P(t-1)$ den seç,
 - 7: $P(t)$ 'ye çaprazlama uygula,
 - 8: $P(t)$ 'de belirlenen miktarda mutasyon gerçekleştir,
 - 9: $P(t)$ 'deki tüm bireyler için başarımlı hesapla.
 - 10: **end while**
-

Başlangıçta üreme aşamasında her biri arama probleminde bir çözümü gösteren raslantısal başlangıç topluluğu üretilir. Her aday çözüm, başarımlı fonksiyonuna

göre test edilerek, bütün topluluğun başarıml fonksiyon değeri belirlendiğinde, sonuçlandırma kriterinin sağlanıp sağlanmadığına bakılır.

Sonuçlandırma kriteri, sonlu bir nesil sayısına ulaşıldığında, algoritmayı durdurmak ve elde edilen sonucu en uygun sonuç olarak almak veya tüm topluluğun ortalama başarıml değeri en iyi çözümün başarıml değeri belli bir kesri olması gibi birkaç şekilde seçilebilir.

En genel halde sonlandırma kriterlerini aşağıdaki gibi sıralayabiliriz:

- Başlangıçta belirlenen yineleme sayısına ulaşılması
- Minimum kriterleri sağlayacak memnuniyette bir çözüme ulaşılması
- Belirlenen hesaplama zamanı ve maliyetine ulaşılması
- Ulaşılan en iyi çözümden sonra ardışık yinelemelerde daha iyi çözüme ulaşılması (çözümdeki memnuniyetin bir platoya ulaşması)
- Gözle kontrol edilerek durdurulması
- Yukarıdakilerden bir kombinasyon durumunun oluşması.

Eğer durdurma kriteri sağlanmazsa genetik operatörlerle işleme devam edilir. Genetik algoritmalara ait genel bir akış diyagramı, yani algoritması, Algoritma 2’de verilmiştir.

En yaygın seçim metodları;

- Rulet çarkı (roulette wheel),
- Turnuva seçimi (tournament selection),
- Rank tabanlı (rank-based),
- Deterministik örnekleme (deterministic sampling)

şeklinde olup, literatürde bunlardan en çok kullanılanların rulet çarkı ve turnuva seçimi olduğu belirtilmiştir [58]. Ayrıca basit GA için bu iki seçim yönteminin karşılaştırılması yapılmış, turnuva seçim stratejisinin rulete göre daha iyi olduğu sonucuna varılmıştır.

Rulet çarkı ile seçim, orantısal seçim metodu olup rulet çarkının dönüşünden esinlenilir. Rulet çarkı, aday çözümlerinin başarımlar fonksiyonunda aldığı değerle orantılı olarak topluluktaki katar sayısı kadar döndürülür. Bu şekilde, bir önceki neslin en uygun aday çözümlerini yansıtan yeni nesiller oluşturulur.

Turnuva seçimi ile bir bireyin seçilmesi başarımla dayalı bir metottur. Belirli bir grup bireyler arasında en yüksek başarımla değerine sahip birey bir sonraki nesle aktarılır.

Çaprazlama safhasında, topluluktan, raslantısal olarak seçilen iki katar arasında çaprazlama yapılır. Bu iki katar (parent kromozom) yerine oluşturulan yeni iki katar (child (offspring kromozom)) konularak yeni nesil oluşturulur. Çaprazlama arama uzayını genişleten bir mekanizmadır.

En yaygın çaprazlama çeşitleri;

- Bir noktadan (one point crossover),
- İki noktadan (two point crossover),
- Düzgün dağılımlı (uniform crossover)dir.

Algoritmadaki son genetik operatör mutasyondur. Mutasyonun amacı yerel minimumdan kaçmayı sağlamaktır. Mutasyon operatörü gerçek sayılar (Floating-Point) ile mi yoksa ikili sayı sistemi ile mi çalışılıyor ona göre değişim gösterir.

En yaygın mutasyon operatörleri:

- Bit çevirme (flip bit)
Bu tip mutasyon ile seçilen gen 1 ise 0'a 0 ise 1'e çevirilir. Bu mutasyon sadece kontrol değişkenleri ikili sayı sisteminde tanımlanmış ise uygulanabilir.
- Sınırlar (boundary)
Bu tip mutasyonda rastgele seçilen gene, o gene ait alt veya üst sınır değeri eklenir. Bu mutasyon sadece kontrol değişkenleri tam sayı veya gerçek sayılı olarak tanımlanmış ise uygulanır.
- Düzgün olmayan dağılım (non-uniform distribution)
Bu mutasyonda çan eğrisi yani Gauss dağılımı kullanılır. Seçilen gene birim

Gauss dağılımı rastgele değeri ekler. Eğer yeni elde edilen değer o gen için belirlenen alt ve üst sınırları aşarsa gerekli kesme işlemi yapılarak onun için önlem alınır. Bu mutasyon sadece kontrol değişkenleri tam sayı veya gerçek sayılı olarak tanımlanmış ise uygulanır.

- Düzgün dağılım

Tanımlanan alt ve üst limitler arasında düzgün dağılıma göre belirlenen rastgele değer seçilen gene uygulanır. Bu mutasyon sadece kontrol değişkenleri tam sayı veya gerçek sayılı olarak tanımlanmış ise uygulanır.

Mutasyondan sonra bir yineleme işlemi yani yeni nesil tamamlanmıştır ve işlem toplulukta başarımlar fonksiyonu hesaplaması ile devam eder.

4. PROBLEM FORMÜLASYONU ve ÖN HAZIRLIK

4.1 Giriş

Bu çalışmanın birincil amacı kapalı çevrim güç akışlarının engellenmesi/düzenlenmesi için bir yöntem geliştirmektir. Bunun yanı sıra ilave amaçlar:

- Sistem baralarındaki gerilim profilinin bozulmaması ve düzeltilmesi (gerilim genliklerinin arzu edilen değerlerde olması).
- İletim hatlarındaki hem aktif hem de reaktif kayıpların en aza indirilmesi.
- Hatlardaki güç akışlarının iletim hatlarını aşırı derecede yüklemeyecek seviyelerde olması.

Tüm amaçlar bulanık ortamda uygun üyelik fonksiyonları ile ifade edilmiştir. Sistemde yer alan durum ve kontrol değişkenleri üzerindeki kısıtlamalar da aynı şekilde uygun birer üyelik fonksiyonları ile ifade edilmiştir.

Bu çalışmada amaç eniyileme problemi, memnuniyet seviyesini gösteren sisteme ilişkin üyelik fonksiyonunun, en büyük yapılmasıdır. En büyük memnuniyet değerinin elde edileceği sistem çalışma durumunu oluşturacak kontrol değişkenlerinin yeni çalışma değerlerinin bulunmasında yöntem genetik algoritma yardımı ile eniyilemesi yapılmıştır.

4.2 Çalışmanın Kuramsal ve Matematiksel Altyapısı

Problem bir eniyileme problemi olarak;

amaç;

$f(x, u)$ fonksiyonunu eniyile

öyleki,

$$g(x, u) = 0$$

$$h(x, u) \leq 0$$

şeklinde formüle edilir.

Burada;

- x : sistem değişkenlerini,
- u : kontrol değişkenlerini,
- $f(x, u)$: amaç fonksiyonunu,
- $g(x, u) = 0$: eşitlik kısıtlamalarını
- $h(x, u) \leq 0$: eşitsizlik kısıtlamalarını

ifade etmektedir.

Eşitlik kısıtları: Aktif ve reaktif güç fark denklemlerinden oluşan Bölüm 1’de verilen (1.11), (1.12), (1.13) ve (1.14) denklemlerinden oluşmaktadır. Görüldüğü gibi bu denklemler doğrusal olmayan cebirsel denklemlerdir. Bu yüzden bu denklemler yinelemeli sayısal hesaplama yöntemlerinden Newton-Raphson (NR) algoritması kullanılarak çözülmüştür.

Eşitsizlik kısıtları, kontrol değişkenleri için : Güç sisteminde bara gerilimleri, reaktif güç üretimleri, transformatör sargı/gerilim kademe değerleri gibi durum ve kontrol değişkenleri üzerinde de sınırlar vardır. Bu eşitsizlik kısıtlılıklarının bir kısmı esnemez olarak ele alınmakla beraber, uygun olanları üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanık ortamda değerlendirilebilir. Generatör bara gerilim genlikleri, aktif ve reaktif güç üretim değerleri, transformatör sargı/gerilim kademe oranları gibi kontrol değişkenleri üzerindeki limitler aşağıdaki gibi esnemez bir şekilde kesin sınırlar içerisinde ifade edilmiştir.

$$\begin{cases} |V_{G,i}|^{\min} \leq |V_{G,i}| \leq |V_{G,i}|^{\max} \\ P_{G,i}^{\min} \leq P_{G,i} \leq P_{G,i}^{\max} \\ Q_{G,i}^{\min} \leq Q_{G,i} \leq Q_{G,i}^{\max} \\ t_i^{\min} \leq t_i \leq t_i^{\max} \\ X_{C,i}^{\min} \leq X_{C,i} \leq X_{C,i}^{\max} \end{cases} \quad (4.1)$$

Burada;

- $|V_{G,i}|$: i. generatör barasının gerilim genliğini,
 $P_{G,i}$: i. generatörün aktif gücünü,
 $Q_{G,i}$: i. generatörün/şönt kapasitenin reaktif gücünü,
 t_i : i. transformatörün gerilim kademe ayarını,
 $X_{C,i}$: i. iletim hattının seri kapasite reaktansının değerini

ifade etmektedir.

Eşitsizlik kısıtları, güç sistemi durum değişkenleri için. Uygun birer üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanık ortamda değerlendirilmiştir.

$$\begin{cases} |V_i|^{min} \leq |V_i| \leq |V_i|^{max} \\ I_i^{min} \leq I_i \leq I_i^{max} \end{cases} \quad (4.2)$$

Burada;

- $|V_i|$: i. baranın gerilim genliğini,
 I_i : i. iletim hattındaki akımı,
 ifade etmektedir.

Amaçlar ve kısıtlar bulanık kümeler yardımı ile modellenmiştir. Kısıtların üyelik fonksiyonları μ_{c_i} ve amaçların üyelik fonksiyonları μ_{g_i} dir. Bulanık ortamda karar ise,

$$\mu_D = \min[\mu_{c_i}, \mu_{g_i}] \quad (4.3)$$

biçimindedir. Optimal çözüm, karara ilişkin üyeliğin en yüksek derecesine sahip bir çözüm olarak tanımlanır. Böylece optimal karar,

$$\max \mu_D \quad (4.4)$$

olarak elde edilir.

Genetik algoritmalarda bir amaç fonksiyonu belirlenmesi ve bu amaç fonksiyonu ile başarımın minimize edilmesi gerekiyor. Başarım fonksiyonumuz;

$$\text{başarım} = \frac{1}{1 + \mu_D} \quad (4.5)$$

Genetik algoritma ile başarım minimize edilirken bulanık karar vermedeki en düşük menmuniyet değeri μ_D maksimum üyelik değerine yükseltilecektir.

4.3 Bulanık Kümelerin Uygulanması

Bulanık ortamda; amaç fonksiyonu ve kısıtlılıklar üyelik fonksiyonları cinsinden ifade edilir. Amaçların üyelik fonksiyonu olan $\mu_g(x)$ ve kısıtlılıkların üyelik fonksiyonu olan $\mu_c(x)$ kullanılarak, sistemde sistem operatörleri açısından en tatmin edici çalışma koşullarına ulaşmak için analizler yapılır.

Bu çalışmada amaçlar ve kısıtlar da, uygun üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılmıştır. Üyelik fonksiyon değeri ne kadar büyükse çözümdeki memnuniyetlik oranı da o kadar büyük olacaktır. Bu nedenle çalışmanın literatürdeki güç sistemlerinde kullanılan bulanık üyelik fonksiyonlarının formları incelenmiştir. Daha sonra amaç ve kısıtların özelliklerine göre mevcut formlardan uyarlama yapılmıştır.

Benzer şekilde, çalışmanın birincil amacı olan çevrimsel akışların kontrolü açısından en uygun bulanık üyelik fonksiyonu formunun belirlenmesine ilişkin incelemeler de gerçekleştirilmiştir.

4.3.1 Bara gerilimlerinin bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması

Bir elektrik güç iletim sistemi; güç taleplerini, yük bara gerilimleri izin verilebilen limitler içinde kalacak şekilde, kaliteli ve güvenilir bir şekilde sağlamalıdır. Ayrıca; elektrik iletim sisteminin güvenilir ve düşük maliyetli olarak planlanması, işletilmesi ve tüketicilere kaliteli, yeterli ve düşük maliyetli elektrik enerjisi arz edilebilmesi için uygulanacak arz güvenilirliği ve kalitesi koşullarına ilişkin usul ve esasların belirlenmesi olan EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu) Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği'ne göre "İletim sistemi; arıza öncesi planlama gerilim sınırları, normal işletme koşullarında; 380 kV'lik iletim sistemi 340 kV ile 420 kV, 154 kV'lik iletim sistemi ise 140 kV ile 170 kV aralıklarında çalıştırılır. 66 kV ve altındaki iletim sistemi için gerilim değişim aralığı $\pm\%10$ 'dur" denilmektedir. Aynı yönetmelikte iletim sisteminde kullanılan iletkenlerin akım taşıma kapasiteleri de verilmiştir [74].

Bir elektrik güç sisteminde gerilim değerleri; sistemin tasarım ve işletim aşamasında alınan reaktif güç kompanzasyon aygıtlarının uygun yerleşimi ve kontrolü, yük altında

kademe değiştirmeli transformatörlerin kontrolü, kritik durumlarda yük atmanın gerçekleştirilmesi, iletim hatlarının uygun tasarımı gibi önlemlerle daha iyi hale getirilebilir. Literatürde bu kapsamda çeşitli matematiksel eniyileme tekniklerinin uygulamaları bulunmaktadır.

Sistem işletimi açısından arzu edilen çalışma koşulları; sistemdeki bara gerilimlerinin mümkün olduğunca nominal gerilimler civarında olması ve sınırlardan mümkün olduğunca uzakta çalıştırılmasıdır. Gerilimdeki değişimler güç akışını doğrudan etkiler. Bu durum (4.6), ifadesinden de görülebilir.

$$\vec{P}_{ij} = \frac{\vec{V}_i \vec{V}_j}{\vec{X}_{ij}} \sin \theta_{ij} \quad (4.6)$$

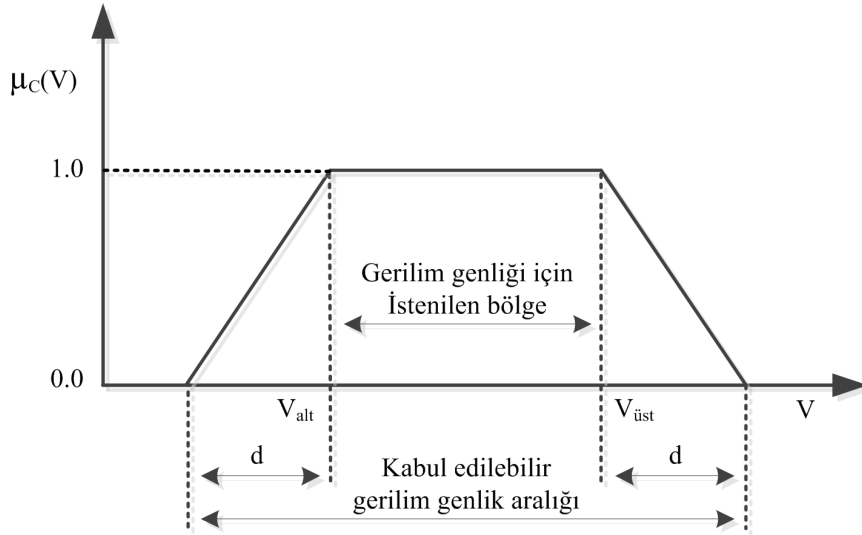
Sistemde genelde birim değerlerle çözümler yapılır. Sistem nominal gerilimi temel alınarak birim değere dönüştürüldüğünde gerilimin 1.0 birim olması arzu edilen değer olacaktır. Bara gerilimleri üzerinde olan kısıtlamalar sistem işleticisinin de tercihleri doğrultusunda sınırlar üzerinde belirli bir esnemeyi yansıtacak şekilde bulanık ortamda ele alınabilir. Bu açıdan bir güç sisteminde yer alan baralara ilişkin gerilim genlikleri, Şekil 4.1'de verilen trapez biçimli üyelik fonksiyonu kullanılarak uygun bir şekilde bulanıklaştırılır. [65, 69, 70]. Şekil. 4.1'de verilen biçimdeki üyelik fonksiyonu için matematiksel ifade;

$$\mu_C(V) = \begin{cases} 0 & V \leq V_{alt} - d \\ \frac{V - (V_{alt} - d)}{d} & V_{alt} - d < V \leq V_{alt} \\ 1 & V_{alt} \leq V \leq V_{üst} \\ 1 - \frac{V - V_{üst}}{d} & V_{üst} \leq V < V_{üst} + d \\ 0 & V \geq V_{üst} + d \end{cases} \quad (4.7)$$

Bu üyelik fonksiyonu V_{alt} , V_{st} ve d olmak üzere üç parametre ile ifade edilir. Burada V_{alt} ve V_{st} sistem gerilim sınırlarıdır, d ise gerilim sınırlarında sistem işleticisinin (operatörünün) tercihi doğrultusunda izin verilebilir esneme olarak kabul edilir.

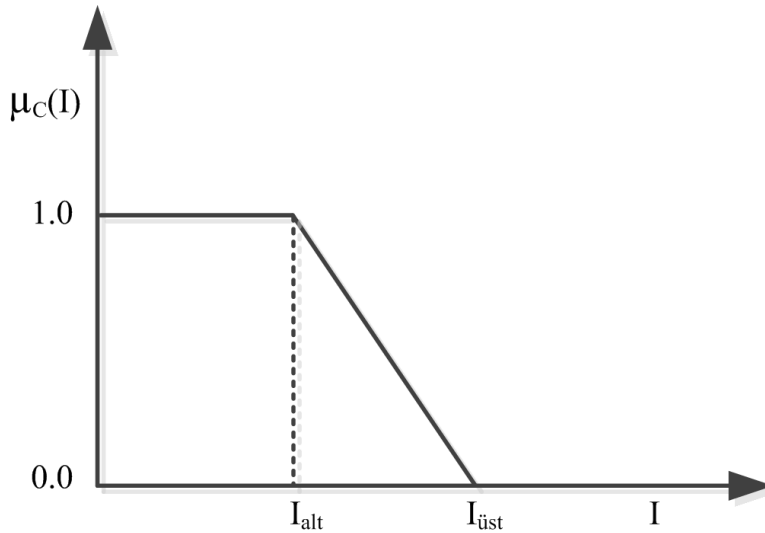
4.3.2 Hat akış kısıtlarının bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması

Bir elektrik iletim sisteminde hatlar üzerinde oluşan akış değerleri, iletim sisteminde kullanılan iletkenlerin akım taşıma kapasitelerini aşmamalıdır. Bu durum ilgili yönetmeliklerde de belirtilmiştir. Hatların sınır değerlerinden mümkün oldukça uzakta çalıştırılması istenir. Böylelikle sistemde meydana gelen yük değişimleri veya başka



Şekil 4.1: Bara gerilimleri için bulanık üyelik fonksiyonu.

hattın devre dışı kalması gibi durumlar söz konusu olduğunda üzerine gelen ilave yüklenmeler ile aşırı yüklenmenin önüne geçilmesi sağlanmış olur. Sınırlarında çalıştırılan hatlar sistemde yaşanan çalışma koşullarındaki değişiklikler ile aşırı yüklenmeye girerek devre dışı kalabilir ve hatta bu devre dışı kalmayı izleyen diğer hat devre dışı kalması olaylarına neden olabilir. Ardışıl devre dışı kalmalar ise sistemi çöküntüye götürebilir. Bu çalışmada, iletim sisteminin akım taşıma kısıtları için Şekil 4.2’de gösterilen ve aşağıda matematik ifadesi verilen biçimde bir üyelik fonksiyonu kullanılmıştır. Şekil 4.2’te verilen biçimdeki üyelik fonksiyonu için ifade aşağıdaki



Şekil 4.2: Hat akışları için bulanık üyelik fonksiyonu.

gibidir.

$$\mu_C(I) = \begin{cases} 1 & I < I_{alt} \\ 1 - \frac{I - I_{alt}}{I_{üst} - I_{alt}} & I_{alt} \leq I < I_{üst} \\ 0 & I \geq I_{üst} \end{cases} \quad (4.8)$$

Bu üyelik fonksiyonunda amaç hat akışlarını arzu edilen sınır olan I_{alt} değerinin altında tutmaktır, bu değer üzerinde hat yüklenmelerinde memnuniyet azalacaktır. $I_{üst}$ ise hat yüklenmesi için kabul edilebilir en üst sınırdır ve bu değer ötesindeki yüklenmeler istenmediğinden, üyelik değeri sıfır olacaktır. I_{alt} değeri sistem operatörünün tercihleri, deneyimleri ve system kısıtları göz önüne alınarak belirlenebilir. Çalışmada örnek system üzerinde yapılan incelemelerde I_{alt} hattın akım taşıma sınırının %80'i olarak seçilerek incelemeler gerçekleştirilmiştir.

4.3.3 Çevrimsel akışlarının bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması

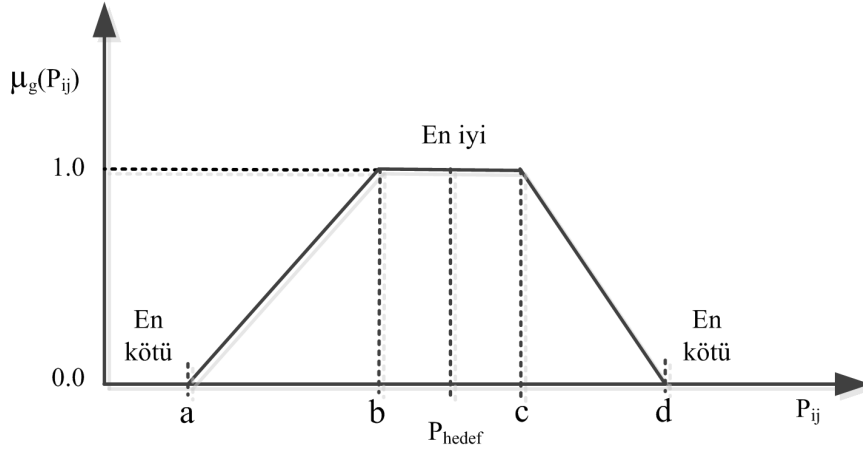
Güç sistemlerinde belirli güzergahlarda anlaşmalar doğrultusunda belirlenen aktif güç (MW) iletiminin gerçekleştirilmesi, sistem işletiminde kontrollü yapı ile önem kazanmıştır. Bu nedenle belirli güzergahlardaki planlanmış aktif güç akış kontrolü ile kapalı çevrimlerdeki istenmeyen akışlar önlenir/düzenlenebilir. Problemin çözümünde aktif güç akış sınırlarının esnemez şekilde ele alınması durumunda bir çözüm elde edilemeyebilir. Bu nedenle problemin bulanık ortamda ele alınarak sistem işleticisinin deneyimleri doğrultusunda memnuniyetsizliği en aza indirerek bir çözüme ulaşmak mümkün olabilir [75, 76].

Bulanık ortamdaki çözümlerde, uygun üyelik fonksiyonlarının kullanımının problemin çözümü üzerinde etkisi olmaktadır. Bu çalışmada, ilk önce literatürde güç sistem eniyileme problemlerinin bulanık ortamda ele alınmasında sıkça kullanılan trapez form seçilerek incelemeler gerçekleştirilmiştir. Daha sonraki aşamalarda üstel form kullanılarak benzer çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Üyelik formunun etkisi ile ilgili örnek sistem üzerinde yapılan incelemeler Bölüm 5'de detaylı olarak verilmiştir.

Trapez durum için üyelik fonksiyonu 5.4'de verilmiştir. Bu fonksiyon için eşitlik,

$$\mu_{g,ij}(P_{ij}) = \begin{cases} \frac{P_{ij} - a_{ij}}{b_{ij} - a_{ij}} & a_{ij} < P_{ij} \leq b_{ij} \\ 1 & b_{ij} < P_{ij} < c_{ij} \\ 1 + \frac{d_{ij} - P_{ij}}{d_{ij} - c_{ij}} & c_{ij} \leq P_{ij} < d_{ij} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.9)$$

şeklindedir. Burada, parametreler $a_{ij} < b_{ij} < c_{ij} < d_{ij}$ koşulunu sağlamak zorundadır.

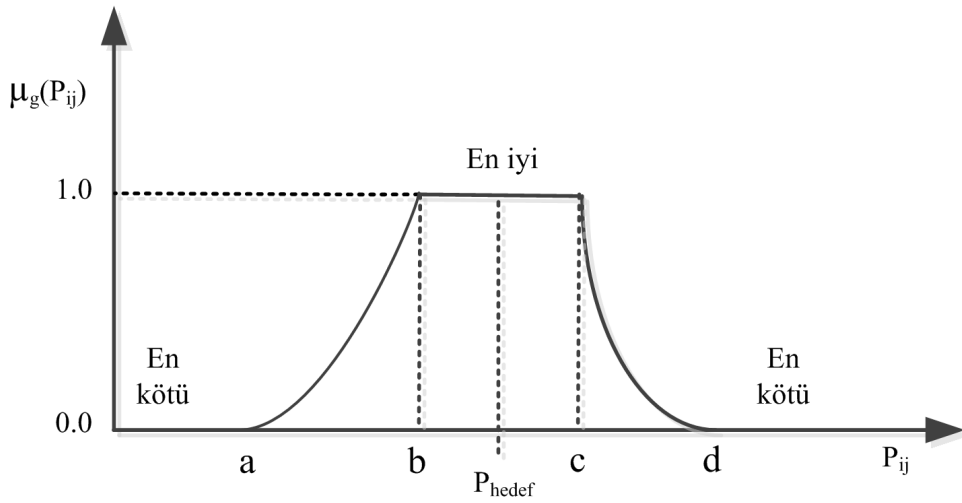


Şekil 4.3: Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (trapez form).

Üstel form temel alınarak oluşturulan üyelik fonksiyonu Şekil 5.5’de verilmiştir. Bu fonksiyon için üyelik fonksiyon ifadesi

$$\mu_{g,ij}(P_{ij}) = \begin{cases} e^{\frac{1}{b-a}(e^{P_{ij}-a}-1)} & a_{ij} < P_{ij} \leq b_{ij} \\ 1 & b_{ij} < P_{ij} < c_{ij} \\ e^{\frac{c-P_{ij}}{P_{ij}-d}} & c_{ij} \leq P_{ij} < d_{ij} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (4.10)$$

şeklindedir. Burada yine parametreler $a_{ij} < b_{ij} < c_{ij} < d_{ij}$ koşulunu sağlamak zorundadır.



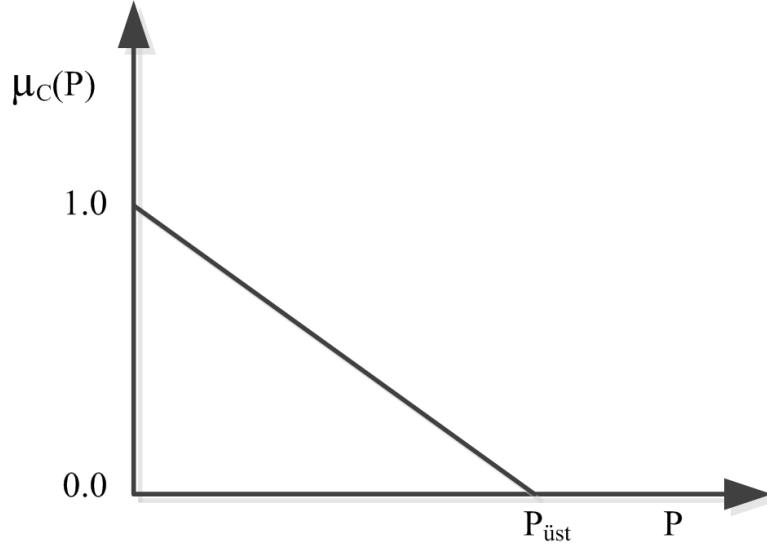
Şekil 4.4: Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (üstel form).

4.3.4 Sistem iletim kayıplarının bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile ele alınması

Problemin formulasyonunda çalışmanın esas amacı olan çevrimsel akış probleminin düzenlenmesinin yanı sıra, sistem güç kayıplarının da bu düzenleme sürecinde azaltılması veya mümkün olan en küçük değerlerde tutulması da hedeflenmiştir. Bu nedenle sistemde meydana gelen aktif güç kayıpları ve reaktif güç kayıplarında uygun üyelik fonksiyonları ile bulanıklaştırılarak çok amaçlı eniyileme problemine dahil edilmiştir. Bir iletim hatında geçen akımdan ötürü hatta oluşan aktif ve reaktif kayıp güçler çok önemlidir. Aktif güç kayıpları özellikle üretim merkezlerinde maliyetin düşürülmesi açısından önemlidir. Reaktif güç kayıpları azaltılması ise sistem reaktif üretim rezervlerinin artmasına ve sistem işletimindeki değişimlerde gerilim kararsızlığına karşı sistemin daha güçlü olmasını sağlayacaktır. Çalışmada amaç hedeflenen güzergahlardaki MW akışları düzenlerken kayıpları mümkün olan en küçük değerlerde kalmasını sağlamaktır. Bu doğrultuda Şekil 4.5’de verilen üyelik fonksiyonu kullanılarak aktif kayıplar bulanıklaştırılmıştır. Bu üyelik fonksiyonuna ait eşitlikler (4.11)’de verilmiştir. Reaktif güç kayıpları için ise benzer bir üyelik fonksiyonu kullanılmış ve ilgili eşitlikler (4.12)’de verilmiştir.

$$\mu_c(P_{\text{kayıp}}) = \begin{cases} 1 - \frac{P_{\text{kayıp}}}{P_{\text{üst}}} & 0 \leq P < P_{\text{üst}} \\ 0 & P \geq P_{\text{üst}} \end{cases} \quad (4.11)$$

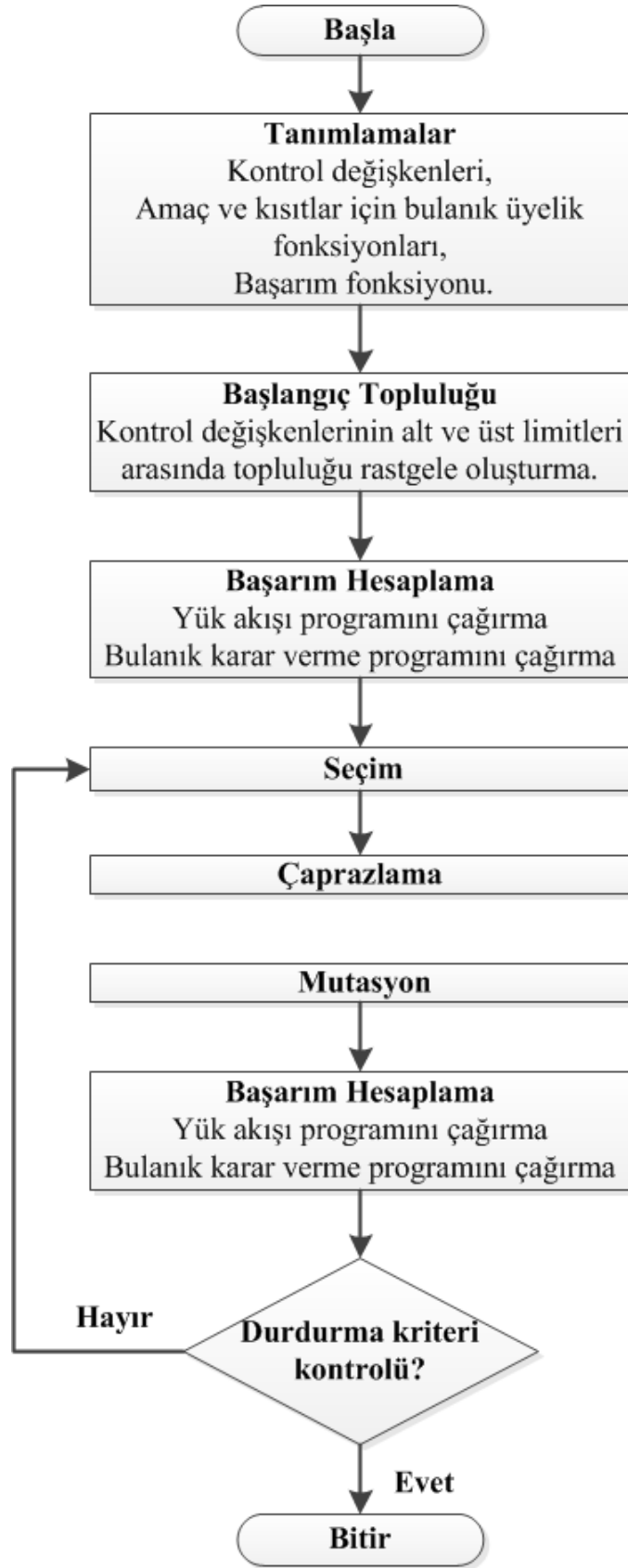
$$\mu_c(Q_{\text{kayıp}}) = \begin{cases} 1 - \frac{Q_{\text{kayıp}}}{Q_{\text{üst}}} & 0 \leq Q < Q_{\text{üst}} \\ 0 & Q \geq Q_{\text{üst}} \end{cases} \quad (4.12)$$



Şekil 4.5: Kayıplar için bulanık üyelik fonksiyonu.

4.4 Problemin Akış Diagramı

Probleme ilişkin akış şeması Şekil 4.6'da verilmiştir. Problemin çözümünde ilk olarak başlangıç topluluğu oluşturulmakta daha sonra her bir topluluk için yük akışı koşturularak sistemin durumu belirlenmekte ve bu sistem durumu için amaç ve kısıtlılıklara ilişkin üyelik değerleri hesaplanmaktadır. Bu üyelik değerlerinden kesişim ile elde edilen sonuç üyelik değeri ile başarıım (fitness) hesaplanmaktadır. Sonlandırma kriteri kontrolü ile çözümün sonlandırılması veya yinelemenin devamına karar verilmektedir.



Şekil 4.6: Problemin akış diagramı.

4.5 Güç Sistemleri Üzerinde Kontrol Değişkenlerinin Etkilerinin İncelenmesi

Çalışmanın başında, ilk olarak problemin çözümü için amaçlanan yöntem doğrultusunda kontrol elemanlarının sistem büyüklükleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kontrol elemanları ile problem kısıtları ve amaçları arasındaki duyarlılık ilişkisini görmek amacıyla detayları EK A'da verilen IEEE 14 baralı örnek test sistemi göz önüne alınarak benzetimler yapılmıştır. İnceleme sonucu generatör bara gerilimlerindeki değişim, seri kompanzasyonun yeri ve oranındaki değişim ile aktif ve reaktif kayıplar, hat akışları ve güç sistemi bara gerilimleri arasındaki etkileşim gözlemlenmiştir.

4.5.1 Seri kompanzasyonun hat akışları ve bara gerilimleri üzerindeki etkileri

4.5.1.1 Seri kompanzasyon

Elektrik güç sistemlerinin işletiminde, geçici hal kararlılığı, aktif ve reaktif güç kayıpları, gerilim kararlılığı açısından daha iyi çalışma koşullarına ulaşmak için sistemde çeşitli hatlarda seri kompanzasyon uygulaması yapılmaktadır. Seri kompanzasyon temel olarak yerleştirildiği hattın seri endüktif reaktansını azaltır.

Seri kompanzasyon ile sağlanacak yararlar aşağıda verilmiştir:

- İletim hattında iletilebilecek maksimum gücü artırır
- İletim hattında reaktif güç kayıplarını azaltır
- İletim hattının reaktansını küçültür
- Güç sistemi kararlılığını iyileştirir
- İletim hattı üzerindeki gerilim ayarını daha iyi hale getirir, gerilim düşümünü azaltır.
- İletim hattı üzerindeki güç akışı kontrolünü kolaylaştırır

Özellikle uzun iletim hatları üzerindeki güç transferinin artırılmasında en etkin yollardan birisi bu hatlara seri kapasitörler yerleştirilmesidir. İletim hattı seri direncini

ihmal edersek, bir iletim hattı üzerinde iletilen aktif güç akışı aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$\vec{P}_{ij} = \frac{\vec{V}_i \vec{V}_j}{\vec{X}_{ij}} \sin \theta_{ij} \quad (4.13)$$

Bu eşitlik i ve j baraları arasında bağlı bir iletim hattı için verilmiştir. Bu eşitlikte; V_i , i. bara gerilim genliği V_j , j. bara gerilim genliği, θ_{ij} i. ve j. bara gerilimleri arasındaki açı farkıdır. X_{ij} ise hat reaktansını göstermektedir. Eşitlik (4.13) den görüldüğü gibi, i ve j baraları arasındaki güç akışı, her iki bara gerilim genliği ve bu gerilimler arasındaki açı farkı ve hat reaktansının değiştirilmesi ile değiştirilebilmektedir. Çeşitli kontrol aygıtları ile bu büyüklükler ayarlanabilmektedir. Ancak hat gerilim genlikleri üzerindeki değişiklik % 5-10 olabilmektedir. Birim değerler kullanıldığında bara gerilimleri bire yakın değerlerde olduğundan bara gerilimleri üzerinde yaratılan değişikliğin etkisine göre hat reaktansının etkisi çok daha fazla olabilmektedir. Sistemin kararlı çalışması açısından bara gerilimleri arasındaki açı farkının da küçük değerlerde olması önemlidir. Bu nedenle hattın seri reaktansını küçültme yönünde etki yapan seri kompanzasyon, iletilen aktif gücün ayarlanması ve kararlılığın iyileştirilmesi açısından da önemlidir.

Seri kompanzasyonun reaktif iletim kayıplarını azaltıcı etkisi vardır. Reaktif kayıpların azaltılmasının reaktif rezervleri artırıcı yönde etkisi olması ve güçlü reaktif rezervlerin ise gerilim kararlılığı açısından önemli olması nedeniyle, seri kompanzasyonun gerilim kararlılığının iyileştirilmesi üzerinde de etkisi vardır.

Seri kompanzasyon oranı, hattın seri reaktansının yüzde olarak ne kadarının kompanze edildiğini gösterir;

$$K_S = \frac{X_C}{X_L} 100 \quad (4.14)$$

burada K_S seri kompanzasyon yüzdesidir, X_C , kompanzasyon reaktansı ve X_L toplam hat reaktansını gösterir. Ne oranda seri kompanzasyon yapılması gerektiğinin belirlenmesinde, rezonans ve koruma sistemi açısından analizlerin de yapılması gereklidir. Genel olarak tavsiye edilen seri kompanzasyon oranı üst sınırı %70 dir.

Geleneksel seri kompanzasyon sistemleri, anahtarlama seri kapasitör düzenleri kullanılması nedeniyle iletim hattı reaktansının belirli oranlarında kompanzasyonuna olanak sağlar. Yeni geliştirilen seri kompanzasyon sistemlerinde kullanılan Tristör

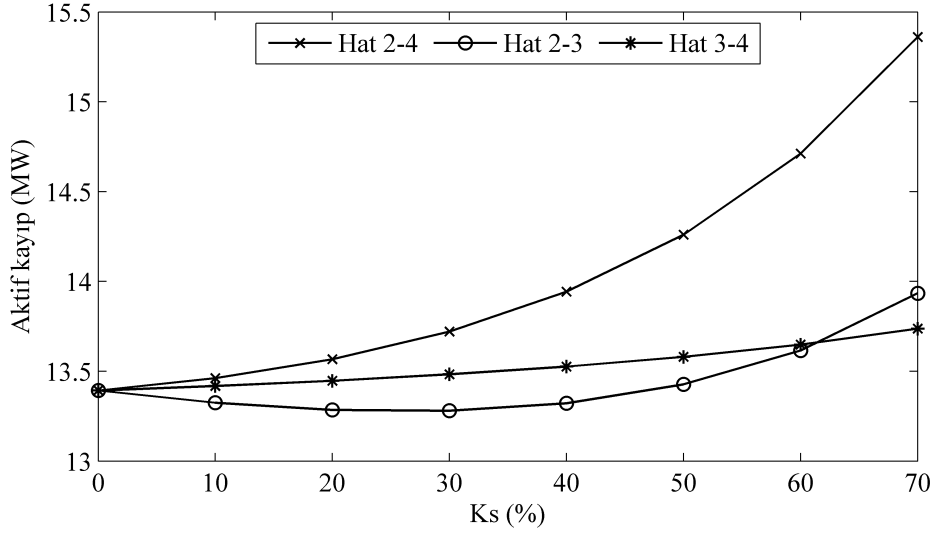
kontrollü seri kapasitörler (TCSC), daha iyi kontrol imkanı sağlar ve seri reaktansın daha küçük oranlarda değişimine ve sürekli kontrolüne olanak sağlar.

4.5.1.2 Hat akışları ve bara gerilimlerinin değişimlerinin incelenmesi

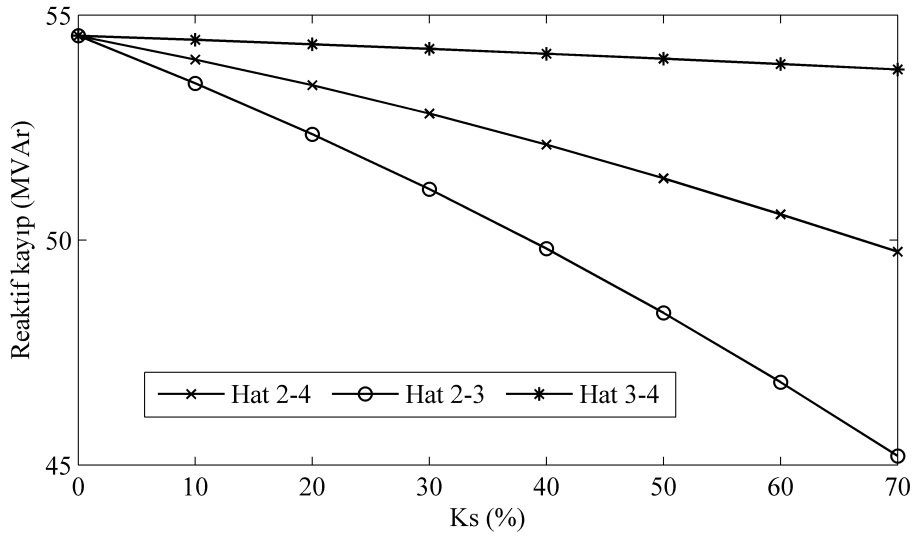
Örnek sistem olarak IEEE 14 baralı test sistemi kullanılmıştır. Bir kontrol elemanı olarak seri kompanzasyonun güç sistemi üzerindeki etkilerini gözlemlemek amacıyla örnek sistem üzerinde bir dizi benzetim incelemesi gerçekleştirilmiştir. İncelemeler, örnek sistemin 2, 3 ve 4'nolu baraların oluşturduğu çevrim dikkate alınarak bu baraları birbirine bağlayan hatlar açısından gerçekleştirilmiştir. İncelemeler MATLAB ortamında Matpower açık kaynak kodlu güç sistem yazılımı ve ilave olarak kodlanan ek fonksiyonlar ile gerçekleştirilmiştir [77,78].

- Şekil A.1'de verilen 14 Baralı örnek sistemin 2 ve 4'nolu baraları arasında yer alan hat üzerinde seri kompanzasyon yapılması durumunda, seri kompanzasyon oranı ile hat akışları, bara gerilim genliği, aktif ve reaktif kayıpların değişimi arasındaki ilişki elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 4.7 - 4.10'dan görüldüğü gibi seri kompanzasyon ile hat akışında meydana gelen değişim nedeniyle aktif kayıplarda doğrusal olmayan bir değişim meydana gelmektedir. Yüksek oranlı kompanzasyonlarda akış miktarında oluşan artma nedeniyle aktif kayıplar artmaktadır. Buna karşın, reaktif kayıplarda değişim azalma yönünde ve nispeten daha büyük miktarda değişim olmaktadır.
- Örnek sistemde hatlar üzerinde yapılan seri kompanzasyonun, kapasitörlerin yerleştirildiği hatlardaki aktif güç akış değerleri üzerindeki etkileri Şekil 4.7'da verilmiştir. Bu şekilde seri kompanzasyon oranındaki değişim ile temel durumdaki (kompanzasyon yokken) hattın aktif güç akışına göre artış gözlenmektedir.
- Örnek sistemde hatlar üzerinde yapılan seri kompanzasyonun, bara 4 gerilim genlik değeri üzerindeki etkileri Şekil 4.10'da verilmiştir. Göz önüne alınan örnek sistemde 2 ve 3'nolu baralar generator baraları olduğundan bu bara gerilimleri reaktif rezervleri karşıladığı sürece sabit kalmaktadır. Bu nedenle sadece 4'nolu bara gerilim genliği üzerindeki değişime yer verilmiştir. Bu şekilden görüldüğü gibi baranın bağlı olduğu hatlar üzerindeki kompanzasyonun bara gerilim değeri

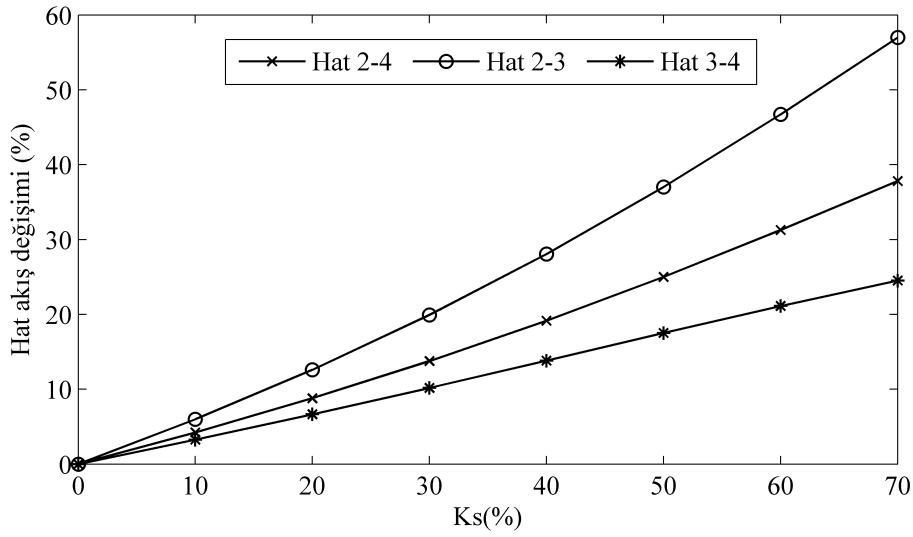
üzerinde daha büyük etkisi olmaktadır. Bu etkinin artış veya azalma şeklinde olması hat üzerindeki akışın baraya doğru veya baradan dışarıya doğru olması nedeniyledir. Örnek sistemde aktif güç akış yönü 2-4 hattı için bara 2'den 4'e doğru, 3-4 hattı için ise bara 4'den 3'e doğrudur.



Şekil 4.7: Hat seri kompanzasyon oranı ile aktif kayıpların değişimi.



Şekil 4.8: Hat seri kompanzasyon oranı ile reaktif kayıpların değişimi.



Şekil 4.9: Hat seri kompanzasyon oranı ile hat akışlarının temel duruma göre değişimi.

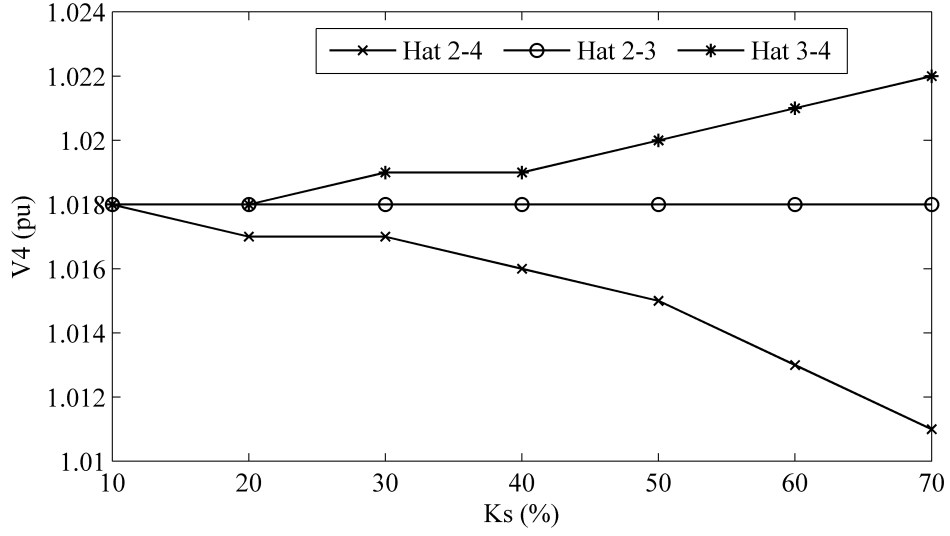
4.5.2 Generator bara gerilimleri üzerindeki ayarlamaların hat akışları ve yük bara gerilimleri üzerindeki etkileri

İletim hatları üzerinde güç transferinin değiştirilmesinde etken olan kontrol elemanlarından bir diğeri de hat başlarındaki gerilim değerleridir. Eşitlik 4.13'den de görülebileceği üzere hattın bağlı bulunduğu baralardaki gerilim değerlerinin değişimi bu iki bara arasında iletilen transfer gücü değiştirmektedir. Genel olarak %5 ila %10 mertebesinde değişim yapılabilen gerilim genliklerinin etkilerini gözlemlemek amacıyla incelemeler yapılmıştır.

Bir elektrik güç sisteminde generatör bara gerilim genlikleri değiştirilmesi ile sistemde yer alan diğer bara gerilimlerinde de değişim yaratılabilir. Bu nedenle güç sistemi eniyileme problemi çözümünde generatör bara gerilim genlikleri de kontrol değişkenleri olarak alınır.

4.5.2.1 Hat akışları ve yük bara gerilimlerindeki değişimlerin incelenmesi

Örnek sistem olarak yine IEEE 14 baralı test sistemi kullanılmıştır. Bir kontrol elemanı olarak gerilim genliklerinin güç sistemi üzerindeki etkilerinin gözlemlenmesi amacıyla örnek sistem üzerinde bir dizi benzetim incelemeleri gerçekleştirilmiştir.



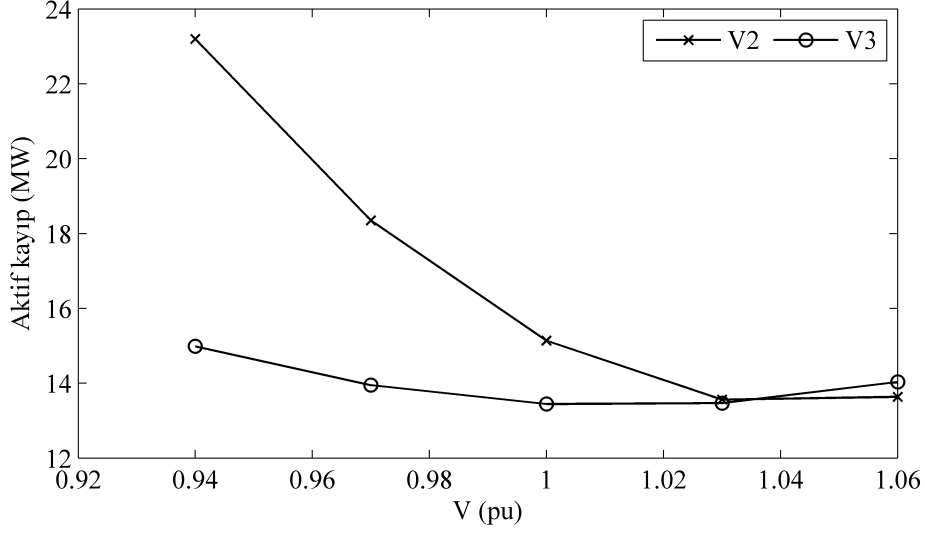
Şekil 4.10: Hat seri kompanzasyon oranı ile 4'nolu baranın gerilim genliğinin değişimi.

İncelemeler, örnek sistemin 2, 3 ve 4'nolu baraların oluşturduğu kapalı çevrim dikkate alınarak bu baraları birbirine bağlayan hatlar açısından gerçekleştirilmiştir.

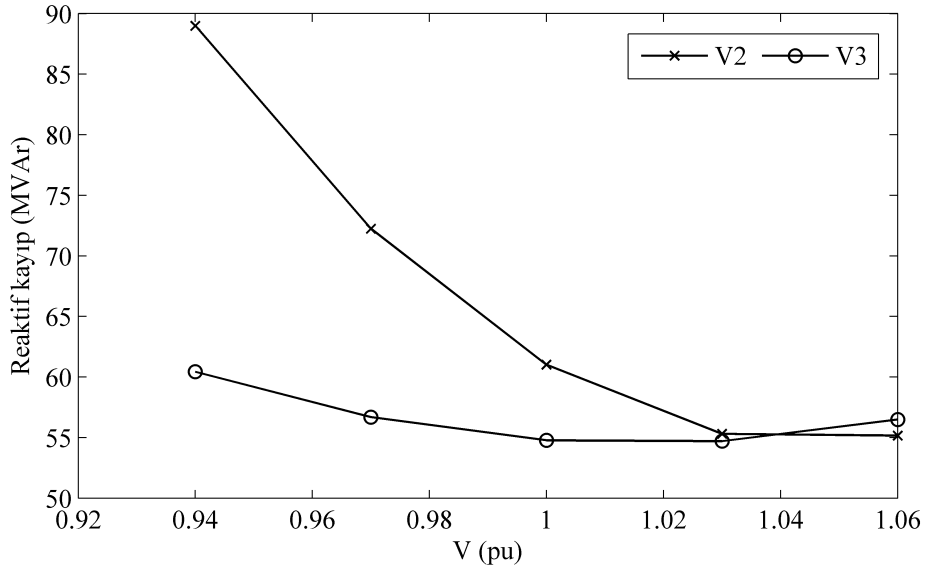
IEEE 14 baralı örnek sistemin 2, 3 ve 4'nolu baralarının gerilim genliklerinin değişimi ile hat akışları, aktif ve reaktif kayıplarının değişimi arasındaki ilişki elde edilmeye çalışılmıştır.

- Şekil 4.11'den görüldüğü gibi bara gerilimlerindeki değişim kayıplar üzerinde bir etki yaratmaktadır. Göz önüne alınan inceleme durumu için 2'nolu bara geriliminin genliğinin artması kayıp üzerinde belirgin azaltıcı bir etki yaratmaktadır. Buna karşın 3'nolu bara geriliminin genliğinin değişimi kayıp üzerindeki etkisi sınırlı kalmaktadır.
- Yukarıdaki benzer durum Şekil 4.12'den görüleceği gibi reaktif kayıplar içinde yapılmıştır.
- Generatör bara gerilim genliklerinin değişimi ile yük bara gerilim genliklerinin birbirine karşı değişimide Şekil 4.13'te verilmiştir.
- Hat akışları üzerindeki etkileri açısından sonuçlar Şekil 4.14 - 4.16'da verilmiştir.

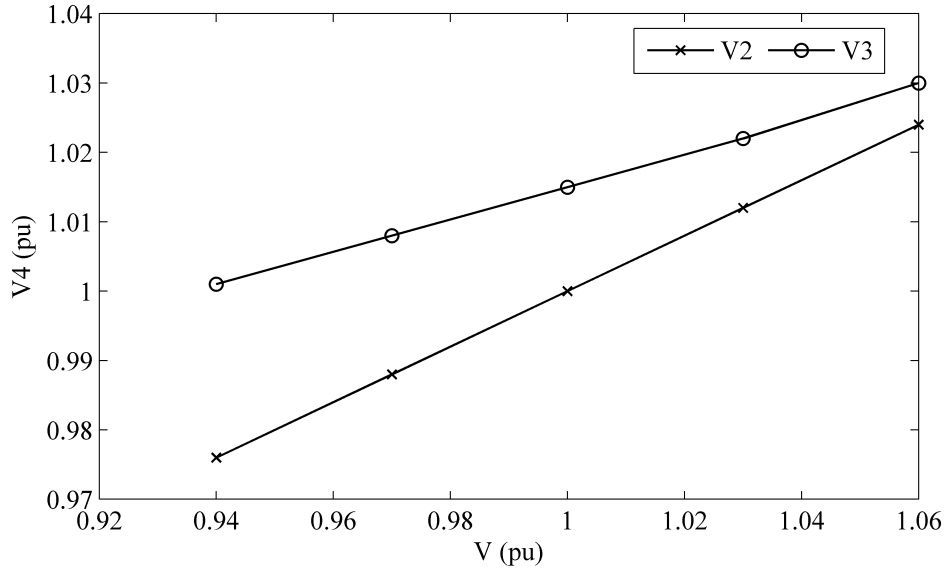
Bu şekillerden de görüleceği üzere bara gerilim genliğinin değişimi ile hat akışları değişmektedir. Bir hat üzerinde akış miktarını arttırırken diğer hat üzerinde akışın azalmasına neden olabilmektedir.



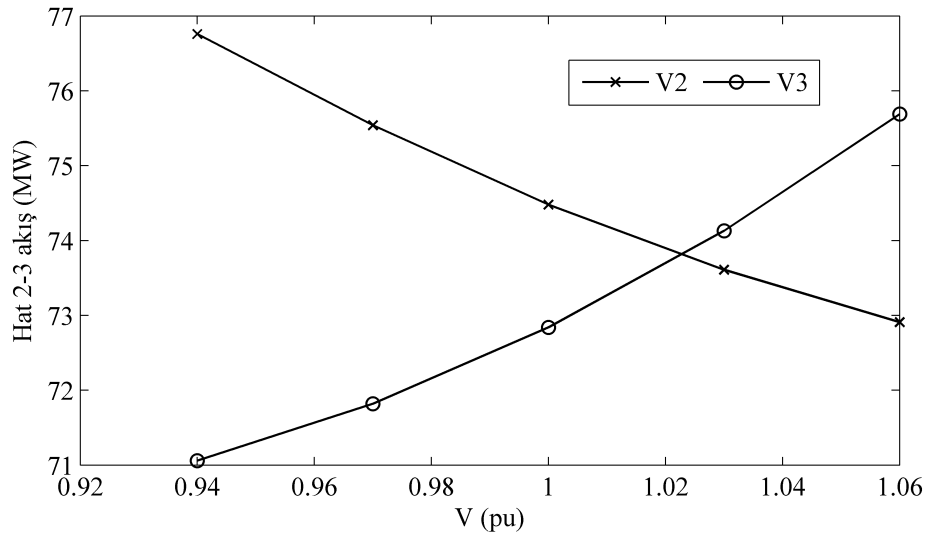
Şekil 4.11: V_2 ve V_3 gerilimleri ile aktif kayıpların değişimi.



Şekil 4.12: V_2 ve V_3 gerilimleri ile reaktif kayıpların değişimi.



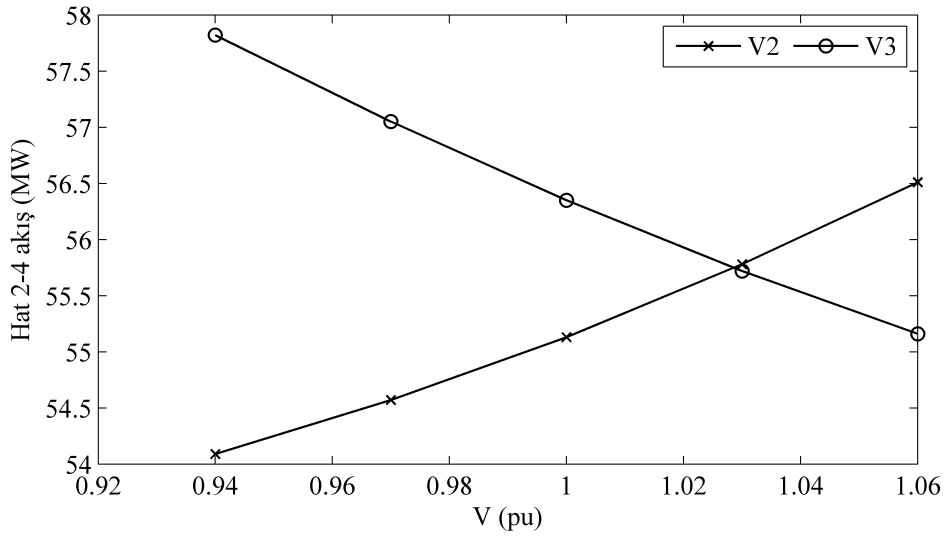
Şekil 4.13: V_2 ve V_3 gerilimleri ile V_4 gerilim genliğinin değişimi.



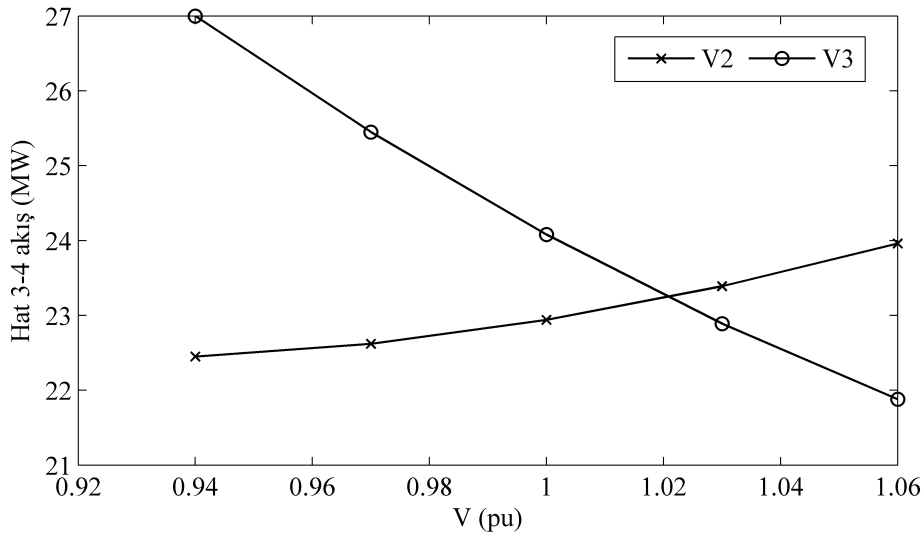
Şekil 4.14: V_2 ve V_3 gerilimleri ile 2-3 hattının MW akışının değişimi.

4.6 Bölüm Sonucu

İletim sisteminde baranın bağlı olduğu hatlar üzerindeki kompanzasyonun bara gerilim değeri üzerinde daha büyük etkisi olmaktadır. Seri kompanzasyon ile hem aktif hemde reaktif kayıplar çok fazla değişim göstermezken hat akış kapasitesi ciddi oranda artış yönünde değişmektedir.



Şekil 4.15: V_2 ve V_3 gerilimleri ile 2-4 hattının MW akışının değişimi.



Şekil 4.16: V_2 ve V_3 gerilimleri ile 3-4 hattının MW akışının değişimi.

Elektrik güç sisteminde sistem kontrolü açısından kontrol elemanı olan generatörlerin gerilim genliklerinin ayarlanması aynı yönde bir etki yapmamaktadır.

Bu bölümde sistem kontrol elemanları ile problem kısıtları ve amaçları arasındaki duyarlılık ilişkisini görmek amacıyla IEEE 14 baralı test sistemi ile MATLAB ortamında benzetim incelemeleri yapılmıştır. İnceleme sonucu generatör bara gerilimindeki değişim, seri kompanzasyonun yeri ve oranındaki değişim ile aktif ve reaktif kayıplar, hat akışları ve güç sistemi bara gerilimleri arasındaki etkileşim gözlemlenmiştir.

Sonuç olarak kontrol elemanlarındaki değişimler ile amaçlar ve kısıtlar üzerindeki etkilenmeler farklılık göstermektedir. Buda problemin çoklu amaçlı bir eniyileme problemi olarak ele alınma gerekliliğini açıklamaktadır.

5. SERİ ORTAM TEST SONUÇLARI

5.1 Giriş

Bu bölümde bulanık ortamda modellenmiş eniyileme probleminin bir genetik algoritma yardımıyla seri ortamda çözümü için yapılan çalışmalar yer almaktadır. Çalışmada ilk olarak, genetik algoritmalar da yer alan farklı seçim operatörleri ve diğer parametreler test edilerek problemin çözümü için en uygun olanlar belirlenmiştir. Daha sonra farklı üyelik formları denenerek problemdeki birincil amaç için en uygun üyelik formu tesbiti yapılmıştır.

İncelemelerde IEEE 14 ve IEEE 30 baralı test sistemleri ele alınarak, bu sistemler üzerinde oluşturulan çeşitli senaryolar için benzetim çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Çevrimsel / planlanmamış güç akışlarının önlenmesini amaçlayan yöntemin uygulamalarına ilişkin senaryolar, sistemde hat akış kontrolü için tek hat üzerinde akış kontrolü ve aynı anda bir çok hatta akış kontrolü durumlarını da içermektedir.

5.2 Sistem İşletim Koşullarının Üyelik Değerleri Üzerindeki Etkileri

Amaçlanan yöntemde bulanık ortamda çözüm için, amaçlar ve kısıtlar üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılmıştır. Bu amaçla eniyileme probleminin çözümü öncesinde, sistem koşullarındaki değişikliklerin amaçlara ve üzerinde kısıtlar bulunan durum değişkenlerine etkilerinin gösterilmesi hedeflendi. Bu doğrultuda incelemeler, Şekil 1.3'de gösterilen IEEE 14 baralı test sistemi üzerinde gerçekleştirildi. İncelemelerde ilk olarak, çeşitli senaryolar için, örnek sistemde yer alan bara gerilimleri ve hat akışları üzerindeki kısıtlara ilişkin üyelik fonksiyonları açısından memnuniyet değerlendirmeleri yapıldı.

Bu kısımda bara gerilimleri için sınırlardaki esneme $d=0.05$ alınmış, hat akışları için ise memnuniyetin hattın %80 yüklenmesinden sonra azalarak %100 yüklenmesinden sonra sıfır olduğu varsayılmıştır (Bknz. Bölüm 4.3.2 ve 4.3.3).

İncelemelerde, örnek sistem üzerinde;

- temel çalışma koşulları
- yüklerin 1/4 azaltılması
- yüklerin 1/4 artırılması
- 2-3, 2-4, 3-4 hatlarında temel yük durumunda % 50 kompanzasyon

durumları için elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1’de verilmiştir. Bu çizelgeden görüldüğü gibi 1-2 hattı aşırı yüklü olduğundan sistem yüklerinin azaltılması dışında göz önüne alınan tüm durumlarda üyelik değeri (memnuniyet) sıfırdır. 8’ nolu bara generator barasına ilişkin temel durumda ayarlanmış bara gerilim değeri 1.09 pu, göz önüne alınan üyelik fonksiyonu açısından yüksek olduğundan, bu bara için üyelik değeri olarak 0.4 değeri elde edilmiştir. Hat akışları (MVA) dikkate alındığında, yükün azaltılması durumunda, tüm hatlar için üyelik değeri en üst değere yükselmektedir (1 değerine). Buna karşın, planlanmış akış için kontrat güzergahı olarak seçilen 2-4 hattı aktif güç akışı da temel durumdaki en üst memnuniyet seviyesinden (üst üyelik değeri 1.0) azalarak yük azaltılması ile beraber bu hat için aktif güç akışı üyelik değeri 0.773 a düşmektedir. Yük artması durumunda ise doğal olarak hat akışlarının da artması nedeniyle birçok hatta sınırlar ötesi akışlar gözlenmektedir, bu durumda üyelik değerlerinin sıfıra düşmesine neden olmaktadır. Tüm sistemin konulan memnuniyet ölçütleri açısından durumunu gösteren en düşük üyelik değeri ise 1/4 azaltılmış yük durumu hariç 0.0 değerindedir. Bu sistem işletiminde istenmeyen bir durumdur ve kontrol elemanlarının uygun şekilde ayarlanması ile tüm sistem için en kötü memnuniyet değerinin yükseltilerek 1.0’ a yaklaştırılması gerekmektedir.

Bu aşamada probleme ilişkin kısıtların ve amaçların bulanık ortamda ele alınmasına ilişkin çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Örnek sistem üzerinde gerçekleştirilen benzetimler, kontrol elemanlarındaki değişimlerin kısıtlar ve amaçlar üzerinde farklı etkiler yarattığı, etkilenmenin lineer şekilde olmadığı, bulanık ortamda memnuniyetin alt ve üst beklentileri açısından arzu edilmeyen sonuçların ortaya çıktığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, kontrol değişkenlerinin bir arada ele alınarak kısıtların ve amaçların birlikte göz önüne alınmasıyla eniyileme probleminin çözümünün gerekliliğinin önemini göstermiştir.

Çizelge 5.1: Farklı çalışma durumları için üyelik değerleri, IEEE 14 baralı test sistemi.

μ_{C-V}	Temel Durum	Yüklerin 1/4 azaltılması	Yüklerin 1/4 artırılması	Hat 2-3 $K_S = \%50$	Hat 2-4 $K_S = \%50$	Hat 3-4 $K_S = \%50$
1	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
2	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
3	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
4	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
5	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
6	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800	0.800
7	0.969	0.829	1.000	0.964	0.990	0.952
8	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400	0.400
9	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
10	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
11	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
12	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
13	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
14	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
μ_{C-I}	Temel Durum	Yüklerin 1/4 azaltılması	Yüklerin 1/4 artırılması	Hat 2-3 $K_S = \%50$	Hat 2-4 $K_S = \%50$	Hat 3-4 $K_S = \%50$
1-2	0.0000	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1-5	0.7995	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.7415
2-3	0.9264	1.0000	0.0000	0.0000	1.0000	1.0000
2-4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.6565	1.0000
2-5	0.8467	1.0000	0.0000	1.0000	1.0000	0.7012
3-4	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4-5	1.0000	1.0000	0.5970	1.0000	1.0000	1.0000
4-7	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4-9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5-6	0.4183	1.0000	0.0000	0.4704	0.5122	0.3929
6-11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
6-12	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
6-13	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
7-8	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
7-9	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
9-10	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
9-14	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
10-11	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
12-13	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
13-14	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.00000	1.0000
μ_g	Temel Durum	Yüklerin 1/4 azaltılması	Yüklerin 1/4 artırılması	Hat 2-3 $K_S = \%50$	Hat 2-4 $K_S = \%50$	Hat 3-4 $K_S = \%50$
2-4	1.0000	0.7730	0.1750	1.0000	0	0.9089
	Temel Durum	Yüklerin 1/4 azaltılması	Yüklerin 1/4 artırılması	Hat 2-3 $K_S = \%50$	Hat 2-4 $K_S = \%50$	Hat 3-4 $K_S = \%50$
Min μ	0.0000	0.4000	0.0000	0.0000	0	0.0000

5.3 Genetik Algoritmalarada Yer Alan Farklı Seçim Operatörlerinden En Uygun Olanının Belirlenmesi

Bu aşamada IEEE 30 baralı test sistemi kullanılarak gerçekleştirilen incelemelerde temel olarak iki konu üzerinde odaklanılmıştır. Bunlardan birincisi, GA parametre değerlerinin en uygun olanının belirlenmesi için gerçekleştirilen bir dizi incelemedir [79]. Diğeri ise, sistem üzerinde farklı iki hat üzerinde akış düzenlenmesinin gerçekleştirilmesidir.

5.3.1 IEEE 30 baralı test sisteminin tanıtımı

Şekil B.1’de verilen bu güç sisteminde, paralel iletim hatları ve kapalı çevrimli iletim hatları mevcut olup, tüketim noktalarının farklı yollardan beslenmeleri sağlanmaktadır. IEEE 30 baralı örnek test sistemine ait şekil ve sistem verileri EK A.2’de verilmiştir.

İncelenmelerde sistemde var olan kontrol elemanlarına ek olarak, seri kompanzasyon aygıtlarının kullanımının getirileri üzerinde de durulmuştur. Bu amaçla 2 ayrı hat üzerinde yeni nesil seri kompanzasyon elemanlarının da yer aldığı varsayılmıştır. Seri kompanzatorler, göz önüne alınan akış kontrolü yapılacak hatlara birer adet olmak üzere yerleştirilerek, yerleştirildikleri hattın seri reaktansı X_s kontrol edilerek, güç akışın arzu edilen değerler civarında tutulması hedeflenmiştir. IEEE 30 baralı test sisteminde güç akışı düzenlenmesinin yapıldığı hatlar 2 ve 4’ nolu baralar arasındaki hat ile 6 ve 28 numaralı baralar arasındaki hattır. Şekil B.1’de görüldüğü gibi seri kompanzasyon ve güç akışı düzenlenmesi yapılan hatlar sistem üzerinde farklı bölgelerde bulunmaktadır. Benzetim incelemesinde 30 baralı örnek sistemde göz önüne alınan kontrol değişkenleri olarak generatör aktif üretimleri, generatör gerilim genlikleri, transformatör kademeleri, seri ve şönt kompanzasyon değerleri alınmıştır. Örnek sistemde temel durumda senkron kondansatör olan 5, 8, 11 ve 13’ nolu baralardan sadece 5’ nolu barada aktif güç üretimi olduğu varsayılarak incelemeler gerçekleştirilmiştir.

5.3.2 Test sonuçları

MATLAB GA araç kutusu aşağıdaki seçenekler ile kullanılmıştır:

Topluluk boyu 50,

Topluluk veri tipi gerçek sayılı,

Kromozom boyu (kontrol değişkeni sayısı) 13,

Nesil sayısı (yineleme sayısı) 100,

Seçim operatörlerinden;

- Rulet Çarkı
- Turnuva seçimi, turnuva boyu 2
- Turnuva seçimi, turnuva boyu 4
- Seçkinlik boyu, 2

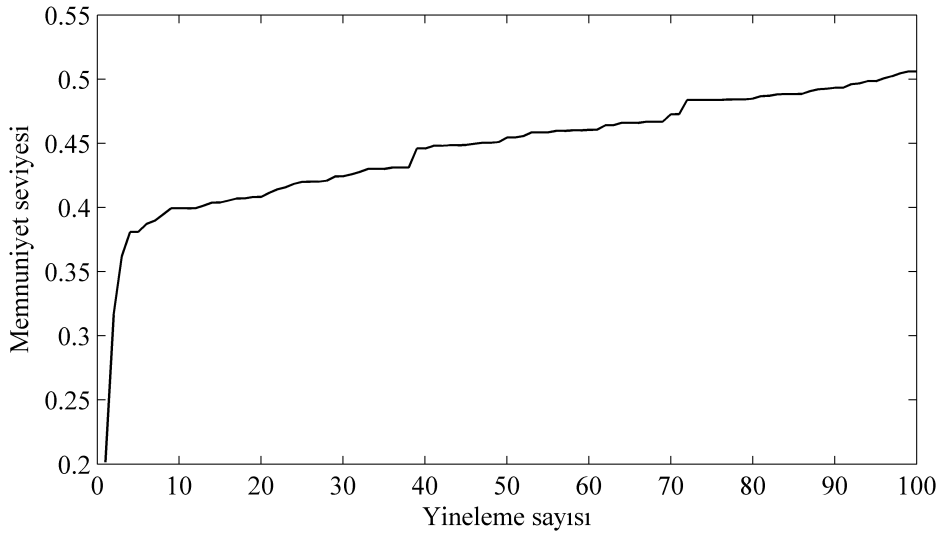
Çaprazlama operatörlerinden;

- İki noktadan, (two point crossover)

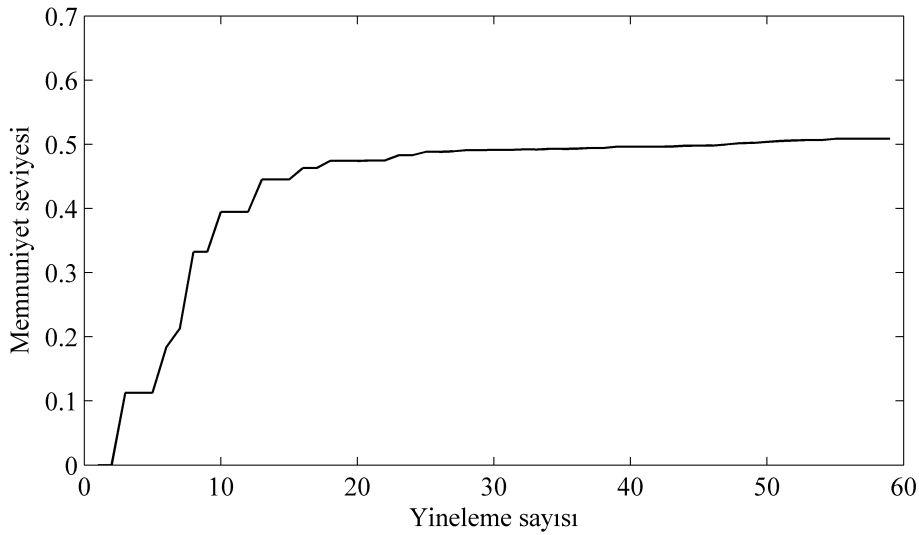
Mutasyon operatörlerinden;

- Gauss dağılımı

Üreme operatörlerinden ilk üç durum için diğer parametreler sabit tutularak, her üç durum için %100 başarımla sağlanıncaya kadar benzetim çalışmaları yapılmış olup sistemin kararlı olarak çözüm üretmeye başladıktan sonra sadece yirmi çalışmaya ait değerler kayıt edilmiştir. Veriler Çizelge 5.2 - 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.1: GA üreme operatörü rulet çarkı için memnuniyet değişimi.

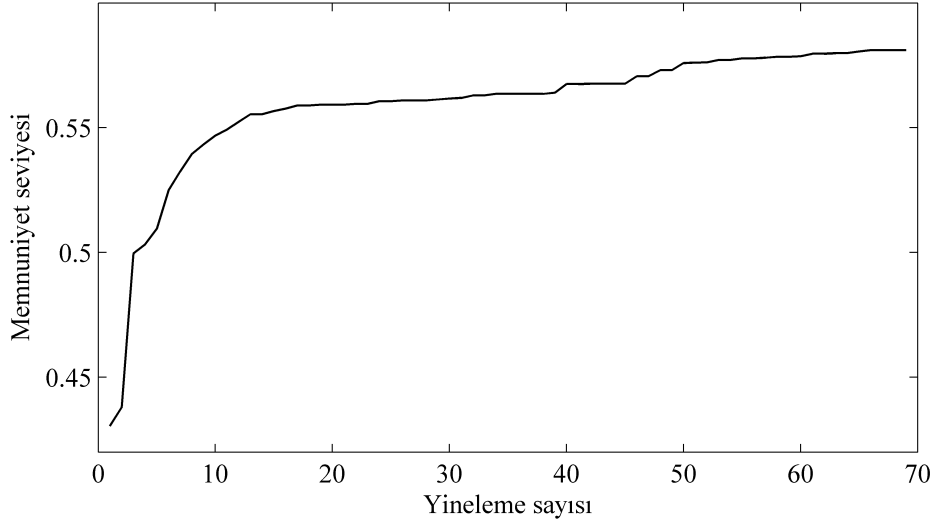


Şekil 5.2: GA üreme operatörü turnuva seçimi (ts,2) için memnuniyet değişimi.

5.3.3 Her üç seçim operatörü sonuçlarının karşılaştırılması

Seçim operatörlerinden rulet çarkı ile turnuva seçenekleri birbirleri ile çeşitli açılardan karşılaştırılmıştır. Elde edilen değerler Çizelge 5.2 - 5.4'de verilmiştir.

Turnuva operatörü iki farklı turnuva boyu ile test edilmiştir. Burada amaç, hangi seçim operatörünün problem için daha uygun olduğunu tespit etmektir. Karşılaştırma işlemlerinde yirmi adet benzetim sonuçlarının ortalama değerleri ve ortalama değerlerindeki standart sapmalar kullanılarak yapılmıştır. Benzetimlerde etkilerini



Şekil 5.3: GA üreme operatörü turnuva seçimi (ts,4) için memnuniyet değişimi.

incelediğimiz diğer büyüklükler başarımlar (fitness), yineleme sayısı ve amaç değerlerdir. Benzetim sonuçları, MATLAB altındaki "İstatistik Araç Kutusu" içinde bulunan "anova1 ve multcompare" kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.5 - 5.12'de verilmiştir.

Standart Sapma:

Bir olasılık dağılımı için standart sapma σ ile ifade edilirken bir grup örnek veriler için s kullanılabilir. Bir grup örnek verinin standart sapması, bu gruptaki verilerin ortalamasının standart hatası olarak bilinir.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (5.1)$$

Burada x_1, x_2, \dots, x_n örnek değerleri (benzetim sonuçları), \bar{x} örnek değerlerin ortalamasını n ise örnekleme sayısını ifade eder.

Güven Aralığı:

Güven aralığı istatistik biliminde bir parametre için bir çeşit aralık kestirimi olup bir çıkarımsal istatistik çözüm aracıdır. Bir parametre değerinin tek bir sayı ile kestirimi yapılacağına, bu parametre değerini kapsayabilecek iki (alt ve üst sınır) sayıdan oluşan bir aralık bulunur. Bu aralık, ortalamanın iki tarafında standart hatanın bir katsayısıyla

Çizelge 5.2: Üreme operatörü rulet çarkı verileri, IEEE 30 baralı test sistemi.

En iyi Başarım (best)	Yineleme (generation)	$P_{loss}(MW)$	$Q_{loss}(MVar)$	Hedef 1 (MW)	Hedef 2(MW)
0.64376	55	8.857	39.60	46.81	22.78
0.64268	73	8.856	35.43	48.85	21.07
0.65883	80	9.234	38.48	49.46	21.07
0.68304	52	11.581	47.48	50.00	20.66
0.64803	88	8.941	336.59	50.90	20.17
0.67717	62	10.604	42.30	50.58	21.09
0.66945	58	9.727	40.50	49.01	21.76
0.63383	89	8.126	33.76	49.81	21.59
0.63749	56	8.490	39.71	50.05	21.75
0.64165	56	8.406	35.23	50.86	20.03
0.65469	51	13.528	51.03	47.15	20.73
0.65053	59	9.120	36.93	49.07	21.23
0.64044	79	8.407	35.01	49.70	20.27
0.64052	74	8.524	35.01	50.77	21.02
0.66402	100	9.849	39.53	51.11	20.27
0.64286	55	8.540	35.53	48.79	21.11
0.6655	76	10.158	46.07	46.92	19.81
0.66043	63	9.645	38.77	50.98	21.84
0.63554	54	11.823	45.48	46.11	20.62
0.63641	84	8.149	34.21	49.31	20.86
Hedef 1: arzu edilen 20 +/- 3 MW, Hedef 2: arzu edilen 50 +/- 3 MW, Üreme rulet çarkı, Seçkinlik boyu 2, Mutasyon Gauss (0.5, 0.75), Çaprazlama iki noktadan, Topluluk boyu 50					

çarpılması şeklinde bulunur. Böylece güven aralıkları bir kestirimin ne kadar güvenilir olduğunu gösterir. Genelde % olarak ifade edilir.

Çizelge 5.3: Üreme operatörü, turnuva seçimi verileri (turnuva boyu 2), IEEE 30 baralı test sistemi.

En iyi Başarım (best)	Yineleme (generation)	$P_{loss}(MW)$	$Q_{loss}(MVar)$	Hedef 1 (MW)	Hedef 2(MW)
0.64178	77	8.626	35.25	49.86	20.79
0.64385	87	8.708	37.32	50.28	21.23
0.63764	51	8.989	36.90	49.03	21.97
0.65756	74	9.334	34.26	49.92	21.39
0.63232	51	8.226	34.26	49.92	20.56
0.66450	56	9.722	39.53	49.60	21.10
0.64201	51	8.860	36.08	47.50	21.68
0.64324	62	8.372	35.62	49.04	22.82
0.66336	73	9.743	39.33	48.84	21.24
0.63459	59	8.176	33.87	50.05	21.33
0.63684	90	8.255	34.78	45.64	20.03
0.64844	66	9.371	39.70	46.42	20.29
0.63722	56	8.356	34.39	50.93	21.09
0.63109	59	8.005	33.16	49.59	21.10
0.63151	67	8.074	38.38	49.30	21.71
0.63908	99	8.370	35.29	45.96	20.77
0.63553	59	11.922	47.18	53.56	17.42
0.63201	53	8.014	33.25	49.51	20.67
0.65565	100	9.472	38.50	49.32	21.26
0.65763	70	9.374	38.56	48.20	22.58
Hedef 1: arzu edilen 20 +/- 3 MW, Hedef 2: arzu edilen 50 +/- 3 MW, Üreme turnuva boyu 2, Seçkinlik boyu 2, Mutasyon Gauss (0.5, 0.75), Çaprazlama iki noktadan , Topluluk boyu 50					

5.3.4 Benzetim sonuçlarının yorumlanması

GA parametreleri açısından:

- Yapılan benzetim çalışmalarından "Rulet Çarkı", "Turnuva, 2", "Turnuva, 4" için elde edilen ortalama değerler arasında her testin en iyi başarımları istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakılınca ortalama değerlerin her üç durum içinde birbirlerine yakın olduğu görülmüştür.

Çizelge 5.4: Üreme operatörü turnuva seçimi verileri (turnuva boyu 4), IEEE 30 baralı test sistemi.

En iyi Başarım (best)	Yineleme (genertation)	$P_{loss}(MW)$	$Q_{loss}(MVar)$	Hedef 1 (MW)	Hedef 2(MW)
0.64935	100	8.769	36.84	47.46	21.75
0.64083	60	8.316	35.08	47.87	19.68
0.64206	51	8.654	35.34	48.10	21.17
0.63166	55	9.964	40.53	46.61	20.01
0.66526	61	8.258	39.65	50.73	21.02
0.64216	53	8.419	35.33	50.37	19.86
0.65008	84	8.910	36.88	50.90	20.12
0.66234	68	9.567	39.12	50.20	21.88
0.63137	61	8.091	37.35	49.29	22.48
0.64059	66	8.480	35.75	47.08	18.81
0.63247	69	8.048	33.43	49.88	21.20
0.65310	74	11.978	48.90	46.63	20.04
0.64211	71	8.506	35.32	50.12	21.24
0.63122	56	7.923	34.01	42.05	20.94
0.63791	51	8.305	34.50	49.63	22.06
0.65319	68	9.076	37.48	48.20	23.00
0.64437	52	8.603	35.79	50.28	21.28
0.63823	52	8.256	36.43	49.76	22.16
0.63229	51	8.484	38.73	50.73	19.91
0.64567	59	8.514	36.02	48.61	20.97
Hedef 1 arzu edilen 20 +/- 3, Hedef 2 arzu edilen 50 +/- 3, Üreme turnuva boyu 4, Seçkinlik boyu 2, Mutasyon Gauss (0.5, 0.75), Çaprazlama iki noktadan, Topluluk boyu 50					

Çizelge 5.5: En iyi başarımların (best fitness) karşılaştırması.

GA seçim operatörü	Memnuniyet	Ortalama başarımlar	Std. Sapma
Rulet	0.5353	0.6513	0.0027
Turnuva, 2	0.5545	0.6433	0.0027
Turnuva, 4	0.5545	0.6433	0.0027

- Üç değişik durum için tüm çalışmalar tekrarlandığı için karşılaştırmalar ikili çiftler halinde yapılmıştır. Her ikili setin birbirinden önemli ölçüde bir fark göstermediği gözlenmiştir. Yirmi kayıt sonucu elde edilen ortalama başarımlar için bulunan standard hata herbiri için 0.0027 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca kullanılan istatistiksel karşılaştırmada "anova1 in sonucunu kullanan multicompare" her

Çizelge 5.6: En iyi başarıım güven aralığı.

GA seçim operatörleri		Güven aralığı		
Rulet	Turnuva, 2	-0.0010	0.0081	0.0171
Rulet	Turnuva, 4	-0.0011	-0.0080	0.0171
Turnuva, 2	Turnuva, 4	-0.0091	0.0000	0.0091

Çizelge 5.7: Yineleme sayıları bakımından karşılaştırma.

GA seçim operatörü	Ortalama yineleme	Std. Sapma
Rulet	68.20	3.2130
Turnuva, 2	68.00	3.2130
Turnuva, 4	63.10	3.2130

Çizelge 5.8: Yineleme sayıları bakımından güven aralığı.

GA seçim operatörleri		Güven aralığı		
Rulet	Turnuva, 2	-10.7346	0.2000	11.1346
Rulet	Turnuva, 4	-5.8346	5.1000	16.0346
Turnuva, 2	Turnuva, 4	-6.0346	4.9000	15.8346

Çizelge 5.9: Güzergahlardaki hedef güç akışları (50 MW) açısından karşılaştırma.

GA seçim operatörü	P (MW)	Standart Hata
Rulet	49.3125	0.4107
Turnuva, 2	49.1835	0.4107
Turnuva, 4	48.7250	0.4107

Çizelge 5.10: Güzergahlardaki hedef güç akışları (50 MW) açısından güven aralığı.

GA seçim operatörleri		Güven aralığı		
Rulet	Turnuva, 2	-1.2686	0.1290	1.5266
Rulet	Turnuva, 4	-0.8101	-0.5875	1.9851
Turnuva, 2	Turnuva, 4	-0.9391	-0.4585	1.8561

bir durumun güven aralıklarında aynı bölgeler içerisinde hesaplanmıştır. Bu benzetimler, üç ayrıdurumunda, birbirinden çok farklı sonuçlar üretmediğini göstermiştir.

- Memnuniyet seviyesi değerlerini yükseltmek açısından bakıldığında Çizelge 5.5’ de görüldüğü gibi sonuçlar birbirine yakın olmakla beraber, turnuva seçim

Çizelge 5.11: Güzergahlardaki hedef güç akışları (20 MW) açısından karşılaştırma.

GA seçim operatörü	P (MW)	Standart Hata
Rulet	20.9365	0.2183
Turnuva, 2	21.0515	0.2183
Turnuva, 4	20.9790	0.2183

Çizelge 5.12: Güzergahlardaki hedef güç akışları (20 MW) açısından güven aralığı.

GA seçim operatörleri		Güven aralığı		
Rulet	Turnuva, 2	-0.8580	-0.1150	0.6280
Rulet	Turnuva, 4	-0.7855	-0.0425	0.7005
Turnuva, 2	Turnuva, 4	-0.6705	0.0725	0.8155

operatörünün ürettiği sonucun daha iyi olduğu (yaklaşık %2 mertebesinde) gözlenmiştir.

- İterasyon sayılarının karşılaştırılması durumunda, Çizelge 5.7'den de görüleceği gibi, sonuçların yakın olduğu, ancak turnuva boyu 4 için daha küçük olduğu gözlenmiştir.

Akışların düzenlenmesi açısından:

- IEEE 30 baralı örnek sistem üzerinde gözönüne alınan aynı anda farklı iki hat üzerinde akış düzenleme amacı için benzetimler gerçekleştirilerek, memnuniyetin en yüksek durumunun elde edilmesi durumuna ilişkin kontrol elemanlarının değerlerinin bulunmasına çalışılmıştır.
- İncelemelerde göz önüne alınan güzergahlarda hedeflenen güç akışlarına ulaşmada ortalama değer ve standart hatanın ne kadar olduğuna da bakılmıştır. Çizelge 5.9'daki değerlerden görüldüğü gibi bu değerler tatmin edicidir. Göz önüne alınan üyelik fonksiyonlarına göre, hedeflenen değerden 3 MW'lık bir sapmaya kadar memnuniyet seviyesi 1.0 olarak kabul edildiği için, akış düzenlemesi için hedeflenen hatlarda tam memnuniyet seviyelerine ulaşılmıştır.

5.4 Güç Akış Kontrolü İçin En Uygun Üyelik Fonksiyonu Formunun Belirlenmesi

Eniyileme problemlerinin bulanık ortamda ele alınmasında, uygun üyelik fonksiyonunun kullanımı önemlidir. Literatürde çeşitli üyelik formları bulunmaktadır, bu formlar içinde en yaygın kullanılan formlardan biri olan trapez formu, güç sistemleri üzerine incelemelerde de oldukça kullanılmıştır. Bu nedenle çalışmada ele alınarak incelemeler gerçekleştirilmiştir. Göz önüne alınan üyelik fonksiyonu Şekil 5.4'de gösterilmiştir. Bu şekilde yer alan P_{des} , arzu edilen ya da hedeflenen aktif güç iletimi (MW) değeridir.

İletim sisteminde kullanılan iletkenlerin akım taşıma sınırları (MVA güç iletim sınırları), sistemde yer alan tüm iletim hatları için zorunlu kısıtlılık olarak üyelik fonksiyonları ile ele alınarak eniyileme problemine katılmıştır. Planlanmamış güç akışlarının önlenmesi amacıyla, sadece belirli güzergahlardaki hatlar için uygun üyelik fonksiyonları ile kontratlar sonucu oluşan aktif güç iletimi (MW) anlaşmaları açısından değerlendirme yapılmaktadır.

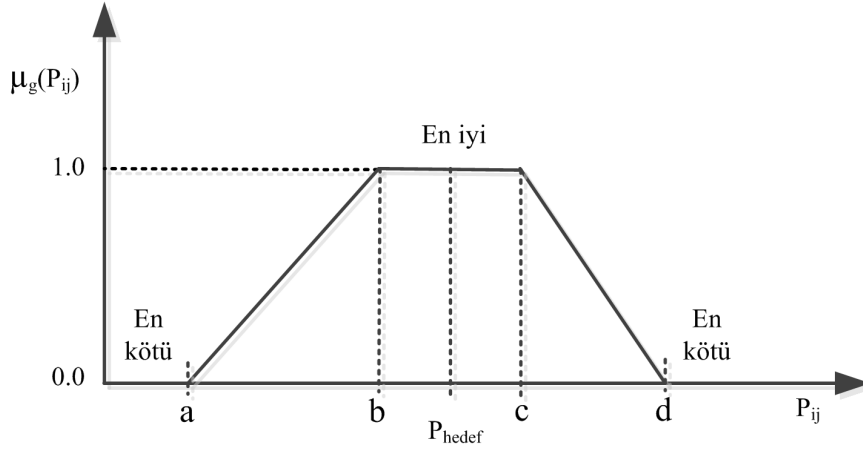
Trapez üyelik fonksiyonu formunu ifade eden (a,b,c,d) değerlerinin değiştirilmesi ile elde edilen fonksiyonunun farklı biçimleri için incelemeler gerçekleştirilmiştir. Bu incelemelerin ışığında daha sonraki aşamalarda trapez formunda kenarların (a-b arası ve c-d arası) üstel formunda değişmesi durumu da incelemelere dahil edilmiştir [80].

Ele alınan çeşitli formlar için IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde farklı senaryolar için elde edilmiş sonuçlar karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

5.4.1 Çevrimsel akışlar için seçilen üyelik formlarının karşılaştırılması

Temel amaç olan kontrat yapılan hat üzerindeki akış kontrolünün bulanık ortamda ifade edilmesi için "trapez" şeklinde doğrusal fonksiyon ve "üstel" şeklinde doğrusal olmayan fonksiyon olmak üzere iki farklı form dikkate alınmıştır. Bu formların değerlendirilmesinde amaç, memnuniyet seviyesini yükseltirken hedef değere de en çok yaklaşımdır. Formda elde edilen çözümde üyelik seviyesi ne kadar yüksek ise

memnuniyet de o kadar yüksek demektir. Böylelikle akış değerine o denli yaklaşmış olacaktır.



Şekil 5.4: Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (trapez form).

Kontrat hattının aktif güç akışı trapez formu ile bulanık ortamda temsili Şekil 5.4 de gösterilmiştir. Bu form trapezin dört parametresi (a , b , c , d) ile belirtilir. Üyelik fonksiyonu $\mu_g(P_{ij})$ bara i ile j arasındaki aktif güç akışına bağlıdır. Sistem operatörü kontrat yapılan güç akışını dikkate alarak fonksiyonun bu dört değerini belirler. İletim yükü de bu fonksiyonun formunu etkileyen faktörlerdendir

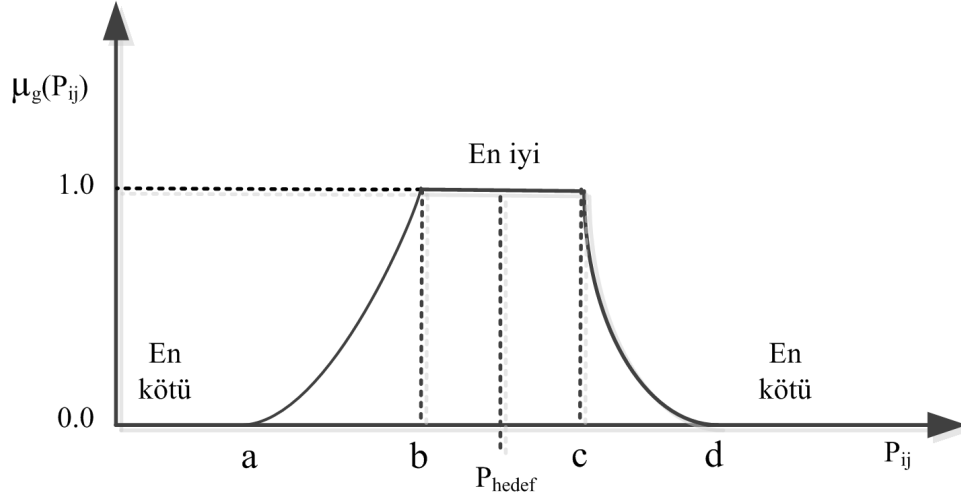
Üyelik fonksiyonunun $\mu_g(P_{ij})$ tanımı aşağıdaki gibidir.

$$\mu_g(P_{ij}) = \begin{cases} \frac{P_{ij}-a_{ij}}{b_{ij}-a_{ij}} & a_{ij} < P_{ij} \leq b_{ij} \\ 1 & b_{ij} < P_{ij} < c_{ij} \\ 1 + \frac{d_{ij}-P_{ij}}{d_{ij}-c_{ij}} & c_{ij} \leq P_{ij} < d_{ij} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (5.2)$$

burada, parametreler $a_{ij} < b_{ij} < c_{ij} < d_{ij}$ koşulunu sağlamak zorundadır.

Kontrat hattındaki aktif güç akışının bulanık ortamda tanımlanmasında göz önüne alınan ikinci form olan üstel fonksiyon Şekil 5.5'de gösterilmiştir. Bu form da dört parametre ile tanımlanabilir. Böylece, üyelik fonksiyonu, $\mu_g(P_{ij})$, aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\mu_g(P_{ij}) = \begin{cases} e^{\frac{1}{b-a}(e^{P_{ij}-a}-1)} & a_{ij} < P_{ij} \leq b_{ij} \\ 1 & b_{ij} < P_{ij} < c_{ij} \\ e^{\frac{c-P_{ij}}{P_{ij}-d}} & c_{ij} \leq P_{ij} < d_{ij} \\ 0 & \text{diğer} \end{cases} \quad (5.3)$$



Şekil 5.5: Aktif güç çevrimsel akışlar için bulanık üyelik fonksiyonu (üstel form).

burada, parametreler $a_{ij} < b_{ij} < c_{ij} < d_{ij}$ koşulunu sağlamak zorundadır.

5.4.2 Üyelik fonsiyonlarına ait benzetim sonuçları

Benzetimler MATLAB ortamında genetik algoritma araç kutusu, istatistik araç kutusu, Matpower açık kaynak kodlu güç akış benzetim programları ile ilave yazılan fonsiyonları kullanarak yapılmıştır. Yöntem, değiştirilmiş-IEEE 30 bara test sistemine uygulanmıştır. Göz önüne alınan değişiklik, sadece 5' nolu baranın generator barası olarak alınmasıdır. Bu sistemde 1, 2 ve 5' nolu baralar generator baralarıdır. Akış kontrolü için göz önüne alınan (örneğin akış kontratı yapılmış) hat, Şekil B.1' de 2 ile 4' nolu baralar arasındaki hattır. Bu hat üzerinde arzu edilen aktif güç akış değeri 50MW olarak alınmıştır.

Göz önünde bulundurulanan durumlar:

Durum 1: (a, b, c, d) değerleri sırasıyla (40, 49, 51, 59) (Şekil 5.4).

Durum 2: (a, b, c, d) değerleri sırasıyla (45, 49, 51, 55) (Şekil 5.4).

Durum 3: (a, b, c, d) değerleri sırasıyla (48, 49, 51, 52) (Şekil 5.5).

Durum 4: (a, b, c, d) değerleri sırasıyla (40, 49, 51, 59) (Şekil 5.5).

Bara gerilim genlikleri şekil 4.1 ile temsil edilmiştir. Benzetimlerde bu form için d parametresi 0.005 olarak alınmıştır. Aktif ve reaktif güç kayıpları sınırları temel kayıp durumlarının 1.8 katları olarak alınmıştır.

Kontrol değişkenleri alt ve üst limitleri ile esnemez kısıtlar olarak aşağıda verilmiştir.

$$\begin{cases} 0.90 < t_i < 1.10 \\ 0.94 < V_{g_i} < 1.06 \\ 0.00 < P_{g_2} < 140 \\ 0.00 < P_{g_5} < 100 \end{cases} \quad (5.4)$$

Problemde kontrol değişkenleri x vektörü ile ifade edersek örnek test sistemindeki kontrol parametreleri aşağıdaki gibi gösterilir. Burada tanımladığımız x aynı zamanda GA da kromozoma karşılık gelir.

$$x = [t_{6-9}, t_{6-10}, t_{4-12}, t_{28-27}, V_2, V_5, V_8, V_{11}, V_{13}, P_{g_2}, P_{g_5}].$$

GA'daki parametre değerleri:

Topluluk boyu 50,

Topluluk veri tipi gerçek sayılı

Kromozom (string) boyu 11,

Yineleme sayısı 100,

Seçim metodu turnuva seçimi (turnuva boyu 4),

Seçkinlik boyu 2,

Çaprazlama iki-noktadan (Two-point crossover),

Çaprazlama oranı 0.8,

Mutasyon için (Gauss mutasyon fonksiyonu (ölçek oranı 0.5, büzülmüşlük oranı 0.75)) [77].

Bu parametreler %100 başarım oranı elde edilinceye kadar defalarca denenerek seğilmiştir. Kayıt edilen değerler son yirmi benzetim sonuçlarına ait ortalama değerlerdir. Sonuçlar Çizelge 5.13'de verilmiştir.

Çizelge 5.13: Tüm durumlar için elde edilen ortalama değerler.

	Nesil Sayısı	Memnuniyet (üyelik değeri)	Hedef Akış (MW)	$P_{kayıp}$ (MW)	$Q_{kayıp}$ (MVAR)
Durum 1	60.00	0.5409	45.1860	6.5934	30.2120
Durum 2	61.30	0.4816	47.2030	7.1603	32.7890
Durum 3	79.50	0.4010	48.4180	9.0296	39.7800
Durum 4	72.90	0.4079	48.2210	8.3896	37.5860
Temel Durum			41.8600	7.9999	35.0600

Durum 1, 2 ve 3'ün istatistiksel olarak karşılaştırılması:

- Her durum için ortalama en iyi başarımlar değeri oldukça birbirinden farklı olarak elde edilmiştir.
- Durum 3, ortalama yinleme sayısı açısından en kötüdür
- Hedeflenen güç akışı açısından durum 2 ve 3 durum 1 den oldukça farklı ortalamalara sahiptir.

Durum 3 ve 4'ün istatistiksel olarak karşılaştırılması:

- Ortalama en iyi başarımlar değeri ve ortalama yinleme sayıları açısından her iki durum arasında belirgin bir fark yoktur.
- Hedeflenen güç akışı açısından belirgin fark bulunmamaktadır.

Sonuçların karşılaştırılmalarının özeti Çizelge 1'de verilmiştir. Durum 1 en büyük aralığa sahiptir. Dolayısıyla en büyük memnuniyet bu durum için elde edilmiştir. Fakat hedeflenen güç akışı açısından da en kötü durum bu durumdur. Aralık daraldıkça memnuniyet düşmekle birlikte hedeflenen akış değerine daha çok yaklaşılmaktadır. Bu ise beklediğimiz bir sonuçtur. Üretilen çözümde birincil hedefe yaklaşmak önem kazanmaktadır. Trapez formundaki üyelik fonksiyonunda aralığımız ne kadar dar olursa hedef akışa o denli yaklaşılmış oluyor. Bu sonuç durum 3 ile (aralığın en dar olduğu durum) pekiştirilmiş oluyor. Ancak aralığı küçültmek daha iyi hedef değere yönlendirmekle beraber her zaman çözümü garantilememesi nedeniyle büyük bir dezavantaj oluşturabilmektedir.

Üstel formdaki üyelik fonksiyonunun göz önüne alındığı durum 4'den elde edilen sonuçlara baktığımızda, bu durum için elde edilen değerlerin, durum 3 deki değerlere çok yakın olduğu görülmektedir. Üstel form kullanıldığında, bu formun özelliği olan aralık sınırlarına yaklaşıldıkça çok düşük memnuniyet değerleri vermesine karşın tanımlanan aralığın geniş tutulabilmesi nedeniyle bir çözüm elde etme garantisinin yüksek olması bir avantajdır. Ayrıca bu formu kullanmak, form zirvesinde yüksek memnuniyetli alanın darlığı nedeniyle daha iyi hedeflenen akışı elde etmede da avantaj sağlayabilir.

5.4.3 Üyelik fonsiyonlarından elde edilen sonuçların yorumlanması

Kapalı çevrim güç akışı önlenmesi ve/veya kontrolü için bulanık set tabanlı genetik algoritma kullanılmıştır. Metod da pratik uygulamalarda olduğu gibi, güç sistem parametrelerinin sınır değerlerinden ufak sapmalara müsaade edilmiştir. Bu sayede, kapalı çevrim güç akışları kontrol edilebilmektedir.

Eniyileme problemini GA ile çözerken farklı formlara sahip üyelik fonsiyonlarının kapalı çevrim yük akışı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu incelemelerde iki farklı formda üyelik fonsiyonu detaylı olarak test edilmiştir. Bunlar, trapez ve üstel fonsiyon formlarıdır. Trapez form için üç farklı uzunlukta aralık kullanılmıştır. Yani, farklı üçgen kısımlar için farklı eğimler kullanılmıştır. Bu çalışmada varılan sonuç ise üyelik fonsiyonunun formunun optimum sonucu çok fazla etkilemediğidir. Bu nedenle üyelik fonsiyonu olarak trapez formda üstel formda kullanılabilir. Diğer taraftan, trapezoidal formun üçgen kısımlarının eğiminin sonuçlar üzerinde ciddi etkisi sözkonusudur. Aralık daraldıkça (eğim arttıkça) daha iyi sonuç elde edilmekte fakat çözümün garantisi olmamaktadır. Geçerli bir sonuç elde edebilmek arama uzayının boyutuyla sıkı bir şekilde ilintili olduğundan üstel fonsiyon kullanmak daha avantajlı olabilmektedir.

Elde edilen sonuçlar trapez formun kenarlarının (a-b arası ve c-d arası) üstel formda olmasının ele aldığımız eniyileme probleminin çözümünde daha iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir.

6. PARALEL PROGRAMLAMA

6.1 Giriş

Bu çalışmanın temel amacı, enterkonnekte elektrik güç iletim sistemlerinde kapalı çevrim güç akışlarının önlenmesini/düzenlenmesini amaçlayan eniyileme probleminin çözümüdür. Çalışmada bulanık ortamda ele alınan problemin genetik algoritmalar kullanılarak paralel ortamda çözülmesi de diğer bir hedeftir. Çalışmayı gerçekleştirirken hat güç akışlarının akış limitleri içerisinde kalması (kısıtlılık), kapalı çevrimlerde güç akışının istenen değerlerde tutulması (asıl amaç), elektriksel kayıpların en aza indirilmiş olması (ikincil amaç), yük baralarında gerilim profilinin düzenlenmesi (kısıtlılık olarak ele alınacaktır zira gerilimlerin belli bir değerde olması gerekir) gibi ilave amaçlarda söz konusudur. Çalışmada daha önce seri ortamda elde edilen sonuçların öncelikli olarak paralel ortamda da doğru olarak üretilmesi ve sonrasında üretilme sürecinin çok sayıda işlemci kullanılarak daha kısa sürede elde edilebilmesi için paralel programlama ortamları ve paralel hesaplama tekniklerine kısaca bakmak faydalı olacaktır. Problemin paralel ortamda çözülmesi bir zorunluluktur. Çünkü problemin çözümü günlük operasyonel çalışmalarda kullanılmakta ve gün boyunca sayısız kereler tekrarlanmaktadır. Bunun nedelerinden biri enerji arzının sürekliliğini sağlayabilmek için senaryolar dahilinde bu problemin de çözümününun gerekmesidir [81, 82].

6.2 Paralel Hesaplama

Paralel hesaplama seri hesaplamaların bir evrimsel gelişimidir [83]. Paralel hesaplama en genel anlamda bir problemin çözümünde zamandan ve dolaylı olarak da maliyetten tasarruf etmek için birden fazla işlemcinin aynı anda kullanılması işlemidir. Ayrıca, tek bir işlemciyle ya çözülmesi mümkün olmayan ya da çözümü makul bir sürede elde edilemeyen problemlerin çözümlerini gerçekleştirmek için kullanılan bir hesaplama tekniğidir. Paralel ortam ya birden fazla işlemci ortak bir belleği kullanacak şekilde tasarlanmıştır. Ya da her işlemcinin kendisine ait ayrı belleğini kullanacak şekilde

tasarlanmıştır. Birinci durumdaki yapıda her birisi kendisine düşen hesaplama iş yükünü gerçekleştirirken belleğe yazma sırasında işlemcilerin birbirlerini beklemesi dezavantajlı bir durumdur ve bu nedenle çok sayıda işlemci kullanılamamaktadır. İkinci durumdaki yapıda her bir işlemci kendilerine düşen işleri gerçekleştirirken kendilerine gereken verileri hızlı bir haberleşme ağı üzerinden birbirlerine göndererek eldeki büyük problemin çözümünü gerçekleştirirler. Bu yapının dezavantajı ise, çok fazla haberleşme olması durumunda haberleşmeyle geçen süre toplam çözüm süresini uzatmasıdır. Bu iki durumun dışında birde her iki durumu harmanlayan bir yapı vardır. Birinci durum ortak bellekli ortam, ikinci durum dağıtık bellekli ortam, üçüncü durum ise karma bellekli ortam olarak adlandırılır. Her üç durumda da amaç, ya çok uzun süren problemlerin çözüm süresini kısaltmak ya da tek bir işlemcinin yalnız başına çözme süresinin pratik olarak kabulünün mümkün olmadığı kadar uzun olması ya da tek bir işlemcinin yalnız başına çözebilmesinin mümkün olmadığı çok büyük boyutlu problemleri işlemcilerin ortaklaşa çözmesi ilkesine dayanmaktadır.

6.2.1 Paralel hesaplama terminolojisi

İş (Task): Hesaplanacak programın mantıksal olarak ayırık bölümlerinden her biri. Her bir ayırık iş ya tek bir komut ya da komutlar setinden oluşan program parçalarıdır.

Paralel İş (Parallel Task): Çoklu işlemciler tarafından gerçekleştirilen iş.

Seri Uygulama (Serial Execution): Bir programın seri olarak gerçekleştirilmesi (tek bir işlemcili makinalarda olduğu gibi).

Paralel Uygulama (Parallel Execution): Birden fazla iş bölümü halinde hepsinin de aynı anda gerçekleştirilen işler ile bir programın çalıştırılması.

Küme Komut İşleme (Pipelining): Bir işin fazlara bölünerek, her fazın farklı işlemciler tarafından ardışık olarak icra edilmesi. Herhangi bir komut icra edildiğinde komutun bileşenlerinin, getir, kodu çöz, uygula ve geri yaz (fetch, decode, execute, writeback), paralelleştirilmesidir.

Haberleşme (Communications): Paralel uygulama yapılırken veri alış verişine ihtiyaç duyulabilir. Ortak bellekli sistemlerde ortak bara (bus) kullanılarak sağlanırken, dağıtık bellekli sistemlerde sistemdeki ağ yardımı ile sağlanır.

Senkronizasyon (Synchronization): Bir işin paralel olarak çözülmesinde bazen

programın çeşitli aşamalarında veri alış verişine ya da o ana kadar elde edilmiş sonuçların diğerlerine iletmesine ihtiyaç vardır. Bu durumda ihtiyaç duyulan iş parçacıklarının belli bir noktada beklenip alış verişin gerçekleşmesi sağlanır. Daha sonra yine işlemler paralel olarak gerçekleştirilmeye devam edilir. Bu beklemler programın toplam iş süresinde artışa sebep olur.

Ölçekleme (Granularity): Paralel hesaplamada hesaplama süresinin haberleşme süresine olan oranıdır. Bağlı bir büyüklüktür.

- **Kaba-Ölçekli (Coarse-grained):** Paralel programlamada, paralel yürütülen iş parçacıklarının büyük boyutlu olmasıdır. Dolayısı ile işlemciler arası haberleşmenin az, işlemcilerin her birindeki hesaplama iş yükünün çok fazla olduğu durumdur. İşlemciler arası haberleşme fazla olmaz. İş parçacıkları büyük boyutlu olduğundan hesaplama süreleri daha fazladır. Bundan dolayıda hızlanma ince ölçeklemeye göre daha azdır.
- **İnce-Ölçekli (Fine-grained):** Paralel programlamada, paralel yürütülen iş parçacıklarının küçük boyutlu olmasıdır. Dolayısı ile işlemciler arası haberleşmenin çok sık olduğu ve işlemcilerdeki hesaplama zamanının az olduğu durumdur. Paralel çalışmaya çok elverişli, hızlanma fazla olmasına rağmen haberleşme ek yüklerinin artması ile senkronizasyon problem olmaktadır.

Gözlenen Hızlanma (Observed Speedup) : Paralleştirilmiş bir kodun gözlemlenen hızı şu şekilde tanımlanabilir.:

$$\text{hızlanma} = \frac{\text{Seri hesaplamamanın süresi}}{\text{Paralel hesaplamamanın süresi}} \quad (6.1)$$

Paralel bir programın performansını gösteren en kolay ve en çok kullanılan yöntemdir.

Paralel Ortam Maliyeti (Parallel Overhead) : Paralel işlerin sadece kordinasyonu için harcanan ve gerçek işe faydası olmayan bir zamandır. Bu zaman aşağıdaki faktörleri içermektedir:

- paralel iş(ler)i başlatma,
- işlemciler arasında gerektiğinde senkronizasyon,

- veri/sonuç alış verişi,
- paralel derleyiciler, kütüphaneler, araçlar, işletim sistemi ve benzeri gibi yazılım kaynaklı ek yükler,
- paralel iş(ler)i sonlandırma.

Herhangi bir program alınıp bellek kullanımı, hız ve girdi/çıkış işlemleri açısından en verimli şekilde çalışır hale getirildiği varsayılın. Bu program alınıp paralel ortama taşınınsın ve doğru çalışması sağlandıktan sonra tek işlemciyle çalıştırılınsın. Yani, paralel ortamda tek işlemci kullanılarak elde edilen çözüm süresi ile seri çözüm süresi karşılaştırıldığı zaman paralel program seri programa göre %5 ile %20 arasında daha uzun zaman alacaktır. İşte yalnızca programın paralel ortamda çalışır hale getirilmiş olmasının maliyeti paralel ortam maliyeti olarak adlandırılır ve ciddi oranda yüksektir.

Çok yoğun paralellik (Massively Parallel) : Paralel işlem yapabilmek için yüzbinlerce kısıtlı işlem yapabilme kapasitesine sahip işlemcinin donanımsal olarak bir arada bulunduran bilgisayar mimarileridir.

Problemin doğası gereği işlerin birbirinden bağımsız olması, ayrık hesaplanabilmesi (Embarrassingly Parallel): Yapılacak işler arasında ya çok az ya da hiç bir koordinasyona veya veri alış-verişine gerek kalmadan aynı anda benzer bir çok işin bağımsızca yapılabilirliğidir.

Ölçeklenebilirlik (Scalability): Paralel sistemin (donanımsal/yazılımsal) yeteneğinde sisteme daha çok işlemci eklendikçe hızının orantısal olarak artmasıdır. Yani, daha çok kaynakla daha büyük boyutlu problemleri çözebilme yeteneğidir.

Ölçeklendirilebilirliği etkileyen faktörler:

- Donanım - bellek-işlemci bant genişliği ve ağ bağlantısı
- Uygulanan algoritma
- Paralel ek yükler
- Program kodunun ve uygulama programlarının karakteristikleri.

Önbellek/Bellek Veriler Arası Tutarlılık (cache coherency) Bellek ve önbellekteki veriler arasında tutarlılığı sağlayan bir protokoldür. Çok işlemcili ortak bellekli

sistemlerde aynı anda birden fazla işlemci aynı veriyi işlemesi gerekebilir. Bundan dolayı işlemcilerden biri veriyi işlerken diğer işlemcinin o anda içeriği değişmiş veriye ulaşması riski vardır. Bellekten veri okumuş/yazmış işlemciler yaptıkları bu değişiklikleri diğer işlemcilere bildirmeleri gereklidir. Bunu yaparken bir trafiğe sebep olurlar. Bu trafiğin yoğunluğu sistemdeki işlemci sayısına bağlıdır. Trafik yoğunluğunun artması sistemlerin performansını kötü şekilde etkileyecektir.

Çok-çekirdekli işlemciler (Multi-core Processors) : Tek bir chip üzerinde çoklu çekirdekli işlemciler.

6.2.2 Paralel bilgisayar bellek mimarileri

6.2.2.1 Ortak Bellekli (shared memory) Mimariler

Donanımsal açıdan bütün işlemcilerin (çekirdeklerin) ortak fiziksel belleğe ulaşabileceği bir bilgisayar mimarisidir. Programlama açısından paralel iş yapan bütün işlemcilerin kendi gerçek belleklerinin nerede olduğuna bakmaksızın ortak bellek alanına ulaşır ve gerekli değişikliği yapar. Bellek adreslemesi tektir. Herhangi bir bellek adresi tüm çekirdeklerde (ya da işlemcilerde) aynı yeri gösterir. Bu tür mimariler programlama açısından kolay fakat ölçeklenebilirlik açısından iyi değildirler.

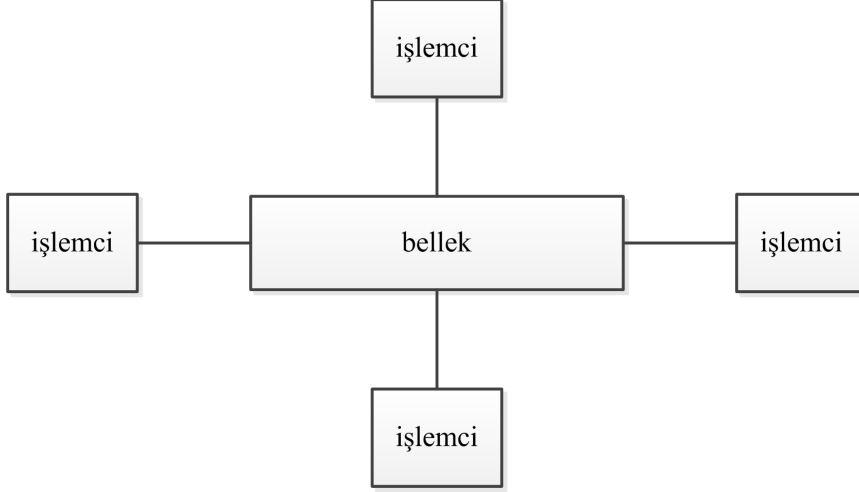
Ortak bellekli paralel bilgisayarların genel özelliği ağ içerisindeki bütün işlemcilerin bütün bellek alanına eşit hakla aynı erişim süresi içerisinde ulaşılıyor olmalarıdır. Bir işlemcinin bellekte yaptığı değişiklik tüm işlemciler tarafından görülür.

Avantajları

- Adres alanının ortak olma özelliğinden dolayı bellek açısından kullanıcıya programlama kolaylığı sunar.
- İş bölümleri arasında veri paylaşımı belleğin işlemciye yakınlığı dolayısıyla daha hızlıdır.

Dezavantajları

- Bellek ile işlemci arasında ölçeklendirilebilme olanağı yoktur. Bir işlemcinin eklenmesi ortak bellek ile işlemci arasındaki trafiği artıracaktır. Sistemde



Şekil 6.1: Ortak bellekli paralel bilgisayar sistemi.

veriler arası tutarlılığı sağlayacak bir protokole ihtiyaç vardır. Geometrik olarak önbellek/bellek yönetimi açısından trafik artımı söz konusudur.

- Ortak belleğe ulaşımında senkronizasyon programcının sorumluluğundadır.
- Ortak belleğe ilave işlemci koymak oldukça güç ve masraflı bir iştir.

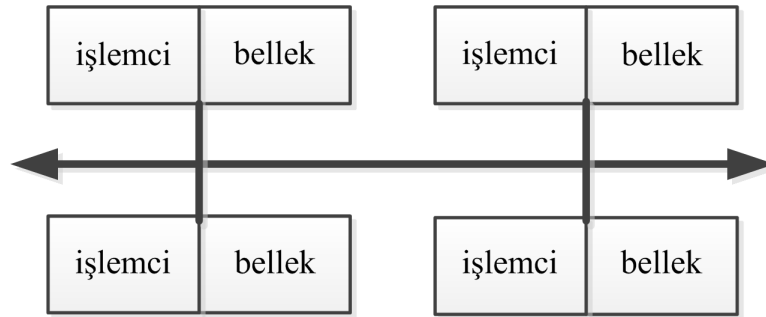
6.2.2.2 Dağıtık bellekli (distributed memory) mimariler

Donanımsal açıdan fiziksel olarak ortak belleği olmayan işlemciler kendilerine ait ayrı ayrı belleklere sahiptirler. Diğer işlemcilerle hızlı ağ üzerinden haberleşme yolu ile veri ya da sonuçları paylaşmaları gerekebilir.

Dağıtık bellekli sistemlerde her işlemcinin kendi yerel belleği mevcuttur. Bellek adresleri birbirleriyle eş olma zorunluluğu yoktur. Her işlemci birbirinden bağımsız olarak çalışır. Birinin belleğindeki bir değişiklik diğerini etkilemez. O yüzden de önbellek/bellek arasında verilerde tutarsızlık problemi mevcut değildir. Bir işlemcinin diğer işlemcinin belleğine ulaşması ancak haberleşme ağı ile mümkündür. İşlemciler arasında verinin iletilmesinde oluşacak senkronizasyon problemi programcının sorumluluğundadır. Ağ bağlantısının yapısı sistemin performansını etkiler.

Avantajları

- İşlemci sayısındaki artış ile bellek ölçeklendirilebilir. İşlemci sayısındaki artış ve bellek boyutu orantısız artacaktır.
- Her bir işlemci kendi belleğine her hangi bir engelleme olmadan ulaşabilir.
- Eldeki mevcut işlemciler ile ağın kullanılabilmesinden dolayı maliyet açısından daha uygundur.



Şekil 6.2: Dağıtık bellekli paralel bilgisayar sistemi.

Dezavantajları

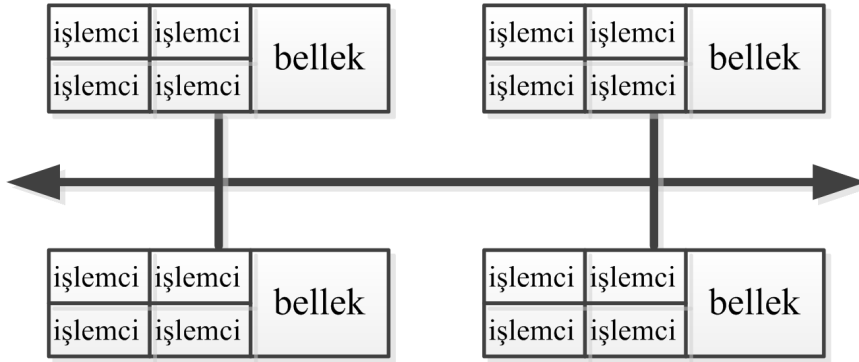
- İşlemciler arasında veri alış verişi ile ilgili tüm detaylar tamamıyla programcının sorumluluğundadır.

6.2.2.3 Karma bellekli (hybrid memory) mimariler

Dünyadaki en büyük ve hızlı bilgisayarlar bu her iki yapıyıda barındıran sistemlerdir. Güncel eğilimin gösterdiği, yakın gelecekte bu yapıdaki bellek mimarisinin üst seviyede hesaplama alanında kullanımının artacağı yönündedir.

Avantajları

- Kısmi olarak ortak bellekli mimarilerdeki gibi programlama sağlarken, aynı anda dağıtık bellekli mimarilerdeki gibi de ölçeklenebilirlik özelliğine sahiptir.
- İşlemci düğümü/ünitesi içerisinde ortak bellekli, düğümler/üniteler arası mesaj gönderimli karma programlama modeline olanak sağlar.
- Global tek bir adres uzayı mevcuttur.



Şekil 6.3: Karma bellekli paralel bilgisayar sistemi.

Dezavantajları

- Ünite/düğüm içerisindeki belleğe erişim hızlı iken diğer ünitelerdeki/düğümdeki belleklerde bulunan verilere erişim daha yavaştır.
- Hesaplama düğümü/ünitesi arttıkça haberleşme mesafesi uzar.

6.2.3 Paralel programlama modelleri

6.2.3.1 Ortak bellekli

Ortak bellekli programlamada bir işin bölümleri ortak bellek alanından okunur ve yapılan işin sonunda yine ortak belleğe yazılırlar. Bu işlemi de asenkron biçimde yaparlar. En önemli avantajı işlemciler arasında veri alış verişinin olmamasıdır. Bu özellikten dolayı bu modelde programlama daha basittir. En önemli dezavantajı ise veri lokalitesinin olmamasıdır. Bundan dolayı fazla işlemci kullanıldığında aynı veriyi kullanacak işlemciler arasında büyük trafikler oluşur. Uygulama alanı genellikle ortak bellekli mimariler, ya da karma bellekli mimarilerdeki ortak bellekli düğümler/ünitlerdir.

6.2.3.2 Mesaj gönderimli (message passing)

Mesaj gönderme kütüphaneleri sayesinde dağıtık bellekli makinalarda oldukça elverişli bir modeldir. Bu kütüphaneler verileri paketler halinde gönderme - alma gibi rutinlerle mesajlaşma ortamı yaratırlar. Bunlardan bilimsel ve mühendislik uygulamalarında en çok kullanılan MPI (Message Passing Interface) dir. MPI'ın uygulamaları iş istasyonları, öbek bilgisayarlar (clusters of personal computers), dağıtık bellekli çoklu işlemcili bilgisayarlar ve azda olsa ortak bellekli bilgisayarlardır [84].

6.2.3.3 Efendi/köle (master/slave)

Efendi işlemci problemi küçük parçalara (işlere) ayırmakla, bu işleri sistemdeki köle işlemcilere dağıtmak ve köle işlemcilerden sonuçları toplamakla sorumludur. Köle işlemciler sadece kendilerine gönderilen işleri bir mesajla alırlar. Verilen işi yaptıktan sonra sonucu efendi işlemciye gönderirler. Bu ortamda köle işlemciler arasında birbirleriyle haberleşme yoktur. Sadece efendi ile her bir köle arasında teke tek haberleşme vardır. Bu model ile belli bir ölçeklenebilirlik derecesiyle yüksek hesaplama hızına ulaşılır. Ancak, köle işlemci sayısı arttıkça tek kontrolü sağlayan efendi işlemciye ulaşımında tıkanmalara (bottleneck problemi) sebep olunur. Bu

problem, bu programlama modelinde birden fazla efendi işlemci kullanılması ile, belli bir ölçüde aşılabılır [84].

6.2.3.4 Tek programlı çoklu verili (single program multiple data, SPMD)

Çok kullanılan bir metottur. Her işlemci temel olarak aynı kodu farklı veri seti üzerinde uygular. Bu tip paralelleştirmeye geometrik paralelleştirme veya veri paralelleştirilmesi de denir. Verinin iyi dağıtılması ve de sistemin homojen olması durumunda SPMD uygulamaları oldukça etkin sonuçlar üretir.

6.2.3.5 Veri kümeli komut işleme (data pipelining)

Verilerin küme komut işleme ile ardışık olarak işlenmesi bir algoritmanın en basit, en popüler ve fonksiyonel ayrıştırma metodudur. Bu yüzden bu modele daha çok ince-ölçekli paralelleştirme de denir. İşlemciler ardışık olarak düzenlenmiş ve her bir işlemci düzenekte bir işe karşılık gelir ve özel bir iş için adanmış olur. İletişim yapısı ardışık düzen yapısından ötürü çok basittir çünkü veri düzenek içinde art arda gelmektedir. Bu nedenle bu tür bir paralelleştirme veri paralelleştirme adını alır. Haberleşme tamamen asenkron olabilir.

6.2.3.6 Böl ve yönet (divide and conquer)

Böl ve yönet yaklaşımı daha çok ardışık algoritma geliştirme olarak da bilinir. Problem iki veya daha çok alt problemlere bölünür. Her bir alt problem birbirinden bağımsız olarak çözülür. Daha sonra bu alt çözümler birleştirilerek bütün problemin çözümü oluşturulur. Genellikle küçük problem parçaları orjinal problemin daha küçük halini alır ve ardışık olarak çözümlenme gerçekleşmiş olur. Paralel böl ve yönette alt problemler eş zamanlı olarak çözülmüş olur. Bu metotta üç tane hesaplama operatörü ortaya çıkıyor. Bunlar bölme, hesaplama ve birleştirmedir. Efendi-Köle modeli böl ve yönet modelinin biraz modifiye edilmiş halidir. Efendi-Köle problemin bölünmesi efendi işlemci köle işlemcilere daha gönderilmeden yapılır. İşin bölünmesi ve tekrar toplanması efendi tarafından gerçekleştirilir. Köle işlemciler sadece hesaplamadan sorumludurlar. Böl ve yönet metodu genel olarak bölme ve dağıtma olmak üzere iki faktörün paralelleştirilmesi ile karakterize edilir.

Paralleleştirmede hem bölme hem de dağıtma işi statik olarak gerçekleştirilir. Veri ardışık düzeninde fonksiyonel ayrıştırma ve dağıtma işlemleri statiktir. Efendi-Köle paraleleştirmede iş bölümü statik olarak yapılırken dağıtımı dinamik olarak yapılır. Böl ve yönet modelinde hem bölme hem de dağıtma dinamik olarak gerçekleştirilir.

6.2.3.7 İlmekler (threads)

Daha çok bir programın aynı anda gerçekleştirilebilecek alt birimleridir ve ortak bellekli ya da tek adres uzaylı belleğe sahip mimarilerde kullanılır.

6.2.3.8 Karma (hybrid) model

Karma model birden fazla modelin kombinasyonudur. Genellikle çok büyük boyutlu paralel uygulamalarda uygulanır. Bu programlama modeli ya problemin yapısına bağlı olarak ya da kullanılan donanımın yapısına bağlı olarak tercih edilebilmektedir.

6.2.4 Paralel program tasarımı

6.2.4.1 Problemi anlamak

Problemin paraleleştirmeye uygun mu değil mi incelenmesi gerekmektedir. Verilerin, işlemlerin birbirlerine bağımlılığının olup olmadığının incelenmesi gereklidir. Programda en önemli hesaplama işinin nerelerde olacağını tespit edilmesi gerekmektedir. Programda bir yerlerde tıkanma olup olmayacağı, algoritmanın uygunluğu gibi konuların da incelenmesi gereklidir. Bu kriterlerin araştırılması sonucunda elde edilen verilere göre hangi paralel modelin o probleme uygun olacağına karar verilir.

6.2.4.2 Programın ayrıklaştırılması (decomposition or partitioning)

Hesaplama işini paraleleştirmede iki temel yol vardır. Alan ayrıştırması, fonksiyonel ayrıştırma.

Alan ayrıştırmasında verinin ayrıklaştırılması yapılır. Her paralel iş ayrı veri parçası üzerinde çalıştırılır. Fonksiyonel ayrıştırmada problemde gerçekleştirilecek işlerin ayrıklaştırılması yapılır. Bu işler paralel olarak çalıştırılır.

6.2.4.3 Haberleşme

İş bölümleri arasında haberleşmenin olup olmayacağı tamamen problemin yapısına bağlıdır. Programda iş bölümleri arasındaki haberleşmenin tasarımında göz önünde bulundurulması gereken faktörler vardır. Bunlar:

- Haberleşmenin maliyeti,
- Gecikme -Bant Genişliği (Latency vs. Bandwidth),
- Haberleşmenin gerekli olduğunun açıkça görülüp görülememesi,
- Haberleşmenin senkron mu asenkron mu olacağı,
- Haberleşme kapsamında nelerin olacağı,
- Haberleşmenin verimi,
- Haberleşmenin getirdiği ek yükler, ve problemin karmaşıklığı.

6.2.4.4 İşin dengeli dağıtımı (load balancing)

İşin dengeli dağıtımı paralel çalışmanın verimi açısından önemli bir faktördür. Bazı işler, bir takım işlemcilerin diğerleri çalışmaya devam ederken işini erken tamamlayıp beklemesi problemin çözüm süresinin artmasına katkıda bulunacaktır. Bu durumda kaynaklar verimli bir şekilde değerlendirilmemiş olacaktır. O yüzden işlerin bölünmesinde ve verilerin dağıtılmasında mümkün olduğunca eşitlik sağlanmalıdır. Bunun için iş dağıtımı yapan bir kaynak yönetim programı kullanılabilir (Load Sharing Facility, LSF).

6.2.4.5 Paralel programlamada limit ve maliyetler

Amdahl's Law:

- Amdahl's yasasına göre bir programın hızı o programın paralelleştirilebilirlik oranı ile tanımlanır [85]. Bir programın paralelleştirilebilirlik oranı (P) olsun:

$$\text{hız} = \frac{1}{1 - P} \quad (6.2)$$

- Eğer program hiç paralelleştirilemezse, $P = 0$ ve hızlanma = 1 olur.
- Eğer programın tamamı paralelleştirilebilinirse, $P = 1$ ve hızlanma teorik olarak sonsuz olur.
- Kodun %50'si paralelleştirilebilirse, maksimum hızlanma = 2, program iki katı hızlı çalıştırılmış olur.
- Bir programın paralelleştirilebilir kısmını belli bir sayıda işlemci kullanarak problem çözülrse kullanılacak işlemci sayısı ile hız arasındaki bağıntı da şöyle tanımlanmıştır:

$$\text{hız} = \frac{1}{\frac{P}{N} + S} \quad (6.3)$$

P = programın paralel kısmı, N = işlemci sayısı, S = programın seri (paralelleştirilemeyen) kısmı.
- Aşağıdaki örnek çizelgede görüldüğü gibi paralelliğin, sisteme giren işlemci sayısı ile ölçeklendirilmesinde bir sınır vardır.

Çizelge 6.1: Hız işlemci sayısı.

N	$P = 0.50$	$P = 0.90$	$P = 0.99$
10	1.82	5.26	9.17
100	1.98	9.17	50.25
1000	1.99	9.91	90.99
10000	1.99	9.91	99.02
100000	1.99	9.99	99.90

6.2.4.6 Verimin incelenmesi, düzeltilmesi

Paralel programlama terminolojisinde ölçeklendirilebilirlik teriminde değinilen konulara eğilinmesi ile gerçekleştirilir [86, 87].

6.3 Paralel Genetik Algoritmalar (Parallel Genetics Algorithms, PGAs)

Genetik algoritmalar birçok farklı alanda oldukça zor problemleri çözen güçlü arama/eniyileme teknikleridir. İşlemsel kolaylıklarına rağmen, genetik algoritmalar karmaşık ve doğrusal olmayan algoritmalarıdır. Ayrıca hesaplama yükü ve bellek açısından da oldukça talepkardır. Bir problemi çözerken binlerce hatta onbinlerce fonksiyon hesaplaması gerekebilir. Bu yüzden genetik algoritmalarda fonksiyon hesaplamaları oldukça maliyetlidir. Ancak genetik algoritmalarda bir topluluk oluşturan bağımsız aday çözüm setleri üzerinde çalışıldığından dolayı doğası gereği paralelleştirilmeye uygun algoritmalarıdır [88–92].

Genetik algoritmaların paralel uygulamaları oldukça yaygındır. Çoğunlukla karmaşık yapıları problemlerde de kabul edilebilir çözümlere, seri çözümlere oranla, daha kısa sürelerde ulaşılabilir. Genetik algoritmalar neredeyse tamamen paralel gibi gözükselerde PGAs yapıları ve işlemsel kolaylıklarına rağmen, verimlilikleri ve aramadaki başarıları bir çok parametreye bağlı karmaşık ve doğrusal olmayan algoritmalarıdır [93–95].

Genetik algoritmaları paralelleştirirken neye göre gruplandırılacağını belirleyen bazı önemli kriterler vardır. Bunlar:

- Başarım hesaplaması ve mutasyonun nasıl yapılacağı,
- Seçim operatörünün yerel mi global mi uygulanacağı,
- Tek bir topluluk mu, çoklu topluluk mu mevcut olacağı,
- Çoklu topluluk kullanılacaksa bireylerin nasıl değiştirileceği.

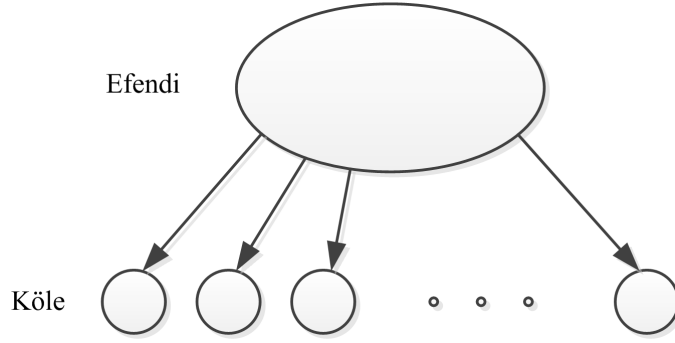
En temel PGAs üç grupta toplanabilir. Efendi-köle algoritmaları, tek bir topluluk üzerinde çalışılır. Daha karmaşık yapıya sahip olan birden fazla topluluk üzerinde çalışılan algoritmalar, ince-ölçekli ve kaba-ölçekli algoritmalar. Üçüncüsü de diğer iki tip algoritmaların bir hiyerarşik kombinasyonu olarak ortaya çıkan algoritmalarıdır [96].

Bu algoritmalar arasındaki önemli bir fark, efendi-köle metodu standart GA'nın çalışma biçimini etkilemezken, ince-ölçekli ve kaba-ölçekli metotlar GA'nın çalışma biçimini etkilemektedir. Örneğin efendi-köle metodunda seçim operatörü tüm topluluk içerisinde bütün bireyler kullanılarak yapılırken ince-ölçekli ve kaba-ölçekli metotlar da seçim sadece belirlenen alt topluluk gruplarındaki bireyler içerisinde yapılır.

6.3.1 Efendi-köle paralelleştirme

Dağıtık başarımların hesaplama veya global paralelleştirme olarak da adlandırılır [97]. Global paralelleştirmede bilgisayar mimarisi açısından bir sınırlama yoktur. Bu metot hem ortak bellekli hem de dağıtık bellekli bilgisayarlarda rahatlıkla uygulanabilir. Ortak bellekli çok işlemcili bilgisayarlarda topluluk ortak bellekte bulunur. Hiç bir çatışma olmadan her işlemci kendisine atanan bireyleri okur, başarımlarını hesaplar ve sonucu ortak belleğe yazar. Dağıtık bellekli bilgisayarlarda topluluk sadece efendi işlemcilerde kayıtlıdır. Kullanılacak işlemci sayısına göre topluluğu bölüp diğer işlemcilerle gönderilmesi, başarımların hesaplandıktan sonra tekrar toplanması ve diğer GA operatörlerinin uygulanarak yeni nesil topluluğun oluşturulması efendi işlemcinin sorumluluğundadır. Başarımların hesaplanması diğer işlemlerden tamamen bağımsızdır. Bunun için haberleşme gerekmemektedir. Haberleşme sadece her bir köle işlemciye başarımların hesaplanacakları bireylerin gönderilmesi ve başarımların hesaplanması bittikten sonra sonucun efendi işlemciye gönderilmesi aşamalarında gerçekleşmektedir. Algoritma başarımların sonucunu bekler, tüm başarımlar geldikten sonra diğer işlemlere geçilmesi durumunda algoritmaya senkron algoritma denir. Eğer tüm sonuçların işlemcilerden dönmesi beklenmeden diğer aşamalara geçilirse bu durumda algoritmaya asenkron algoritma denir. En yaygın global GA uygulaması ise senkron uygulamadır [98].

Bu algoritma paralel genetik algoritmalarından ilk başarılı uygulamalar arasında yer almaktadır. Tek bir topluluk aday çözüm seti vardır. Bu topluluk kullanılacak işlemci sayısı ne kadar ise ona göre dağıtılır. Sadece başarımların fonksiyonu paralel olarak hesaplanır. Diğer genetik algoritma operatörleri, seçim, çaprazlama ve mutasyon seri olarak yapılır. Her yinelemede yeni oluşturulmuş topluluk işlemci sayısına bölünerek oluşan alt topluluk efendi tarafından kullanılacak işlemcilerle dağıtılır.



Şekil 6.4: Efendi-köle paralel GA.

Fonksiyon hesaplamasını bitiren işlemci sonucu efendi işlemciye gönderir. İşlemci gelen sonuçları toplar, arkasından bir sonraki yineleme için genetik operatörleri uygulayarak yeni nesil topluluğunu seri olarak oluşturur. Paralel sistemdeki köle işlemci sayısı arttıkça iletişim süreleri giderek artış gösterecektir. Bu çekince den dolayı bu metod uygulaması diğer metotlara göre daha kolay olmasına rağmen, çok sayıda işlemci kullanmak yerinde olmayacaktır. Optimum işlemci sayısını belirlemede, başarımların hesaplanma süresine bağlı olarak problemler farklılık gösterecektir.

Efendi-köle GAs tercih edilmişindeki bazı nedenler:

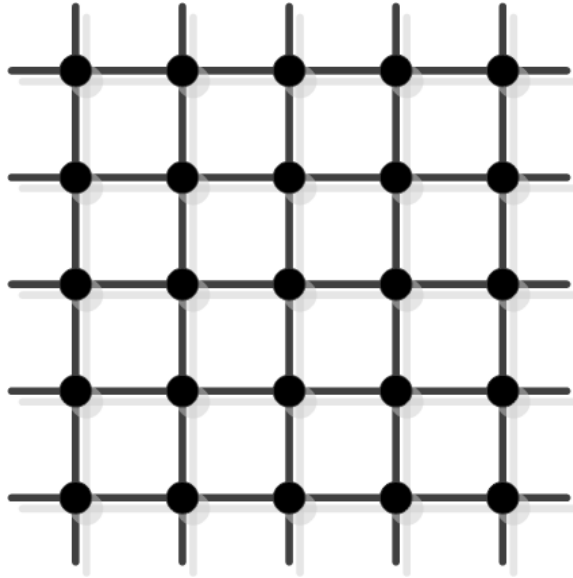
- Arama uzayını taraması aynen seri GA'da olduğu gibidir. Bu yüzden yeni bir tasarım gerekmemektedir. Temel GA aşamaları aynen uygulanmaktadır.
- Uygulanması kolaydır. Bu yüzden uygulayıcılar arasında çok tercih edilir.
- Bir çok durumda bu yolla paralelleştirmede performans açısından belirgin iyileşmeler elde edilmiştir.

Efendi-köle PGAs'da hesaplama zamanının iki bileşeni; hesaplama için kullanılan zaman, efendi işlemci ile köle işlemciler arasındaki haberleşmeler için geçen zaman. Hesaplama zamanının süresi topluluk boyu ile doğru orantılıdır. Topluluk boyu küçültülerek GA'nın hızlandırılması düşünülebilir. Fakat bu durumda çözümdeki doğruluk etkilenebilir. Bu yüzden topluluk boyu rastgele küçültülemez.

6.3.2 İnce-ölçekli paralel GAs (cellular GAs)

Yine tek bir topluluk söz konusudur. Topluluk içerisindeki her bir birey bir ızgara üzerindeki bir noktaya yerleştirilmek üzere bilgisayarların bir veya iki boyutlu büyük bir toroidal ızgara şeklindeki düzlem üzerinde dizilmesinden oluşmuştur. Başarım hesaplaması her bir birey için eş zamanlı olarak her bir işlemcide yapılır. Diğer GA operatörleri seçim, çaprazlama ve mutasyon yerel olarak daha önceden tanımlanmış küçük komşuluklar içerisinde yapılır.

Massively paralel bilgisayarlarda uygulanması çok elverişlidir.



Şekil 6.5: Fine-grained paralel GA.

6.3.3 Birden fazla topluluklu veya kaba-ölçekli paralel GAs (dağıtık GAs veya coarse-grained GAs)

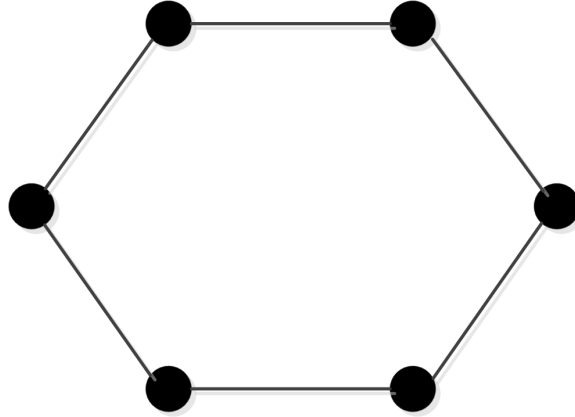
Çok topluluklu GAs daha karmaşık yapıya sahiptir. Haberleşme zamanının hesaplama zamanına oranı küçük olduğundan genellikle dağıtık bellekli bilgisayarlarda uygulanırlar. Ayrıca ada (island) model GAs olarak da bilinir. Topluluklar alt topluluklara ayrılır birbirinden izole olarak bölümlendirilir. Bazen alt topluluklar arasında bireyler arasında yer değişimi (migrate) de söz konusudur.

Birden fazla topluluk gruplarından oluşan GAs'ın tasarımında önemli olan konuların;

- topluluğun boyutunun ve sayısının,
- toplulukların birbirleri arasındaki bağlantının yapısının,
- kaç tane bireyin yer değiştireceğini kontrol eden yer değiştirme oranının (migrate rate) tespit edilmesidir. Ayrıca bunlara ilave olarak yer değiştirecek bireylerin nasıl tespit edileceği ve topluluk içerisinde mevcut bireylerle nasıl yer değiştirileceği ve de hangi sıklıkla değişimin yapılacağına da karar verilmesi gerekmektedir. Daha çok parametre söz konusu olduğu için çalışılması ve anlaşılmasında güçlükler vardır.

En yaygın kullanılan yer değiştirme yapıları: halka (ring), 2 boyutlu ve 3 boyutlu ızgara (mesh), hiper küp (hyper cubes) ve rastgele çizge (random graph).

Birden fazla topluluklu paralel GAs, standart GAs'ın davranışlarından farklı, temel değişimler sergilemektedirler.

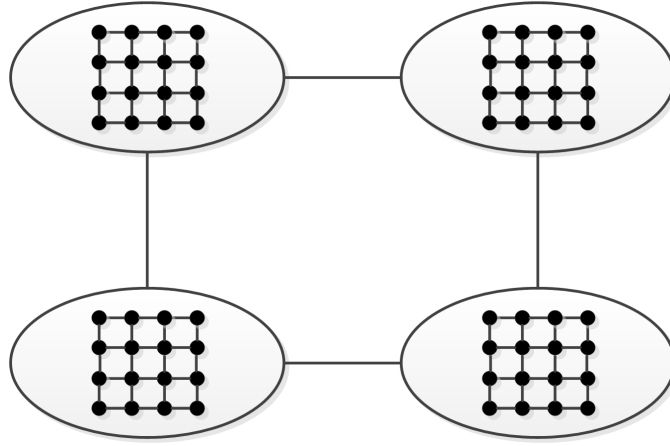


Şekil 6.6: Çoklu topluluk paralel GA.

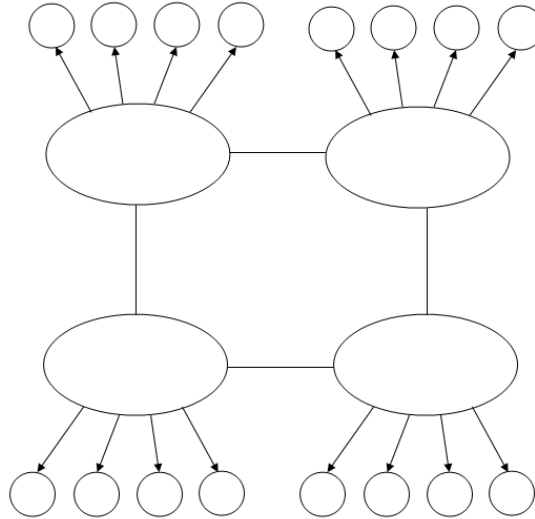
6.3.4 Karma paralel algoritmalar

Çoklu topluluklu paralel GAs ile efendi-köle veya ince-ölçekli GAs'ın belirli biçimlerde birleştirilmelerinden oluşturulmuştur. Bu algoritmalar diğer gruplardaki algoritmaların üstünlüklerini birleştirerek daha iyi performans sergilemektedirler.

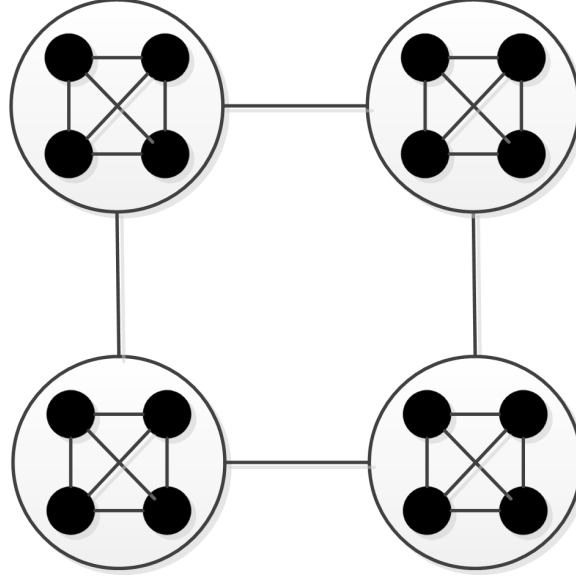
Hiyerarşik paralel algoritmalar ile oluşturulan karma algoritmalar karmaşık yapıya sahip paralel algoritmaların karmaşıklık seviyelerini daha da artırmaktadır.



Şekil 6.7: Karma GA (üst seviye çoklu topluluklu GA ile alt seviye fine-grained GA).

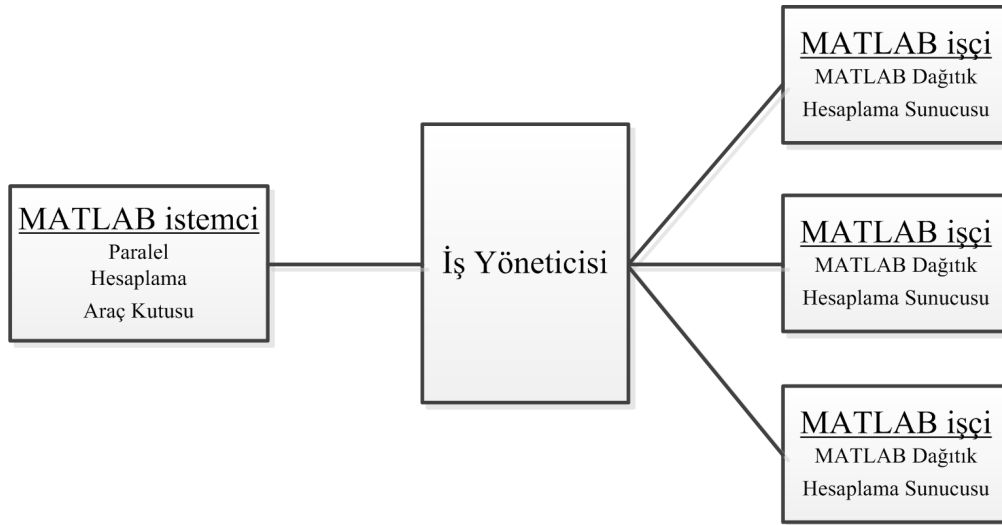


Şekil 6.8: Karma paralel GA (üst seviye çoklu topluluklu GA ile alt seviye her düğüm efendi-köle GA).



Şekil 6.9: Karma paralel GA (hem üst hem alt seviye çoklu topluluklu).

6.4 MATLAB Paralel Hesaplama Aracı / Dağıtık Hesaplama Sunucusu (MATLAB Parallel Computing Toolbox / Distributed Computing Server)



Şekil 6.10: MATLAB paralel hesaplamının temel yapısı [99].

Çok çekirdekli ve çoklu işlemcili bilgisayarlarda MATLAB Paralel Hesaplama Aracı ve MATLAB Dağıtık Hesaplama Sunucusu yazılımları ile hem hesaplama hem de veri açısından çok yoğun problemlerin çözümü gerçekleştirilebilir.

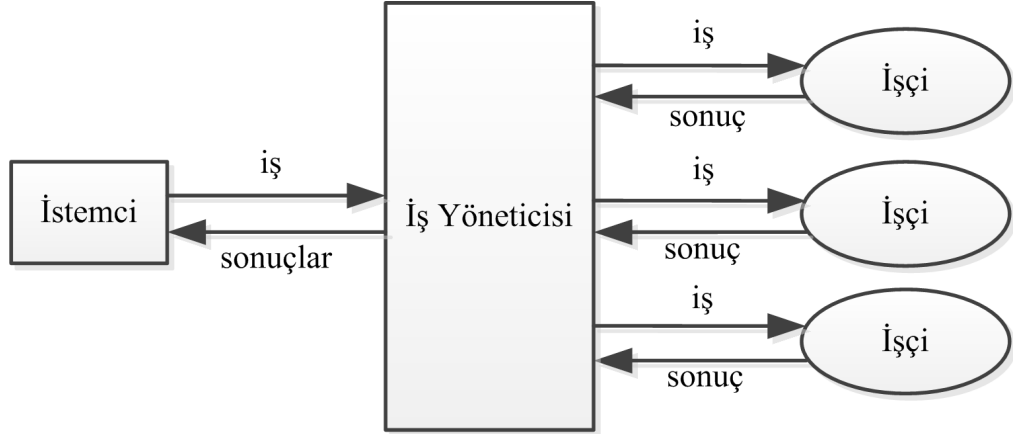
Paralel işlemlerle loop paralelleştirme, blok paralelleştirme, dağıtık diziler, sayısal paralel algoritmaların paralelleştirilmeleri ile mesaj gönderme rutinleri sayesinde de iş

paraleliği (task-parallel), veri paraleliği (data-parallel) algoritmaları özel bir bilgisayar mimarisi ve donanımı gerektirmeden gerçekleştirilirler.

MATLAB oturumunda yapılmak istenen iş küçük parçalara ayrılır. İşin tanımlandığı ve küçük parçalara ayrıldığı MATLAB oturumuna istemci (client) adı verilir. İstemci paralel hesaplama araç kutusunu kullanarak tanımlanan işi gerçekleştirir. Dağıtık hesaplama programı iş bölümündeki parçaların hesaplanmalarını sağlayarak sonuçların istemciye geri dönmesini gerçekleştirir.

Sunucu yazılımının bir parçası olan iş yöneticisi (job manager) belirlenen işin gerçekleştirilmesini ve iş bölümlerinin hesaplanması işini koordine eder. İş yöneticisi küçük iş parçacıklarının hesaplanmaları için onları diğer köle işlemciler (worker) dağtır.

MATLAB içerisinde mesaj gönderme rutinlerinden MPI kütüphanesi bulunmaktadır. İstenirse bilgisayar sisteminde daha önceden kurulu olan MPI kütüphanesi de kullanılabilir. Bunun kurulum aşamasında seçilmesi gerklidir.



şekil 6.11: Paralel hesaplama veri akışı iş akış şeması [99].

MATLAB Paralel Hesaplama Araç Kutusu

Bir paralel işin istemci tarafından aşamaları:

- Kullanılacak iş yöneticisini tespit etmek.
- İşi oluşturmak.
- İşi küçük iş parçalarına bölmek.

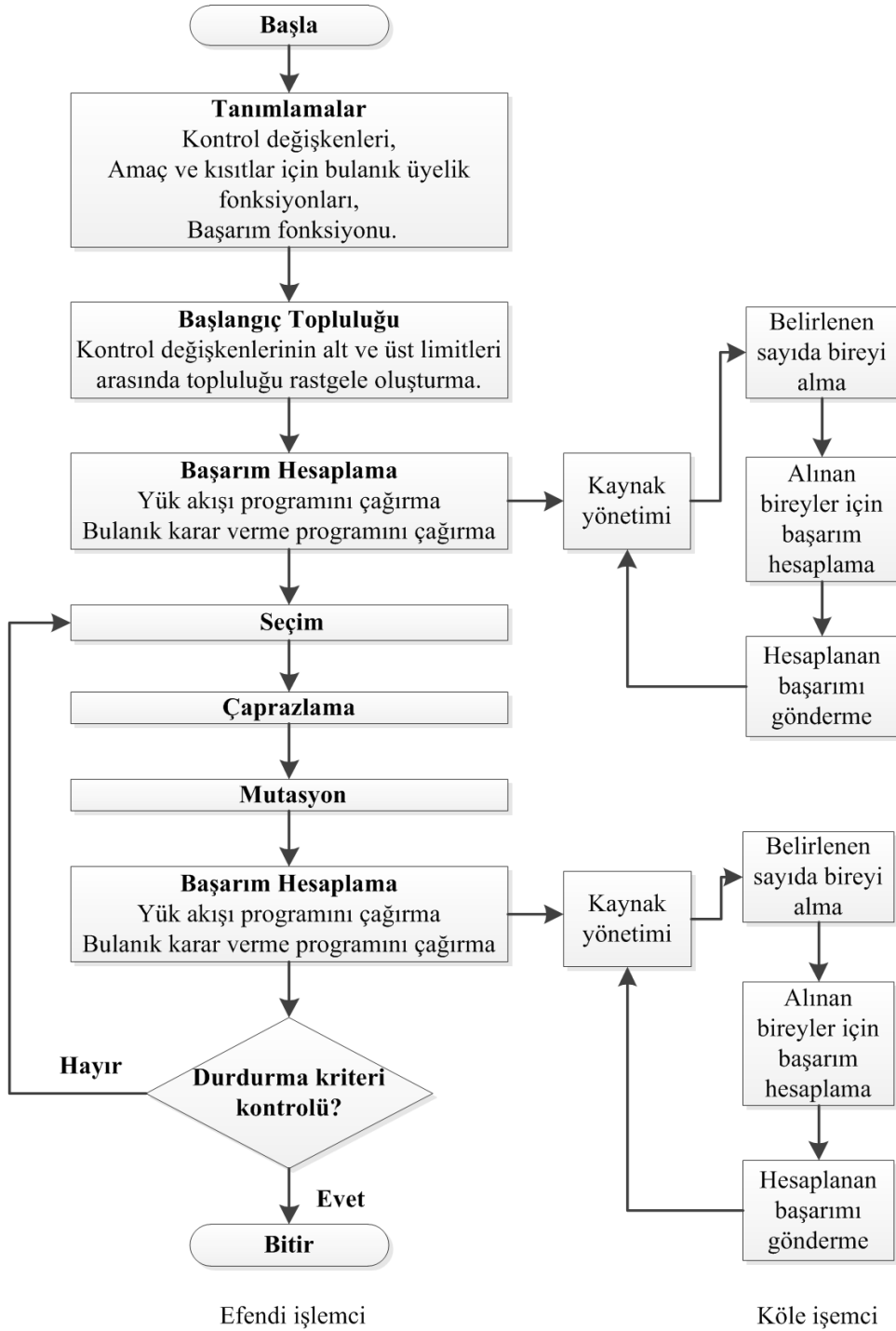
- Bütün işi parçalanmış olarak her parçanın ayrı ayrı işçiler tarafından hesaplanması için iş yöneticisine göndermek. Burada iş sıraya girer. İş yöneticisi her bir parçayı sistemde tanımlı işlemcilerle gönderir. Hesaplama bittikten sonra tüm sonuçları toplar ve istemci işlemciye geri gönderir.
- İşi tamamlamak için parça çözümleri birleştirmek ve geri kalanını tamamlamak.
- Kullanılan kaynakların belleklerini serbest bırakmak için sonucu ürettikten sonra işi öldürmek.

7. PARALEL ORTAM TEST SONUÇLARI

7.1 Giriş

Enerji iletim sisteminin enterkonnekte bir sistem olmasının nedeni elektrik enerji arzının sürekliliğini sağlamaktır. Bunun için elektriksel yükler gerektiğinde farklı farklı hatlardan beslenebilecek şekilde tasarlanır ve inşa edilirler. Elektriksel yükler gün içerisinde değişmektedir. Ayrıca mevsimsel değişikliklerde de farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle sistemin 7/24 olarak sürekli izlendiği ve çok farklı çalışma senaryolarının gün içerisinde denenerek önlemlerin alındığı enerji işletim merkezleri bulunmaktadır. Bu merkezlerdeki yetkin elemanlar sistemin karakteristiklerini de gözönüne alarak sürekli senaryo çalışması yaparlar ve sistemde olabilecek arıza durumlarına göre önlem senaryoları hazırlarlar. Bu senaryoların adedi ne kadar fazla olursa gerçekte karşılaşılabilecek durumlarda ne tür bir önlemin alınacağına dair önlemlerde artar. Bu açıdan bakıldığında her türlü analizin kısasürede sonlanması gerekir ki, yeterince senaryo çalışması yapılabilisin. Kapalı çevrim güç akışlarının düzenlenmesine yönelik çalışmalarda bu senaryoların bir parçasını oluşturduğu için kısıtlılık içeren bu eniyileme probleminin de çok kısa sürede çözülmesi gerekir. Bu yüzden paralel hesaplama tekniklerinin kullanılması fayda sağlayacaktır. Enterkonnekte sistem büyüdükçe probleminde boyutu artacağından uzun süre gerektiren bir problem haline dönüşecektir. Bu bölümde eldeki çok kısıtlılıklı ve çok amaçlı eniyileme probleminin paralel olarak çözümünün farklı büyüklüklerdeki iki örnek test sistemine uygulanmasının sonuçları sunulmaktadır.

7.2 Problemin Paralel Ortam Akış Diagramı



Şekil 7.1: Paralel ortam akış diagramı.

7.3 Kullanılan Paralel Sistemin Özellikleri

Sistem adı	: Orion
İşlemci tipi	: Intel Xeon EM64T
Hesaplama düğümü sayısı	: 86
Hesaplama çekirdeği sayısı	: 256
Bellek mimarisi	: Dağıtık
	: 34x HP DL360 (thin), 4 GB, 8 GB
Performans ağ bağlantısı	: Myrinet-2000 (High performance networks / switches)
	: Bant genişliği 2 Gbit/s
	: Latency 2.6 micro s
İşletim sistemi	: RHEL 4.4x86-64
MPI paketi veri transferi hızı	: 247 Mbytes/s (one-port NICs) (Network interface cards)
TCP/IP veri transfer hızı	: 1.98 Gbits/s (one-port NICs)

Kaynak yönetimi ve kuyruk yönetim yazılım (Resource Management and Scheduling software (LSF (load sharing facility))) LSF'tir. MATLAB Paralel Hesaplama Araç Kutusu / Dağıtık Hesaplama Sunucusu (Version 4.0 (R2008b) Parallel and Distributed Computing Toolbox Software).

7.4 IEEE 118 Baralı Test Sistemi Üzerindeki İncelemeler

7.4.1 Testler için kullanılan IEEE 118 baralı test sisteminin tanıtımı

Şekil C.1'de sistem görülmektedir. Sisteme ait şekil ile sisteme ait bilgiler EK A.3'de verilmiştir.

7.4.2 IEEE 118 baralı sistem için paralel hesaplama için benzetim sonuçları ve yorumlanması

7.4.2.1 Programın işleyişi

Probleme uygunluğundan dolayı paralel genetik algoritma yapılarından efendi-köle modeli seçilmiştir. Çalışma aynı anda tek bir topluluk ele alınarak uygulanmıştır. Seçim ve mutasyon operatörleri genel olarak, yani topluluktaki tüm bireyler kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Efendi-köle modelinde olduğu gibi fonksiyon hesaplaması paralel olarak gerçekleştirilmektedir. Efendi tarafından kullanılacak işlemci sayısı kadar iş oluşturulur. Her iş içerisinde mümkün olduğu kadar eşit sayıda aday çözüm bulunmaktadır. Daha sonra paralel işlem yapma protokollerinden MPI mesaj gönderme rutinleri kullanılarak oluşturulan iş parçacıkları efendi işlemci tarafından iş yöneticisine (Job Manager) gönderilir. İş yöneticisinde yine MPI rutinlerini kullanarak bu iş parçacıklarını sistemde bu problem için rezerve edilen işlemcilere yollar. Her bir işlemci aynı program kodunu farklı verileri kullanarak fonksiyon hesaplama görevlerini yaparlar. Sonuçları da tekrardan MPI rutinlerini kullanarak iş yöneticisine yollarlar. İş yöneticisinde her bir işlemciden aldığı sonucu efendi işlemciye gönderir. Efendi işlemci gelen sonuçları birleştirir ve algoritmanın seri olarak yapılacak operatörleri için gerekli hesaplamaları gerçekleştirir. Bu işlemler her yinelemede sırasıyla tekrarlanır.

Benzetim çalışmalarında programda her bölüm ve satırlarında ne kadar zaman harcandığını kontrol eden bir yardımcı program (profiller) kullanılmıştır. Bu kontroller sonucunda elde edilen raporlar ile nerelerde ve hangi işlemlerde hesaplama açısından zaman kaybı ve gereksiz döngüler olduğu tespit edilmiş oldu. Tespit edilen bölümler tekrar gözden geçirildi ve düzeltilebilecek bölümler düzeltilerek programın zaman açısından daha verimli çalışması sağlandı.

Ayrıca bu program yardımı ile problemin eniyilemesi sırasında programın her bölümünde, her fonksiyonunda, her döngüsünde ne kadar zaman harcandığı bilgileri de detaylıca elde edilmiş olur. Bu sayede her bölümde harcanan süreler birbirleriyle karşılaştırıldığında programın hesaplama süresinin ne kadarı seri hesaplamada ne kadarı paralel hesaplamada harcandığının tespiti de yapılmış olur. Amdahl's yasasında belirtildiği gibi programın paralellik oranında bu veriler ile tespit edilmiş olur.

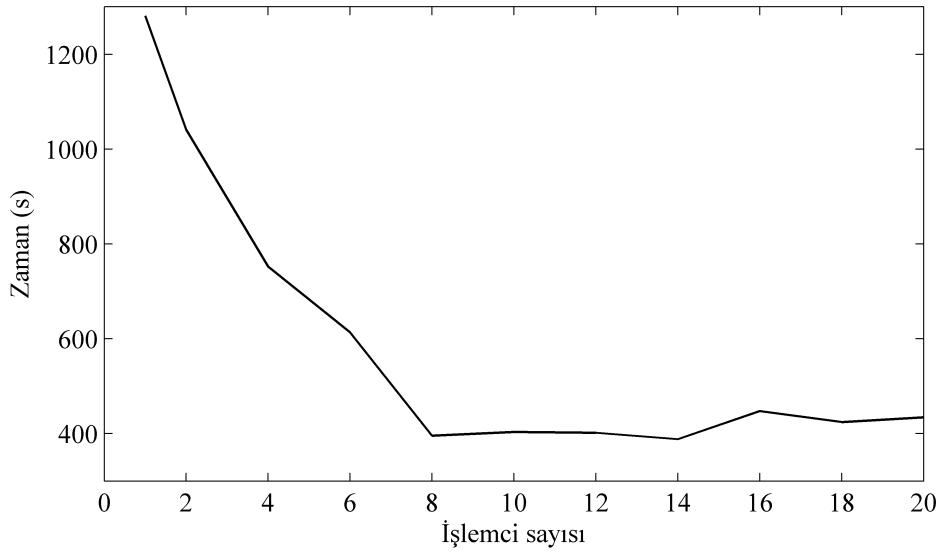
Bu sistem için programın paralelleştirilebilir oranı %72 olarak tespit edilmiştir. Bu durumda Amdahl's yasasına göre, programın teorik olarak kazanabileceği hızlanma aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\text{hız} = \frac{1}{\frac{P}{N} + S} \quad (7.1)$$

Burada, N işlemci sayısı, P programın paralelleştirilebilirlik oranı, S'de programın seri olarak hesaplanan kısmının oranıdır.

Programda bu sistem için; $P=0.72$, $S=0.28$ dir. N sonsuza giderse paralel kısmın toplam süreye katkısı sıfır olacaktır. Dolayısı ile en yüksek hız değeri 3.5714 olacaktır. Problemin çözüm süresindeki hızlanma seri kısım ile sınırlı kalacaktır (Amdahl's yasası). Yani, problemin seri ortam yerine paralel ortamda çözülmesi ile en fazla 3.57 kat hızlandırılabilceği görülmektedir.

Şekil 7.2'de bu durum açıkça görülmektedir. Sekiz işlemciden sonra sürede bir azalma olmamakta aksine işlemci sayısı artıkça sisteme eklenen paralel yüklerden dolayı hatta artmaktadır.



Şekil 7.2: IEEE 118 baralı test sistemi, zaman işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.

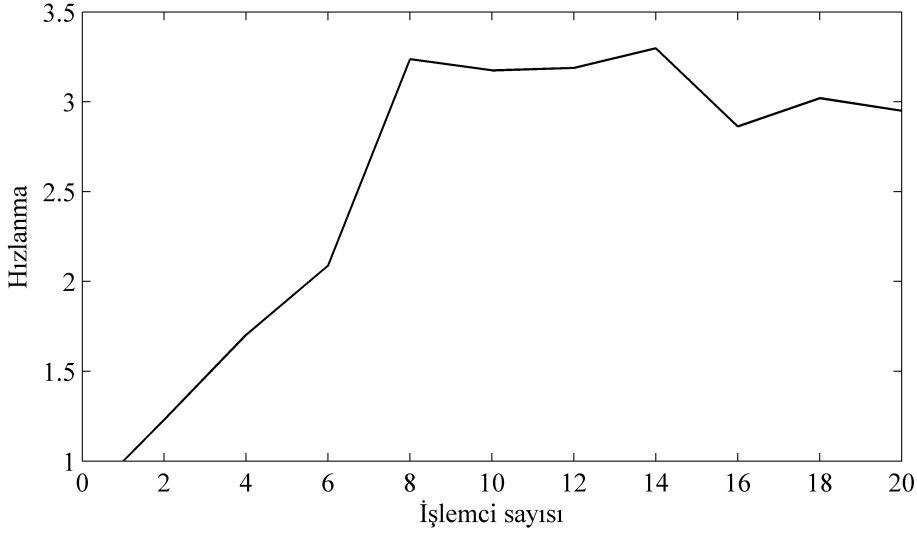
Bir problemin tek bir işlemci kullanılarak çözülmesinde elde edilen zamanın, birden fazla işlemci ile çözülmesinden elde edilen zamana oranı çoklu işlemci kullanmadaki hızı verir.

$$\text{hız} = \frac{T_1}{T_i} \quad (7.2)$$

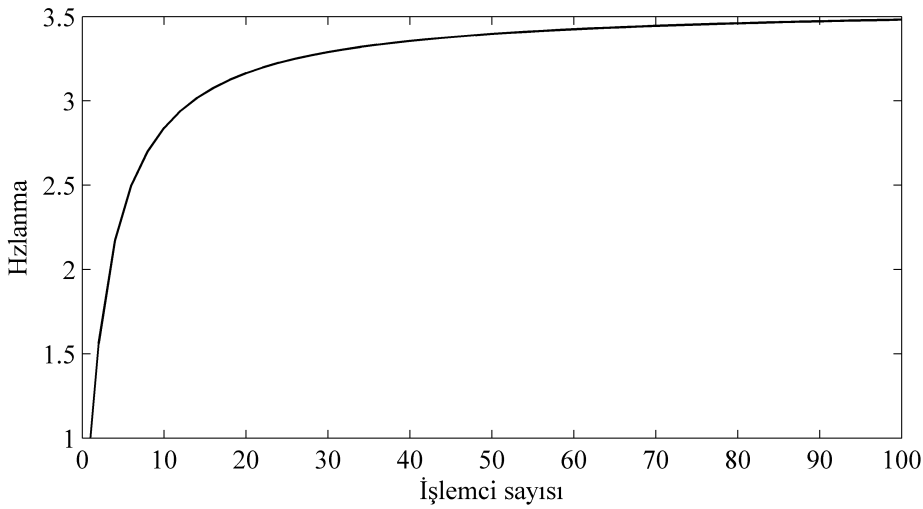
Verim önemli bir faktördür. Çoklu işlemciler için yapılan yüksek başarılı bilgisayarların maliyetinden dolayı verimin yüksek olması istenir. Hızın işlemci sayısına oranı ile elde edilir.

$$\varepsilon = \frac{\text{hız}}{N} 100\% \quad (7.3)$$

Maksimum yirmi işlemci kullanılarak program test edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre işlemci sayısına karşı hız grafiği Şekil 7.3’de verilmiştir. Buradaki duruma karşı gelen teorik grafik de Şekil 7.4’de verilmiştir. Deneysel olarak elde edilen grafik teorik olanı şekilsel olarak izlemesine rağmen bazı anlarda farklılıklar gösterebilmektedir. Ölçülen süreler programın koşturulmaya başlamasından sonuçlanıncaya kadar geçen toplam süre (wall-clock, elapsed time) olduğundan ve ortak ağ sistemi kullanıldığından o anki ağ kullanımına bağlı olarak ölçülen zamanlarda farklılıklar görülebiliyor.



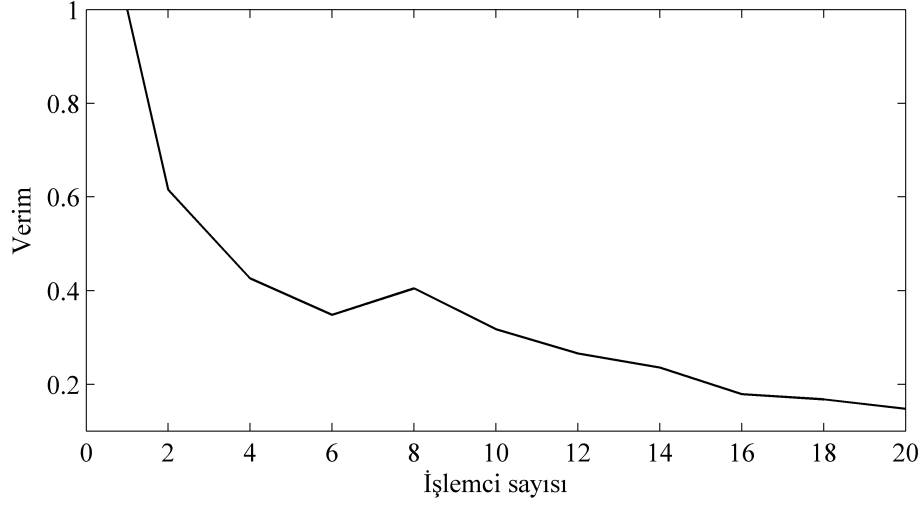
Şekil 7.3: 118 baralı standart test sistemi, hız işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.



Şekil 7.4: IEEE 118 baralı standart test sistemi, hızlanma işlemci sayısı grafiği (teorik).

Şekil 7.5’de paralel programın verimi gösterilmektedir. İşlemci sayısı arttıkça kaynakların herbirinin tüm kapasitelerinin kullanılmamasından dolayı beklenildiği gibi sistemin verimi düşmektedir.

]



Şekil 7.5: IEEE 118 baralı test sistemi, verim işlemci sayısı grafiği, topluluk boyu 150, yineleme sayısı 150.

7.4.2.2 IEEE 118 baralı test sistemi için GA parametre değerleri

Topluluk boyu	150
Topluluk veri tipi	gerçek sayı
Kromozom uzunluğu (chorosome lenght, string)	80
Yineleme sayısı	150
Seçim metodu	turnuva, boyu 4
Seçkin boyu	2
Çaprazlama	iki-noktadan
Çaprazlama oranı	0.8
Mutasyon	Gauss dağılımı

7.4.2.3 Bulanık üyelik fonksiyonları için ayar değerleri

Gerilim sınırları toleransı, $d = 0.005$ (üyelik fonksiyonu, trapez formu)

Hat akışları için memnuniyet sınırı, Akış sınırı = 0.80

$$Aktif P_{L_{sınır}} = 1.8 \times 132.863$$

$$Reaktif Q_{L_{sınır}} = 1.8 \times 783.79$$

Seçilen hat 30 numaralı hat (bara 23 ile 24 arasındaki hat) ve kontrol edilmeye çalışılan güç akış değeri 30 MW (temel akış değeri 8.28 MW) Güç akış kontrolü için seçilen üyelik fonksiyonu üstel formun a,b,c,d parametreleri değerleri sırasıyla 17, 29, 31 ve 40'dır.

7.4.2.4 IEEE 118 baralı test sistemi benzetim sonuçları

Şekil 7.2'de görüldüğü gibi sekizinci işlemciden sonra işlemci sayısını artırmak zaman açısından bir şey kazandırmıyor. Eğri doyuma girmektedir. Şekil 7.2 ve 7.3'de görüldüğü gibi sekizinci işlemciden sonra sayıyı artırmak çözümün hızlandırılmasına yardım etmemektedir, aksine onaltıncı ve yirminci işlemcilerde bir miktar sürede artış görülmektedir. Bunların sebebi Amdahl's yasasında açıklanmıştır. Şekil 7.4'da 100 işlemci ile ulaşılabilecek maksimum hız seviyesi görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi 100 işlemci de kullanmış olsa teorik olarak ulaşılabilecek maksimum hızda değişiklik olmamaktadır. Aynı şekilde işlemci sayısı arttırılmaya devam edilse bile doyuma ulaşılmış olduğundan teorik olarak verim ve hız değişmeyecektir. Bu sonuçlar Amdahl's yasasında belirtildiği gibi bir programın paralel çalıştırılmasında sınırlar vardır. Bu sınır programın seri olarak hesaplanan, yani paralelleştirilemeyen kısmı ile orantılıdır.

7.5 IEEE 300 Baralı Test Sistemi Üzerindeki İncelemeler

7.5.1 Testler için kullanılan IEEE 300 baralı test sisteminin tanıtımı

Şekil D.1 - D.3'da sistem görülmektedir. Sisteme ait şekil ile sisteme ait bilgiler EK A.4'de verilmiştir.

7.5.2 IEEE 300 baralı sistem için paralel hesaplama için benzetim sonuçları ve yorumlanması

7.5.2.1 Programın işleyişi

IEEE 300 bara test sisteminde iki ayrı durum için testler yapılmıştır. Birinci durumda GA da topluluk boyutu ve yineleme sayısı her ikisinde yüz olarak alınmıştır. İkinci durumda ise hem topluluk boyutu hemde yineleme sayısı yüz elli olarak alınmıştır.

Bir önceki sistemde olduğu gibi program işleyişi bu sistemde de aynıdır. Çünkü aynı paralel genetik algoritma modeli ve aynı program kodu kullanılmıştır.

Birinci durumda programın paralelleştirilebilir oranı %78 olarak tespit edilmiştir. Programdaki hızlanma önceki test sisteminde olduğu gibi eşitlik (7.1) kullanılarak hesaplanmıştır.

Bu test sisteminde birinci durum için $P=0.78$, $S=0.22$ olarak tesbit edilmiştir. N sonsuza giderse paralel kısmın toplam süreye katkısı sıfır olacağından en yüksek hız değeri 4.5455 olacaktır. Problemin çözüm süresindeki hızlanma seri kısım ile sınırlı kalacaktır (Amdahl's yasası).

Şekil 7.6'da görüldüğü gibi on dört işlemciden sonra işlemci sayısının artırılmasına devam edilmesine rağmen sürede bir azalma olmamaktadır.

En fazla otuziki işlemci kullanılarak program test edildi. Ancak sonuçlardan sadece yirmi işlemciye kadar olan değerler verildi. Hem yöntemin doğruluğunu daha büyük test sisteminde görmek hem de önceki test sistemi ile karşılaştırabilmek için bu test sisteminde de benzetimler yirmi işlemciye kadar kayıt edilmiştir. Deneysel sonuçlara göre işlemci sayısı-hız grafiği Şekil 7.7'de verilmiştir. Ölçülen süreler programın

koşturulmaya başladığı andan itibaren başlatılıp, program sonlanıncaya kadar geçen toplam süre olduğundan ve ortak ağ sistemi kullanıldığından o anki ağ kullanımına bağlı olarak ölçülen zamanlarda farklılıklar görülebilmektedir.

Şekil 7.8’de paralel programın verimi gösterilmektedir. İşlemci sayısı arttıkça kaynakların herbirinin tüm kapasitelerinin kullanılamamasından dolayı doğal olarak sistemin verimi düşmektedir.

İkinci durumda ise programın paralelleştirilebilir oranı %90’a yükselmiştir. Bu durumda Amdahl’s yasasına göre, teorik olarak programın hızı, yukarıdaki hız formülüne göre $P=0.90$ $S=0.10$, N sonsuza giderse, 10.00 olur. Zaman, hız ve verim grafikleri sırasıyla Şekil 7.9 - 7.11’de verilmiştir.

7.5.2.2 IEEE 300 baralı test sistemi paralel çalışma için GA parametre değerleri

Topluluk boyu, birinci	100
Topluluk boyu, ikinci	150
Topluluk veri tipi	gerçek sayı
Topluluğun ilk değerleri	sistemin güç akışı temel durum çözümü
Kromozom uzunluğu	231
Yineleme sayısı, birinci	100
Yineleme sayısı, ikinci	150
Seçim metodu	turnuva, boyu 4
Seçkinlik boyu	2
Çaprazlama	iki-noktadan
Çaprazlama oranı	0.8
Mutasyon	Gauss dağılımı

7.5.2.3 Bulanık üyelik fonksiyonları için ayar değerleri

Gerilimler için trapez üyelik formu (d parametresinin değeri 0.05)

Hat akışları için dörtgen+üçgen üyelik formu memnuniyet sınırı(akış sınır 0.80)

Aktif ve reaktif kayıplar için üçgen üyelik formu (P1 ve Q1 sınır değeri 1.8 x temel durum)

Asıl amaç olan hat akışları için üstel form üyelik fonksiyonu kullanıldı.

Formun kesme noktaları (a-b-c-d):

Hat 1 için: (85-95-105-115) ve hedef değer 100.

Hat 2 için: (40-55-65-80) ve hedef değer 60.

Hat 3 için: (90-95-105-110) ve hedef değer 100

IEEE 300 bara sisteminde güç akış kontrolü için seçilen hatlar:

Kapalı çevrim güç akış testleri (üç ayrı hat kontrolü aynı anda)

Birincil amaç olan çevrimsel akış kontrolü için;

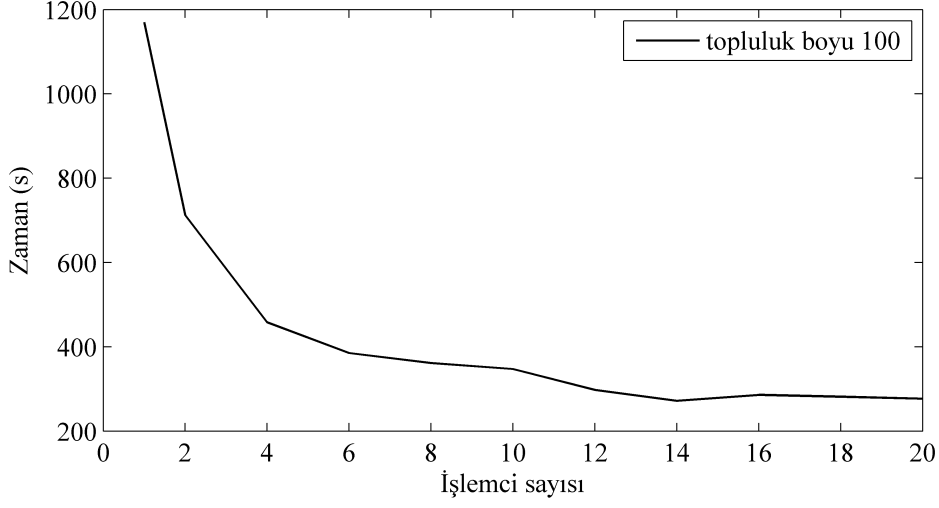
Hat 1 için: 44 nolu hat (bara 3 - bara 150 arası),

Hat 2 için: 48 nolu hat (bara 7 - bara 131 arası) ve

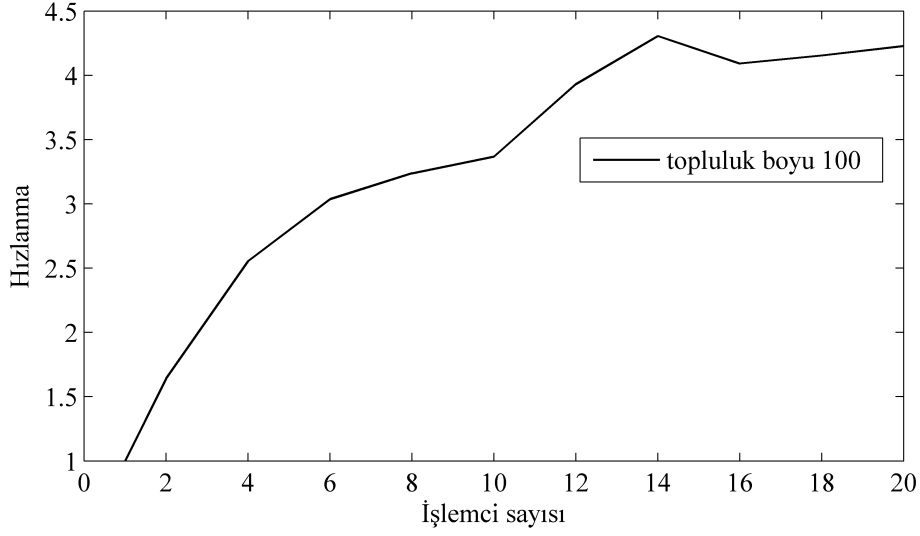
Hat 3 için: 117 nolu hat (bara 62 - bara 144 arası) seçildi.

Bu hatlar sistemler arası güç iletimi konularında anlaşmaların yapılabilirlik ihtimallerinin olduğu hatlar göz önünde bulundurularak seçilmiştir.

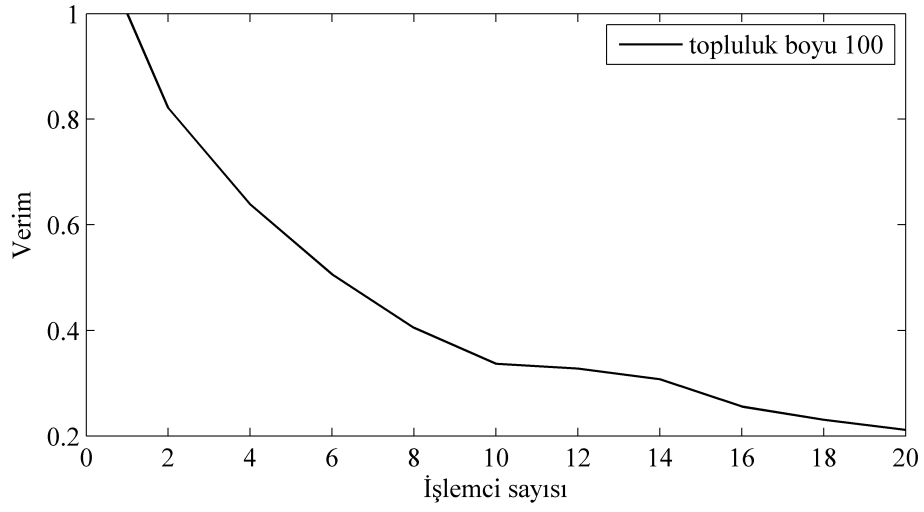
7.5.2.4 IEEE 300 baralı test sistemi benzetim sonuçları 1



Şekil 7.6: IEEE baralı standart test sistemi zaman, işlemci sayısı grafiği topluluk boyutu 100, yineleme sayısı 100.

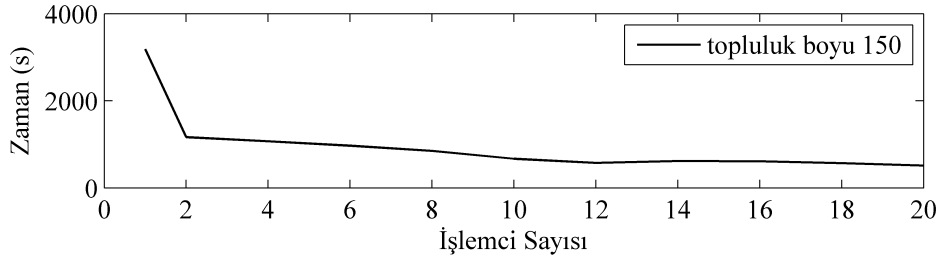


Şekil 7.7: 300 baralı standart test sistemi, hız işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 100, yineleme sayısı 100.

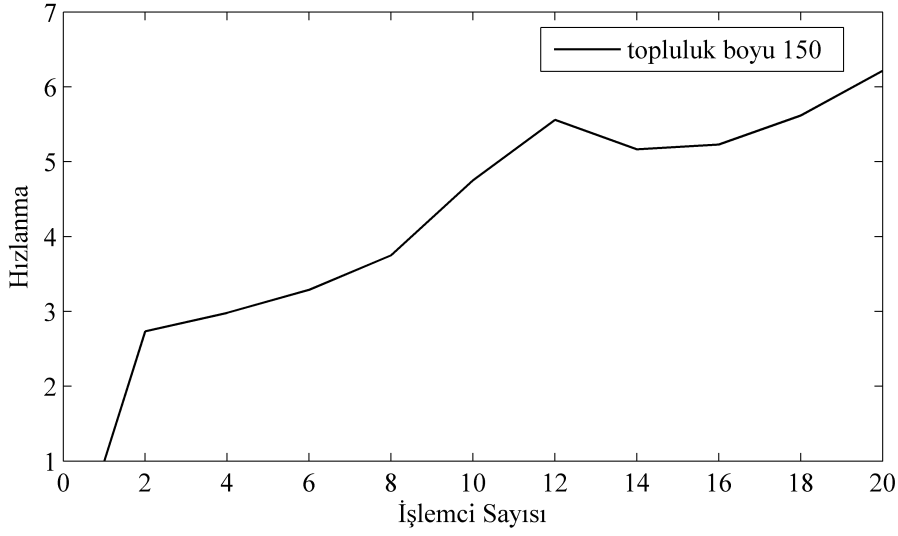


Şekil 7.8: IEEE 300 baralı standart test sistemi, verim işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 100, yineleme sayısı 100.

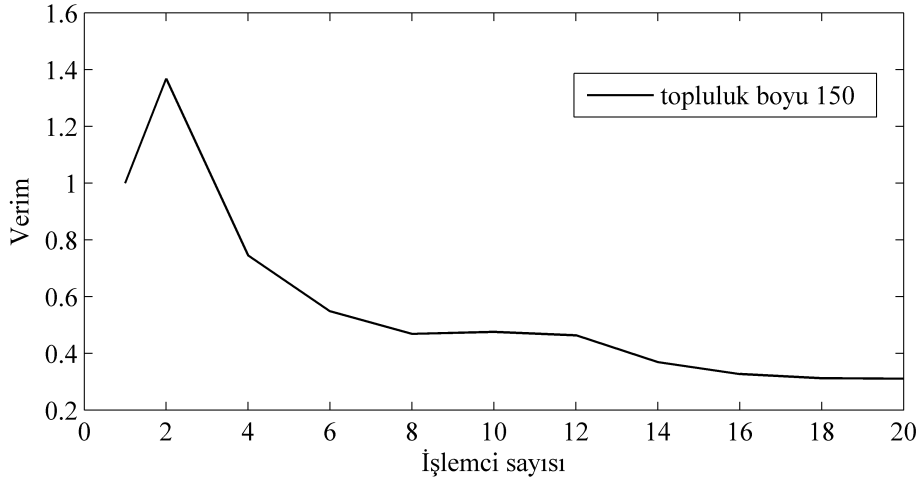
7.5.2.5 IEEE 300 baralı test sistemi benzetim sonuçları 2



Şekil 7.9: IEEE 300 standart test sistemi, zaman işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.



Şekil 7.10: 300 baralı standart test sistemi, hız işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.



Şekil 7.11: IEEE 300 baralı standart test sistemi, verim işlemci sayısı grafiği, topluluk boyutu 150, yineleme sayısı 150.

7.5.2.6 IEEE 300 baralı test sistemi için çizelgeler

Çizelgeler

loop 1 için (a-b-c-d) parametre değerleri (85-95-105-115)

loop 2 için (a-b-c-d) parametre değerleri (40-55-65-80)

loop 3 için (a-b-c-d) parametre değerleri (90-95-105-110)

Kontrol edilmeye çalışılan güç akış değerleri; 100, 60, -100 MW sırasıyla

Temel akış değerleri; 92.90, 46.04, -101.16 MW sırasıyla

Yinelem sayısı 100, topluluk boyutu 100

Çizelge 7.1: Amaç ve kısıtlar için yirmi kez çalıştırmanın sonucunda elde edilen ortalama değerler.

en iyi başarımlarım 0.7741	hat akış 1 (MW)	hat akış 2 (MW)	hat akış 3 (MW)	aktif kayıp (MW)	reaktif kayıp (MVAR)
temel durum	92.90	46.04	-101.16	408.316	5504.18
hedef	100	60	-100	1.8x408.316	1.8x5504.18
benzetim sonucu	101.1533	54.0599	-97.4213	412.2546	5526.4

Çizelge 7.2: Ortalama memnuniyet değerleri.

	üye min	üye hat akış 1	üye hat akış 2	üye hat akış 3	üye aktif kayıp	üye reaktif kayıp
temel durum	0.0001	0.1163	0.0001	1.000	0.4451	0.4451
benzetim sonucu	0.3750	0.8255	0.4382	0.8350	0.4391	0.4422

Yineleme sayısı 150, topluluk boyutu 150

Çizelge 7.3: Amaç ve kısıtlar için yirmi kez çalıştırmanın sonucunda elde edilen ortalama değerler.

en iyi başarımlarım 0.7741	hat akış 1 (MW)	hat akış 2 (MW)	hat akış 3 (MW)	aktif kayıp (MW)	reaktif kayıp (MVAR)
temel durum	92.90	46.04	-101.16	408.316	5504.18
hedef	100	60	-100	1.8x408.316	1.8x5504.18
benzetim sonucu	103.3790	54.8188	-95.7833	405.3045	5492.9

Çizelge 7.4: Ortalama memnuniyet değerleri.

	üye min	üye hat akış 1	üye hat akış 2	üye hat akış 3	üye aktif kayıp	üye reaktif kayıp
temel durum	0.0001	0.1163	0.0001	1.000	0.4451	0.4451
benzetim sonucu	0.3202	0.9792	0.6544	0.5632	0.4485	0.4456

7.5.2.7 IEEE 300 baralı test sistemi çizelgelerinin yorumlanması

Temel durumlarla benzetim sonuçları amaç ve kısıtlar dahilinde karşılaştırıldığında geliştirilen yöntemin başarılı olduğu görülmektedir.

Hedef değerlere ulaşılırken baraların genliklerine 1-pu değerine daha çok yaklaşıldığı yani gerilim profiline daha iyileştiği, gerilimlerin açılı değerlerinden uzaklaşmadığı, hat limitlerinin taşıma kapasitelerinin aşılmadığı, aktif ve reaktif hat kayıplarında kötüleşme olmadığı görülmektedir.

Bu gelişmeler amaçlar ve kısıtlar için tanımlanan bulanık üyelik fonksiyonlarında ulaşılan üyelik değerlerindeki yani memnuniyet seviyelerindeki artışlarda da görülmektedir.

Çizelge 7.1’de görüldüğü gibi hedef durumlara verilen aralıklar dahilinde ulaşılmıştır. Bu durumlar üyelik değerlerini gösteren çizelgede daha iyi anlaşılmaktadır.

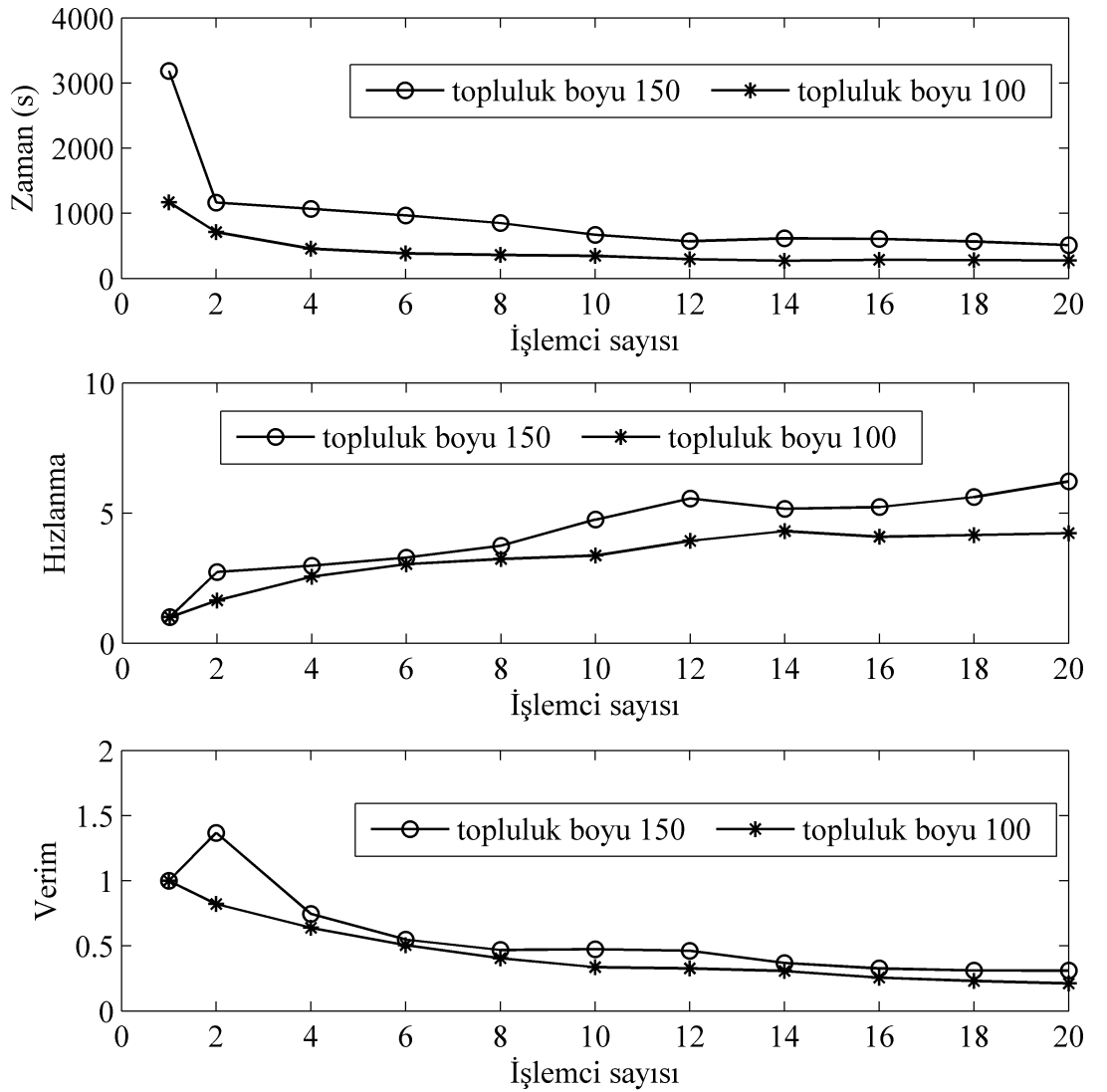
Çizelge 7.2’de görüldüğü gibi temel durumdaki en küçük üyelik değeri 0 iken yöntemin uygulanması sonucu bu değer 0.3750 değerine iyileştirilmiştir. Güç akışının kontrol edilmeye çalışıldığı hatlardan birincisinde üyelik değeri 0.1163 iken 0.8255 e, ikincisinde ise 0’dan 0.4382 ye iyileştirilmiştir. Üçüncü hatta ise üyelik değeri 1’den 0.8350 değerine düşmüştür. Fakat bu düşüş diğer değerlerdeki kazanımlar yanında önemli bir kayıp değildir. Aktif ve reaktif kayıpların üyelik değerlerinde ise bir kötüleşme görülmemektedir. Buda istenen bir durumdur. Hedef akışları sağlarken en azından kayıplarında artırmamak tezin amaçları arasında idi.

Benzer iyileşmeler topluluk boyutunun artırılması durumlarında da elde edilmiştir. Bu durumlarda Çizelge 7.3 ve 7.4’de görülmektedir.

7.5.2.8 IEEE 300 baralı test sistemi benzetim sonuçları 1 ve 2 nin karşılaştırılması

Şekil 7.12’de görüldüğü gibi topluluk boyutunun ve yineleme sayısının artması sadece hesaplama zamanını artırmaktadır. Diğer patenler beklenildiği gibi aynı kalmaktadır. Verim-işlemci sayısı grafiğinde görüldüğü gibi topluluk boyutu 100 olduğunda sekizinci işlemciden sonra verim %40’ın altına düşmektedir. Topluluk boyutu 150 olduğunda da on dört işlemciden sonra verim %40’ın altına düşmektedir.

Verimin %40'dan daha düşük olması istenmeyen veya tavsiye edilmeyen bir durumdur. Çünkü kaynakların yeterince değerlendirilememesi söz konusudur. Burdan elde edilen sonuç topluluk boyu artırıldığında işlemci başına düşen hesaplama iş yükü arttığından her bir işlemci kapasitesi daha iyi değerlendirilmiş ve daha verimli kullanılmış olmaktadır. Problemin doğası gereği fonksiyon hesaplaması program genelinde büyük bir payı kapladığından seçilen paralel genetik algoritma efendi-köle modelinin probleme uygunluğuda test edilmiştir.



Şekil 7.12: IEEE 300 baralı standart test sistemi, iki ayrı test setinin karşılaştırılması.

Bu karşılaştırmada hem topluluk boyutunun 150 hem de yineleme sayısının 150 seçilmesinin bir diğer amacı da IEEE 118 test sistemi ile IEEE 300 test sistemleri arasında kontrol değişkenlerinin artışıdaki oranın diğer parametrelerdeki değişimdeki oranın Çizelge 7.5’de görüldüğü üzere korunup korunmadığıdır. IEEE 118 test sisteminde paralellik oranı %72 idi. Teorik olarak ulaşılabilinecek hız 3.5714 idi. Topluluk boyutu ve yineleme sayısında her büyüklük için 150 olarak alınmıştı. Kontrol değişkeni sayısı ise 80 idi. IEEE 300 test sisteminde aynı topluluk boyutu ve aynı sayıda yineleme sayısı için paralellik oranı %90 a yükseldi. Çünkü burada kontrol değişkeni sayısı 231’e yükseldi. Bunun sonucu olarak sistemin büyümesi, Jakobyen matrisinin boyutunun büyümesi, kontrol değişkenlerinin sayısının artması ile fonksiyon hesaplaması daha da değerli hale gelmiş oldu. Paralellik oranına bağlı olarak teorik hız da 10’a yükselerek, bu sayının IEEE 118 test sistemindekine göre yaklaşık üç katı oldu. Aynen kontrol sayılarındaki oranda olduğu gibi. (Bknz. Çizelge 7.5)

Çizelge 7.5: Her iki test sisteminin karşılaştırma değerleri.

topluluk / nesil boyutu / sayısı 150 / 150	kontrol değişkeni sayısı	bara sayısı	Jakobyen matris boyutu	paralellik oranı	hızlanma
IEEE118	80	118	181	0.72	3.5714
IEEE300	231	300	530	0.90	10
Oranlar	231/80 =2.8875	300/118 =2.5424	530/181 =2.9282		10/3.5714 =2.8

8. SONUÇLAR

Elektrik enerjisi günümüzde en vazgeçilmez temel ihtiyaçlardan biri durumundadır. Bu nedenle elektrik enerjisinin arzının ve kalitesinin sürekliliğini sağlamak için, elektrik güç sistemlerinin en temel kısımlarından biri olan enerji iletim sistemleri, enterkonnekte sistemler olarak işletilirler. Burada en temel amaç herhangi bir elektriksel yükü gerektiğinde alternatif yollarıda kullanarak daimi olarak beslemektir. Bunun sonucunda ise kapalı çevrimler ve paralel hatlar oluşabilmektedir. Elektrik güç sistemlerinin tek bir kurum tarafından işletilmesi durumunda, kapalı çevrimler ya da paralel iletim hatları üzerindeki planlanmayan akışlar, hatları zorlaması dışında başka bir sorun olarak görülmezdi.

Elektrik enerji sistemleri son yıllarda ki özelleştirilmelerle birlikte tek bir üretici, tek bir enerji iletim hattı işleticisi yerine çok sayıda elektrik enerjisi üreticisi ve çok sayıda iletim sistemi işleticisinin olduğu bir yapıya dönüştürülmüştür. Bu ise, kapalı çevrimler içerisinde ya da paralel hatlar içerisinde dolaşan elektrik enerjisi konusunu çok önemli hale getirmiştir. Ayrıca komşularla olan bağlantılar nedeni ile ülkeler arasında da iç hatlarda olduğu gibi istenmeyen güç akışlarının düzenlenmesini/önlenmesini önemli hale getirmiştir. Yeni iletim hattı inşasının çeşitli nedenlerden dolayı çok zor ve maliyetli olması nedeni hali hazırda var olan iletim hatlarının en üst seviyede verimli olarak kullanılmaları gereğini ortaya çıkartmıştır. Hatlarda oluşan tıkanıklıklar ve sistem durumunda meydana gelen akışlardaki değişikliklerin yaratacağı ilave yüklenmeler durumunda sistemin işletme koşullarında istenmeyen durumlara neden olacaktır. Tüm bunlar ışığında kapalı çevrim güç akışlarının bir şekilde kontrolünün yapılması zorunluluğu vardır.

Bu çalışmada amaç; enterkonnekte elektrik güç iletim sistemlerinde kapalı çevrim güç akışlarını önlemeye/düzenlemeye yönelik bir yöntem geliştirmektir. Bunu gerçekleştirirken ilave amaçlar da probleme dahil edilmiştir. Bunlar; sistem baralarındaki gerilim profilinin bozulmaması ve gerekirse düzeltilmesi (gerilim

genliklerinin arzu edilen değerlerde tutulması, baralar arası gerilimler arasındaki açu farklarının artmaması), iletim hatlarındaki hem aktif hem de reaktif kayıpların en aza indirilmesi ve temel durum değerlerinden fazla uzaklaşılması, hatlardaki güç akışlarının iletim hatlarının akım taşıma limitleri dahilinde tutulmasıdır. Problem çok amaçlı ve çok kısıtları olan bir probleme dönüştürülmüştür. Bu çoklu amaçlı ve kısıtlı problemde bulanık karar vermeden yararlanılmıştır. Bunun sonucunda elde edilen tek amaçlı en iyileme problemine evrimsel arama tekniklerinden genetik algoritmalar uygulanmıştır.

Yöntem düzenlenirken işletim koşullarını etkileyen elektrik güç sistemi kontrol ve durum değişkenleri ve bunların üzerlerindeki kısıtlamalar da göz önünde bulundurulmuştur. Bulanık ortamda her birisi uygun birer üyelik fonksiyonları ile modellenmiştir. Her amaç ve kısıt için bu üyelik fonksiyonlarında o anki sistem çözümlerine karşı bir üyelik değeri hesaplanmıştır. Üyelik değerlerinden en kötü olanının eniyilemesi sonucunda asıl amaçların iyileştirilmesi yanısıra tüm sistemin çalışma koşullarının da daha iyileştirilmesi sağlanmıştır.

Gerçek enerji sistemlerinde sistem değişkenlerinin bağlı olduğu parametrelerin alabileceği birer minimum ve maksimum sınır değerleri vardır. Bu sınırlar arasındaki değerler ise kesin değerler yerine herhangi bir değere sahip olabilmesi için bulanık ortamda modellenmiştir. Bu sayede sistem işleticilerinin pratik deneyimlerinin işletme koşullarına uygulanabilmesine imkan yaratılmıştır.

Bulanık ortamda üyelikler için çeşitli üyelik fonksiyonları test edilmiş ve üstel fonksiyonun problemdeki birincil amaç için en uygun form olduğu sonucuna varılmıştır.

Amaçlanan yöntemde, sistem çözümünün çok amaçlı eniyileme problemi olarak sağlanması ve problemin bulanık ortamda ele alınması ile sistemdeki belirsizliklerin ve tercihlerin çözüme kolayca yansıtılabilmesi yapılan çalışmanın üstünlükleri olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sayede birincil amaç yanı sıra tercihler sonucu şekillenmiş biçimde aktif ve reaktif güç kayıpları ve gerilim profili en iyilemesi de probleme dahil edilebilmiştir. Ayrıca yeni nesil seri kompanzasyon aygıtlarında probleme kontrol elemanları olarak ilave edilmiştir.

Genetik algoritmaların uygulanması sırasında literatürdeki uygulamalar da incelenerek, GA operatörlerinde probleme uyarlanması bakımından çeşitli benzetimler yapılmıştır. Bu sayede her operatör için olası seçenekler araştırılmıştır. Belirlenen seçenekler dahilinde en uygun parametre değerleri tespit edilmiştir.

Genetik algoritma kullanımı uygulandığı alana göre çok değişiklikler içerebilmektedir. Özellikle seçim operatörleri ile mutasyon ve çarpazlamada kullanılan değerler son derece önem arz etmektedir. Probleme seçim operatörlerinden Rulet çarkı ile iki farklı boyda turnuva seçimi test edilmiştir. Turnuva seçim operatörünün literatürde belirtildiği gibi rulet çarkı seçim operatörüne üstünlüğü bu probleme uygulandığında da görülmüştür. Ayrıca turnuva boyunun dört olması boyutun daha büyük ya da daha küçük olmasına karşın özellikle yineleme sayısı ve de dolayısıyla zaman açısından avantaj sağlamaktadır.

Enerji iletim sistemleri 7/24 saat gözetimli bir şekilde işletilir. Sürekli felaket senaryoları hazırlanmakta ve olası tüm durumlar için senaryo sonuçları değerlendirilmektedir. Olabilecek kötü durumlar için zamanında önlemler alınır. Problem günlük bir işletme problemi olduğundan mümkün olan en kısa sürelerde sistem çözümlerinin elde edilmesi önemlidir. Genetik algoritmalar tek bir aday çözüm yerine bir aday çözümler topluluğu üzerinde arama yaptıklarından dolayı çok işlem ve zaman gerektiren algoritmalarlardır. Özellikle fonksiyon hesaplama süreleri probleme bağlı olarak toplam hesaplama sürelerinin çok önemli bir payını tutabilir. Bu çalışmada fonksiyon hesaplaması toplam hesaplama zamanının oldukça büyük kısmını tutmaktadır.

Çözüm süresinin azaltılması için paralel genetik algoritmalarından yararlanılmıştır. Ayrıca yine hesaplama süresinden tasarruf etmek için kurumdaki yüksek başarımlı laboratuvarlarından yararlanılarak yüksek başarımlı bilgisayarlarda paralel ortam hesaplama tekniklerinden de yararlanılarak yöntem IEEE test sistemleri üzerinde test edilmiştir. Problemin çözümü için seçilen PGA modeline efendi-köle modeli denir. Bu modelde programın fonksiyon hesaplama kısmına karşı gelen bölümler paralelleştirilmiştir.

Bölüm 1’de önce güç sistemlerinin kısa tanıtımı yapılmıştır. Daha sonra problemin tarihsel gelişimi ve literatürde problem için yapılanlar araştırılmıştır. Bölüm sonunda da literatürde problem için yapılan çalışmalar ile önerilen yöntemin karşılaştırıldığı bir tablo verilmiştir. Ayrıca yine bu bölüm de genetik algoritmalar ve genetik algoritmalarda seçim operatörleri ve bunların performansları ile ilgili de literatür araştırmaları yapılmıştır.

Bölüm 2’de bulanık kümeler, bulanık karar verme ve literatürdeki bulanık üyelik fonksiyonlarının formları gibi konular hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 3’de genetik algoritmalar hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 4’de problem formülasyonu ve yöntem için ön hazırlık konuları ele alınmıştır. Ön hazırlık konularının ilki; bulanık üyelik formlarının ve bunlara ait matematiksel ifadelerinin tespitleri yapılarak amaçlar ve kısıtlar bulanıklaştırılmıştır.

Bulanıklaştırılan sistem büyüklükleri:

- Sistemdeki tüm bara gerilimleri (kısıtlar olarak)
- Sistemdeki tüm hat akışları (kısıtlar olarak)
- Belirlenen güzergahlar veya kapalı çevrimlerdeki akışlar (amaçlar olarak)
 - Trapez form
 - Üstel form
- Sistemdeki tüm hatlardaki iletim kayıpları (amaçlar olarak)

Çalışmanın başında, ilk olarak problemin çözümü için amaçlanan yöntem doğrultusunda kontrol elemanlarının ve değişkenlerinin sistem büyüklükleri üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kontrol elemanları ile problem kısıtları ve amaçları arasındaki duyarlılık ilişkisini göstermek amacıyla bir seri test yapılmıştır. İnceleme sonucu generatör bara gerilimindeki değişim, seri kompanzasyonun yeri ve oranındaki değişim ile aktif ve reaktif kayıplar, hat akışları ve güç sistemi bara gerilimleri arasındaki etkileşimler vurgulanmıştır.

Bir elektrik güç sisteminde generatör bara gerilim genlikleri değiştirilmesi ile sistemde yer alan diğer bara gerilimlerinde de değişim yaratılabilir. Bu nedenle güç

sistemi eniyileme problemi çözümünde generatör bara gerilim genlikleri de kontrol değişkenleri olarak alınmıştır.

İletim sisteminde baranın bağlı olduğu hatlar üzerindeki kompanzasyonun bara gerilim değeri üzerinde daha büyük etkisi olmaktadır. Seri kompanzasyon ile hem aktif hemde reaktif kayıplar çok fazla değişim göstermezken hat akış kapasitesi ciddi oranda artış yönünde değişmektedir.

Elektrik güç siteminde sistem kontrolü açısından kontrol elemanı olan generatörlerin gerilim genliklerinin ayarlanması aynı yönde bir etki yapmamaktadır.

Bölüm 5’de güç sistemindeki kontrol elemanlarının sistem çalışmasındaki etkilerinin araştırılması için bir dizi benzetimler yapılmıştır. GA parametre analizlerinin probleme uyarlanması özellikle seçim operatörleri konusunda bir dizi benzetim çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar uluslararası bir konferansta sözlü olarak sunulmuştur. Daha sonra bulanık üyelik fonksiyonları formlarının etkileri amaçlar doğrultusunda incelenmiş ve en uygun form ve bu forma ait parametre değerleri karşılaştırmalı testler ile tespit edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar yine uluslararası bir konferansta sözlü olarak sunulmuştur.

Bölüm 6’da paralel hesaplama terminolojisi, paralel hesaplama yöntemleri, paralel genetik algoritmalar ve MATLAB paralel/dağıtık hesaplama kiti hakkında genel bilgiler verilmiştir.

Bölüm 7’de yöntem daha büyük test sistemlerinde denenmiştir. Sistemler büyüdükçe zaman sorunu çıkacağından dolayı bu bölümdeki benzetimler yüksek başarılı bilgisayarlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu bilgisayar sistemleri kullanılırken ayrıca paralel hesaplama teknikleri ile eniyileme probleminin çözümünde kullanılan genetik algoritmalar da bu hesaplama tekniklerine uyarlanmıştır.

IEEE 118 bara test sisteminde fonksiyon hesaplaması problemin %72’sine karşı gelmektedir. Bu miktar ise paralel ortamda teorik olarak elde edilebilecek hızlanmanın Ahmdal’s yasasına göre en fazla 3.5714 olabilecektir. Teorik hızlanma sadece ideal durumu yansıtmaktadır. Hiç bir şekilde kullanılan ağ bağlantısından ve kuyruk yönetiminden doğacak zaman kayıplarını içermemektedir. Bunlar göz önünde

bulundurulduğunda yapılan benzetimlerde ulaşılan hızın 3.25 seviyelerinde olması teorik hıza oldukça iyi bir yaklaşım olarak görülmektedir.

Bu durum IEEE 300 bara test sisteminde %90'a karşı gelmektedir. Ahmdal's yasasına göre teorik olarak elde edilebilecek hız seri çalışmaya göre 10 kata ulaşılacaktır. Yirmi işlemci kullanılarak yapılan benzetimlerde ulaşılan hız 6.27 seviyeleri olmuştur. Bu tür bir hızlanma ise önemli derece bir ilerleme sayılmaktadır. Daha fazla işlemci kullanılması durumunda hızlanma bir miktar daha artacaktır. Fakat işlem fazla verimli olmayacaktır. Çünkü köle işlemciler ile efendi işlemciler arasındaki haberleşmeden doğan zaman kayıpları ve dolayısı ile paralel iş yükünde artış ortaya çıkacaktır.

İki test sistemi arasındaki büyüklük oranı bara sayısı bakımından $300/118=2.5424$ 'tür. Bilinmeyen sayısı, dolayısı ile Jakobyen matris boyutu açısından artış $530/181=2.9282$ 'dir. Bunun sonucu olarak sistemin büyümesi ile fonksiyon hesaplaması daha değerli hale gelmiştir. Bunun içinde paralel genetik algoritma modelleri içerisinde efendi-köle problemimize uygun olduğu görülmüştür. Benzetimlerde test sistemleri üzerinde sırasıyla tek hat, çift hat ve hatta üç hat aynı anda güç akış kontrolleri ve düzenlemeleri başarı ile gerçekleştirilmiştir.

Önerilen yöntem dört ayrı IEEE test sistemi üzerinde denenmiştir. Bunlar IEEE 14 bara, IEEE 30 bara, IEEE 118 bara ve IEEE 300 bara sistemleridir. Paralel ortamda çalışma ise sadece IEEE 118 bara ve IEEE 300 bara sistemlerine uygulanmıştır. Çünkü diğer sistemler küçük olduklarından paralel ortamda fazla verim alınamayacağı aşikardır. Sistem büyüdüğünde sistemin kontrol elemanlarının, sistem durum değişkenlerinin sayılarında artış olacaktır. Sistem çözümünde Jakobyen matrisin boyutunun da artması ile eniyileme probleminde fonksiyon hesaplaması çok daha maliyetli hale gelecektir. Yüksek başarımlı bilgisayarlar ile paralel ortamda ki çalışmalardan görüldüğü gibi, sistem büyüdükçe programın seri çalışmaya oranla çözümündeki hızlanmada artmaktadır. Bu da mevcut kaynakların daha verimli kullanıldığıнын göstergesidir. Bu durum Bölüm 7'deki çalışmalarda özellikle IEEE 300 bara sisteminde farklı iki durum için benzetimler yapılmış ve kaynak kullanımındaki verimlilik değişimleri izlenmiştir.

Hedef değerlere ulaşılırken baraların genliklerine 1-pu değerine daha çok yaklaşıldığı yani gerilim profilinin daha iyileştiği, gerilimlerin aı değerlerinden uzaklaşılmadığı, hat limitlerinin taşıma kapasitelerinin aşılmadığı, aktif ve reaktif hat kayıplarında kutleşmediği görülmektedir.

Bu gelişmeler amaçlar ve kısıtlar için tanımlanan bulanık üyelik fonksiyonlarında ulaşılan üyelik değerlerindeki yani memnuniyet seviyelerindeki artışlarla da görülmektedir.

Sonuç olarak, olası senaryolara önerilen yöntem uygulandığında elde edilen sonuçlar ile sistemin temel durum zmleri karşılaştırıldığında yöntemin oldukça başarılı olduğu görülmüştür.

Literatüre Katkısı:

Güç sistemlerinde belirli güzergahlarda anlaşmalar doğrultusunda belirlenen aktif güç iletiminin gerçekleştirilmesi, sistem işletiminde kontrollü yapı ile önem kazanmıştır. Bu nedenle belirli güzergahlardaki planlanmış aktif güç akış kontrolü ile kapalı çevrimlerdeki istenmeyen akışlar önlenebilir/düzenlenebilir. Problemin üzümünde aktif güç akış sınırlarının esnemez Şekilde ele alınması durumunda bir zm elde edilemeyebilir. Bu nedenle problemin bulanık ortamda ele alınarak sistem işleticisinin deneyimleri doğrultusunda memnuniyetsizliği en aza indirerek bir zme ulaşmak daha olasıdır. Bölüm 1'de konu için yapılan literatür taraması karşılaştırmalı olarak önerilen yöntemde dahil verilmiştir. Daha nceki yöntemlerde sistem değişkenlerinin bulanıklaştırılması ve bu sayede sistem işleticilerinin deneyimlerinin sistem zmne yansıtılmamıştır. Ayrıca zmler paralel hesaplama teknikleri kullanılarak gerekleştirildiklerine dair bir bilgiye de rastlanmamıştır.

Hesaplamalı Bilim ve Mühendislik Açısından Katkı:

Konu elektrik güç sistemlerinde gerçek ve güncel bir mühendislik probleminden seçilmiştir. Akıllı sistem uygulamalarından bulanık karar verme ve bulanık kümelerde tanımlı bulanık üyelik fonksiyonları ile amaçlar ve kısıtlar modellenerek bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemde üzülen problem evrimsel arama algoritmalarından genetik algoritmalar kullanılarak eniyilemesi gerçekleştirilmiştir. Benzetim alışmaları hesaplamalı bilim ve mühendislik programı labratuvarlarında

yüksek başarılı bilgisayarlar ile gerçekleştirilmiştir. Çözümlerde yüksek verim ve hızdan kazanmak için paralel hesaplama teknikleri kullanılmıştır.

Gelecek Çalışmalar:

Türkiye’de bir bölgeye ait sistem verileri elde edilebilirse yöntemin o sisteme uygulanması gerçekleştirilebilir.

Yapılan çalışmanın bölgeler arası enerji iletimi ve fiyatlandırılması gibi işlemlerde kullanılabilmesi için gerekli ilave çalışmalara devam edilebilir ve yöntem geliştirilebilir.

Paralel performansın daha da artırılması için farklı paralel genetik algoritmalar veya farklı eniyileme teknikleri denenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] **Saadat, H.**, (2002). Power System Analysis, McGrawh-Hill Inc., ikinci sürüm.
- [2] **Kavicy, J.A. ve Shahidehpour, S.M.**, (1996). Parallel path aspects of transmission modeling, *IEEE Transactions on Power Systems*, **11**.
- [3] **Alsac, O. ve Stot, B.**, (1974). Optimal load flow with steady state security, *PWRS, PAS-94*, 745–751.
- [4] **Wood, A.J. ve Wollenberg, B.F.**, (1984). Power Generation Operation and Control, John Wiley & Sons, New York.
- [5] **Dreyer, H.G., Miller, C.B. ve Spence, M.B.J.**, (1999). Opportunities, benefits, and issues relating to the deregulation of the electric power industry, *IEEE Power Engineering Society, Summer Meeting*, **2**.
- [6] **Talati, S. ve Bednarz, J.**, (1998). Deregulation and opportunities for industrial customers, *IEEE transaction on industry applications*, **34(6)**.
- [7] **Narinder, K., Trehan, P.E. ve Saran, R.**, (2004). Electric utility deregulation: failure or success, *IEEE Nuclear Science Symposium Conference Record*, **7**.
- [8] **Choo, C.Y., Nair, N.K.C. ve Chakrabarti, B.** Impact of Loop Flows on Electricity Market Design.
- [9] **Url-1**, <<http://americanhistory.si.edu/powering/basics/loop1.htm>>, alındığı tarih: 13.01.2011, Understanding the Loop Flows.
- [10] **Lively, M.**, (2007). Pricing Intermittency, Loop Flow, and Other Forms of Unscheduled Flows of Electricity, Teknik Rapor, A Web Based Seminar by Leonardo ENERGY, <<http://www.leonardo-energy.org/webfm-send/139>>.
- [11] **Overbye, T. ve Weber, J.D.**, (2000). New Methods for the Visulation of Electric Power System Information, Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization, s.139.
- [12] **Url-2**, <<http://www.powerworld.com/>>, alındığı tarih: 30.10.2011.
- [13] **Url-3**, <<http://americanhistory.si.edu/powering/dereg/current2.htmrhe1>>, Wholesale Price Spikes, alındığı tarih: 13.01.2011.

- [14] (2004). Final Report on the August 14, 2003 Blackout in the United States and Canada: Causes and Recommendations, *U. S. - Canada Power System Outage Task Force*.
- [15] **Holland, J.H.**, (1975). Adaptation in natural and artificial system, Ann Arbor, the University of Michigan Press.
- [16] **Goldberg, D.E.**, (1988). Genetic algorithms, Addison wesley.
- [17] **Goldberg, D.E.**, (1989). Genetic algorithms in search, optimization and machine learning, Addison wesley.
- [18] **Suryanarayanan, S., Farmer, R.G., Heydt, G.T. ve Chakka, S.**, (2004). Estimation of unscheduled flows and contribution factors based on Lp norms, *PAS*, **19-2**, 1245–1246.
- [19] **Suryanarayanan, S. ve Heydt, G.T.**, (2008). Modification to contribution factor formula for unscheduled flow, *PAS*, **23(2)**.
- [20] **Suryanarayanan, S., Heydt, G.T., Farmer, R.G. ve Chakka, S.**, (2004). An estimation techniques to contribution factors for loop flows in an interconnected power system, *Electric power components and systems*, **19(2)**.
- [21] **Suryanarayanan, S.**, (2008). Techniques for accommodating unscheduled flows in electricity networks and markets, *IEEE PES General Meeting*, 1–6.
- [22] **Suryanarayanan, S., Montgomery, D.C. ve Heydt, G.T.**, (2005). Considerations for implementing tag schedules in transmission circuits, *PAS*, **20(1)**.
- [23] **Granelli, G., Montagna, M., Zanellini, F., Bresset, i.P. ve Vailati, R.**, (2006). A genetic algorithm-based procedure to optimize system topology against parallel flows, *IEEE Transactions on Power Systems*, **21(1)**.
- [24] **Zhao, Y., Irving, M.R. ve Song, Y.**, (2005). Fundamentals and applications of power transfer allocation using graph theory in systems with loop flow, IEEE/PES transmission and distribution conference & exhibition: asia and pacific dalian, china.
- [25] **Wu, W. ve Wong, C.**, (2003). FACTS applications in preventing loop flows in interconnected systems, cilt 1, Power engineering society general meeting, IEEE.
- [26] **Siever, W.M.**, (2007). Power Grid Flow Control Studies and High Speed Simulation, *Doktora Tezi*, University of Missouri-Rolla, Computer Engineering.
- [27] **Gotham, D.J. ve Heydt, G.T.**, (1998). Power flow control and power flow studies for systems with FACTS devices, *PAS*, **13(1)**.
- [28] **Iba, K.**, (2005). Identification of transmission line user and congestion management by loop flow controllers, CIGRE/IEEE PES, International symposium.

- [29] **Oudalov, A., Cherkaoui, R. ve Germond, A.J.**, (2001). Application of fuzzy logic techniques for the coordinated power flow control by multiple series FACTS devices, *PICA*, innovative computation for power-electric energy meets the market. 22nd IEEE power engineering international conference.
- [30] **Oudalov, A., Cherkaoui, R., Germond, A.J. ve Emery, M.**, (2003). Coordinated power flow control by multiple FACTS devices, cilt 3, Power tech conference proceedings, IEEE Bologna.
- [31] **Divan, D. ve Johal, H.**, (2007). Distributed FACTS - A new concept for realizing grid power flow control, *IEE Transaction on Power Electronics*, **22(6)**.
- [32] **Divan, D.M., Brumsickle, W.E., Schneider, R.S., Kranz, B., Gascoigne, R.W., Bradshaw, D.T., Ingram, M.R. ve Grant, I.S.**, (2007). A Distributed Static series compensator system for realizing active power flow control on existing lines, *IEE Transaction on Power Delivery*, **22(1)**.
- [33] **Divan, D. ve Johal, H.**, (2005). Distributed FACTS - A New Concept for realizing grid power flow control, IEEE 36th Power Electronics Specialists Conference, PESC'05, s.8–14.
- [34] **Bucholz, B.M., Retzmann, D., Siemens, A., Erlangen ve Germany**, (2005). Prevention of large grid disturbances through advanced power automation technology, IEEE 2005 PowerTech, Russia.
- [35] **Kirschner, L., Retzmann, D. ve Thumm, G.**, (2005). Benefits of FACTS for power system enhancement, IEEE/PES Transmission and Distribution Conference & Exhibition: Asia and Pacific Dalian, China.
- [36] **Abhyankar, A.R., Khaparde, S.A. ve Soman, S.A.**, (2000). Power flow tracing for transmission open access, DRPT 2000 international conference on, Electric utility deregulation and restructuring and power technologies.
- [37] **Janssens, J.N. ve Kamagate, A.**, (2003). Loop Flows in a ring AC power system, *Elsevier, Electrical Power and Energy Systems*, **25**, 591–597.
- [38] **Miller, J.M., Balmat, B.M., Morris, K.N., Malinowski, J.H., Pasternack, B.M. ve Eilts, L.E.**, (1991). Operating problems with parallel flows, Committee Report, *IEE Transaction on Power Systems*, **6**.
- [39] **Url-4**, <<http://en.wikipedia.org/wiki/2003NorthAmericaBlackout>>, alındığı tarih: 03.09.2010, Northeast blackout.
- [40] **Lerner, E.J.**, (2003). What's wrong with the electric grid, *American institute of physics*.
- [41] (2008). Lake Erie Loop Flow Mitigation A report from the New York Independent System Operator, Teknik Rapor, New York Independent System Operator.
- [42] (2009). Solution to Loop Flow: NYISO Response to FERC Order, Teknik Rapor, ieso Power to Ontario On Demand., presentation to Stakeholder Advisory Committee.

- [43] (2003). Interim report of the investigation committee on the 28 september 2003 blackout in Italy, Teknik Rapor, Union for the coordination of transmission of electricity, UCTE.
- [44] (2006). Are you ready for the next blackout? learning the management lessons, Teknik Rapor, World energy council, London, seminar on large power system failures.
- [45] **Louie, H. ve Strunz, K.**, (2005). Market-Based Power Flow Control with Reduced Wide-Area Impact, CIGRE/IEEE PES, International Symposium., s.323–330.
- [46] **Van Hertem, D., Verboomen, J., Belmans, R. ve Kling, W.L.** Power flow controlling devices: An overview of their working principles and their application range.
- [47] **Van Hertem, D., Verboomen, J., Burchala, K., Belmans, R. ve Kling, W.L.**, (2006). Usefulness of DC Power Flow for Active Power Flow Analysis with Flow Controlling Devices, AC and DC Power Transmission, 2006. ACDC 2006. The 8th IEE International Conference on., <<http://www.esat.kuleven.be/electa/publications/fulltexts/pub-1536.pdf>>, <<http://ieeexplore.ieee.org>>.
- [48] **Marinakis, A., Glavic, M. ve Van Cutsem, T.**, (2010). Minimal reduction of unscheduled flows for security restoration: Application to phase shifter control, *PAS*, **25(1)**, 506–515.
- [49] **Verboomen, J., Hertem, D.V., Schavemaker, P.H., Kling, W.L. ve Belmans, R.**, (2007). Border-Flow control by means of phase shifting transformers, 60, IEEE PowerTech conference, Lausanne (Switzerland).
- [50] **Verboomen, J., Hertem, D.V., Schavemaker, P.H., Kling, W.L. ve Belmans, R.**, (2008). Analytical Approach to Grid Operation with Phase Shifting Transformers, *PAS*, **23(1)**, 41–46.
- [51] **Peshon, J., Piercy, D.S., Tinney, W.F. ve Tveit, O.J.**, (1968). Sensitivity in Power Systems, *PWRS*, **PAS-87**.
- [52] **Baldick, R. ve Kahn, E.**, (1997). Contract Paths, Phase-Shifters, and Efficient Electricity Trade, *PAS*, **12(2)**, 749–755.
- [53] **Blickle, T. ve Thiele, L.**, (1995). A comparison of selection schemes used in genetic algorithms, Teknik Rapor 11, Computer engineering and communication networks lab (TIK), Swiss federal Institute of technology (ETH), Zurich, Switzerland, TIK-Report, version 2, edition 2.
- [54] **Blickle, T. ve Thiele, L.**, (1995). A mathematical analysis of tournament selection, Proceedings of the 6th international conference (ICGA95), Morgan Kaufmann, San Francisco, CA.

- [55] **Miller, B.L. ve Goldberg, D.E.**, (1995). Genetic algorithms, tournament selection, and the effects of noise, Teknik RaporIlligAL Report No. 95006, citeseerx.ist.psu.edu.
- [56] **Houck, C.R., Joines, J.A. ve Kay, M.G.**, (1995). A genetic algorithm for function optimization: a matlab implementation, nCSU-IE TR 95-09, 1995.
- [57] **Houck, C.R., Joines, J.A. ve Kay, M.G.** A genetic algorithm for function optimization: A matlab implementation, <<http://www.ie.ncsu.edu/mirage/GAToolBox/gaot/>>.
- [58] **Zhong, J., Hu, X., Gu, M. ve Zhang, J.**, (2005). Comparison of Performance between Different Selection Strategied on Simple Genetic Algorithms, Proceedings of the 2005 International Conference on Computational Intelligence for Modelling, Control and Automation, and International Conference., IEEE Computer Society.
- [59] **Zadeh, L.A.**, (1965). Fuzzy sets, *Inf. Control*, **8**, 338–353.
- [60] **Zadeh, L.A.**, (2007). Fuzzy sets and systems, SOFA 2007 2nd IEEE international workshop on soft computing applications.
- [61] **Berthold, G.J.M.**, (2005), Tutorial : Fuzzy Logic, Department of Computer and Information Science, University of Konstanz., <<http://videlectures.net/acai05-berthold-fl/>>.
- [62] **Terano, T., Asai, K. ve Sugeno, M.**, (1992). Fuzzy Systems Theory and Its Applications, Academic Press.
- [63] **Zimmerman, H.J.**, (1993). Fuzz set theory and its applications, Kluwer Academic Publishers, 2 sürüm.
- [64] **Rommelfanger, H.J.**, (2002). Decision making in fuzzy environment, First international IEEE symposium on "intelligent systems".
- [65] **Klir, G.J. ve Yuan, B.**, (1995). Fuzzy Sets And Fuzzy Logic, Theory and Applications, Prentice-Hall International, Inc.
- [66] **Klir, G.J. ve Folger, T.A.**, (1988). Fuzzy Sets Uncertainty And Information, Prentice-Hall International, Inc.
- [67] **Satpathy, P.K., Das, D. ve Dutta Gupta, P.B.**, (2004). Power flow analysis using fuzzy set approach, *IEEE Power engineering society general meeting*, **85**.
- [68] **Bansal, R.C.**, (2003). Bibliography on the fuzzy set theory applications in power systems (1994-2001), *PAS*, **18(4)**.
- [69] **Momoh, J.A. ve Tomsovic, K.**, (1995). Overview and literature survey of fuzzy set theory in power systems, *PAS*, **10(3)**, 1676–1690.
- [70] **Tomsovic, K.**, Fuzzy systems applications to power systems, <<http://tomsovic.eecs.wsu.edu/Vitae/Publications/TOMS00a.pdf>>.

- [71] **Hiyama, T. ve Tomsovic, K.**, (1999). Current status of fuzzy system applications in power systems, IEEE international conference on systems, man, and cybernetics.
- [72] **Michalewicz, Z.**, (1996). Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer-Verlag, üçüncü sürüm.
- [73] **Eiben, A.E. ve Smith, J.E.**, (2003). Introduction to Evolutionary Computing, Springer-Natural Computing Series.
- [74] EPDK (Enerji piyasası düzenleme kurulu), (2003). Elektrik iletim sistemi arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliği.
- [75] **Srinivasan, D., Liew, A.C. ve Chang, C.S.**, (1995). Applications of fuzzy systems in power systems, *Electric power systems research*, **35**, 39–43.
- [76] **Bansal, R.C.**, (2005). Optimization methods for electric power systems: An overview, *International journal of emerging electric power systems*, **2**, produced by the berkeley electronic press (bepress), <<http://www.bepress.com/ijeeps>>.
- [77] MATLAB mathworks release R2008b.
- [78] **Url-5**, <<http://www.pserc.cornell.edu/matpower/>>.
- [79] **Dag, G.O. ve Bagriyanik, M.**, (2009). The effects of selection strategies on fuzzy-genetic algorithm based power flow control, *International Conference on Genetic and Evolutionary Methods, GEM'09, WorldComp, Las Vegas, Nevada, USA*.
- [80] **Dag, G.O. ve Bagriyanik, M.**, (2009). The effect of different fuzzy membership function forms on controlling loop flows, *The 44th International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2009, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland*.
- [81] **Carriero, N. ve Gelernter, D.**, (1990). How to write parallel programs - A first course, MIT Press.
- [82] **Foster, I.**, (1995). Designing and Building Parallel Programs, Addison Wesley.
- [83] **Barney, B.**, (2005), Lawrence Livermore National Laboratory, Parallel Computing Tutorial.
- [84] **Moura, L., Silva, E. ve Buyya, R.** Parallel Programming Models and Paradigms, chapter 1.
- [85] **Kumar, V., Grama, A., Gupta, A. ve Karpis, G.**, (1994). Introduction to Parallel Computing: Design and Analysis of Parallel Algorithms, Benjamin-Cummings Pub Co.

- [86] **Hiroyasu, T., Miki, M. ve Tanimura, Y.**, (2002). The Difference of Parallel Efficiency between the Two Models of Parallel Genetic Algorithms on PC Cluster Systems, cilt 2, High Performance Computing in The Asia-Pacific Region, 2000. The 4th International Conference on., IEEE Computer Society, s.945–948.
- [87] **Kochel, P. ve Riedel, M.**, (2004). Performance Evaluation of Parallel Genetic Algorithms for Optimization Problems of Different Complexity, *Parallel Computing: Software Technology, Algorithms, Architectures and Applications*, Elsevier, g. R. Joubert, W. E. Nagel, F. J. Peters and W. V. Walter.
- [88] **Sivanandam, S.N. ve Deepa, S.N.**, (2008). Introduction to Genetic Algorithms, Springer-Verlag.
- [89] **Cantu-Paz, E.**, (1999). Designing Efficient and Accurate Parallel Genetic Algorithms, Illinois Genetic Algorithms Laboratory, Teknik Rapor99017.
- [90] **Cantu-Paz, E. ve Goldberg, D.E.**, (1999). On the Scalability of Parallel Genetic Algorithms, *Evolutionary Computation*, **7(4)**, massachusetts Institute of Technology.
- [91] **Cantu-Paz, E.**, (1997). Designing Efficient Master-Slave Parallel Genetic Algorithms.
- [92] **Stender, J.**, (Ed.). (1993). Parallel Genetic Algorithms: Introduction and Overview of Current Research, Parallel Genetic Algorithms, IOS Press, dorigo, M. and Maniezzo, V.
- [93] **Konfrist, Z.**, (2009). Soft Computing and the Feasibility of Parallelization: Parallel Genetic Algorithms, *Doktora Tezi*, Czech Technical University in Prague, Faculty of Electrical Engineering Department of Cybernetics.
- [94] **Konfrist, Z.**, (2004). Parallel Genetic Algorithms: Advances, Computing Trends, Applications and Perspectives, Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'04), IEEE Computer Society.
- [95] **Rivera, W.**, (2000). Scalable Parallel Genetic Algorithms, Kluwer Academic Publishers.
- [96] **Nowostawski, M. ve Poli, R.**, (1999). Parallel genetic algorithm taxonomy, Knowledge-Based Intelligent Information Engineering Systems. Third International Conference, s.88–92.
- [97] **Ismail, M.A.**, (2004). Parallel Genetic Algorithms (PGAs): Master Slave Paradigm Approach Using MPI, IEEE.
- [98] **Alba, E. ve Troya, J.M.**, (2001). Analyzing synchronous and asynchronous parallel distributed genetic algorithms, *Elsevier, FGCS, Future Generation Computer Systems*, **17**, 451–465.

[99] MATLAB Distributed Computing Server 5, Syem Administrator's Guide.

[100] **Url-6**, <<http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>>, alındığı tarih:
29.10.2010.

EKLER

EK A : IEEE 14 Baralı Test Sistemi

EK B : IEEE 30 Baralı Test Sistemi

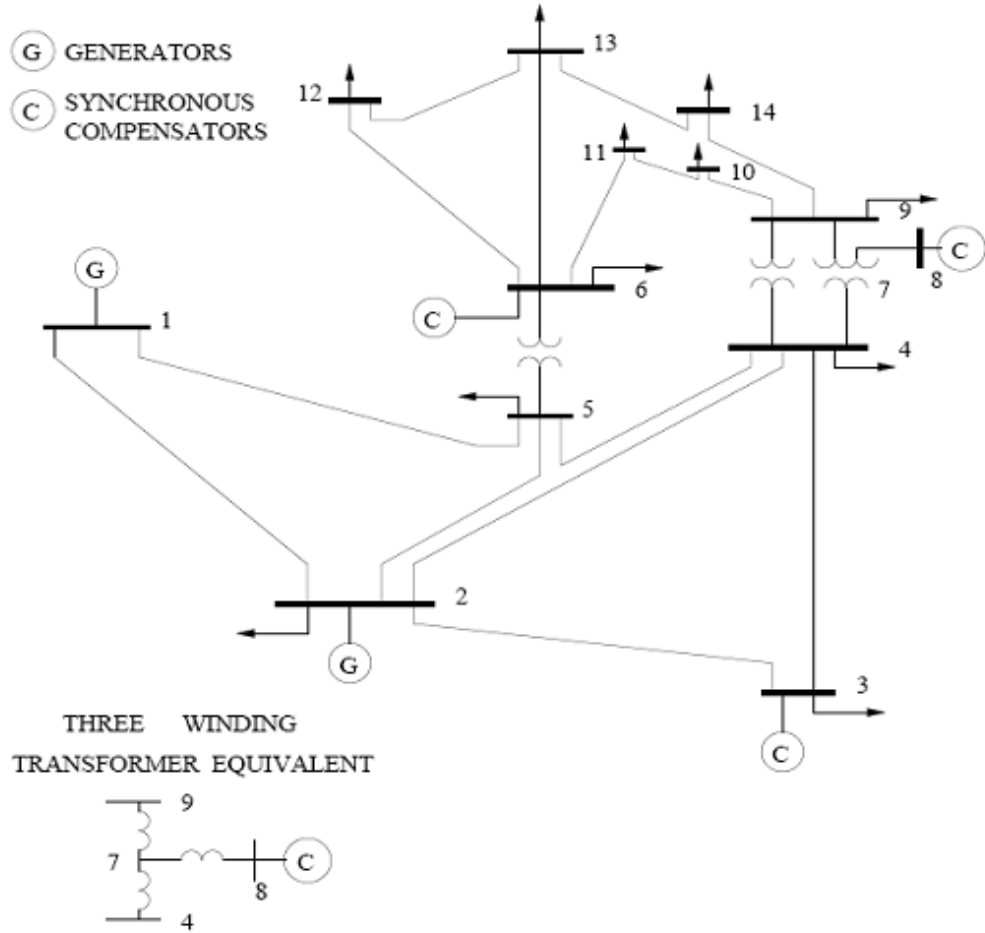
EK C : IEEE 118 Baralı Test Sistemi

EK D : IEEE 300 Baralı Test Sistemi

**EK E : Literatürde Problem Çözümü İçin Yapılanların Önerilen Yöntemde Dahil
Tablo Üzerinde Karşılaştırılması**

EK A

Şekil fig:ieeee14'te verilen IEEE 14 baralı test sisteminde, paralel iletim hatları ve kapalı çevrimli iletim hatları mevcut olup, enerji farklı yollardan tüketim noktalarını besleyebilmektedir. IEEE 14 baralı örnek test sisteminde 2 adet generatör (üreteç) barası ve 3 adet ise senkron kompanzatorün bağlı olduğu bara mevcuttur. Örnek test sisteminde 2 adet 2 sargılı, 1 adet 3 sargılı transformator, 15 adet hat olmak üzere toplam 20 adet kol (iletim hattı) bulunmaktadır. Bu alternatif yollar, herhangi bir nedenle iletim hatlarından biri devre dışı kaldığı vakit, baralarda bulunan elektriksel yüklerin enerjisiz kalmasını önlemektedir. İletim sistemine ilişkin bara, hat ve transformator verileri sırasıyla Tablo A.1, A.2, A.3'de verilmiştir.



Şekil A.1: IEEE 14 baralı standart test sistemi [100].

Çizelge A.1: IEEE 14 baralı örnek sistem bara verileri.

Bara No	P	Q	V_{genlik}	V_{aci}	V_{max}	V_{min}
1	0	0	1.06	0	1.06	0.94
2	21.7	12.7	1.045	-4.98	1.06	0.94
3	94.2	19	1.01	12.72	1.06	0.94
4	47.8	-3.9	1.019	-10.33	1.06	0.94
5	7.6	1.6	1.02	-8.78	1.06	0.94
6	22.2	7.5	1.07	-14.22	1.06	0.94
7	0	0	1.06	-13.37	1.06	0.94
8	0	0	1.09	-13.36	1.06	0.94
9	29.5	16.6	1.056	-14.94	1.06	0.94
10	9	5.8	1.051	-15.1	1.06	0.94
11	3.5	1.8	1.057	-14.79	1.06	0.94
12	6.1	1.6	1.055	-15.07	1.06	0.94
13	13.5	5.8	1.051	-15.16	1.06	0.94
14	14.9	5	1.036	-16.04	1.06	0.94

Çizelge A.2: IEEE 14 baralı örnek sistem hat verileri.

Baradan	Baraya	R	X	B
1	2	0.01938	0.05917	0.0528
1	5	0.05403	0.22304	0.0492
2	3	0.04699	0.19797	0.0438
2	4	0.05811	0.17632	0.034
2	5	0.055695	0.17388	0.0346
3	4	0.06701	0.17103	0.0128
4	5	0.01335	0.04211	0
6	11	0.09498	0.1989	0
6	12	0.012291	0.025581	0
6	13	0.06615	0.13027	0
9	10	0.03181	0.0845	0
9	14	0.12711	0.27038	0
10	11	0.08205	0.19207	0
12	13	0.22092	0.19988	0
13	14	0.17093	0.34802	0

Çizelge A.3: IEEE 14 baralı örnek sistem transformatör verileri.

Baradan	Baraya	R	X	Çevirme oranı
5	6	0	0.025202	0.932
4	9	0	0.055618	0.969
4	7	0	0.20912	0.978
7	8	0	0.17615	0
7	9	0	0.11001	0

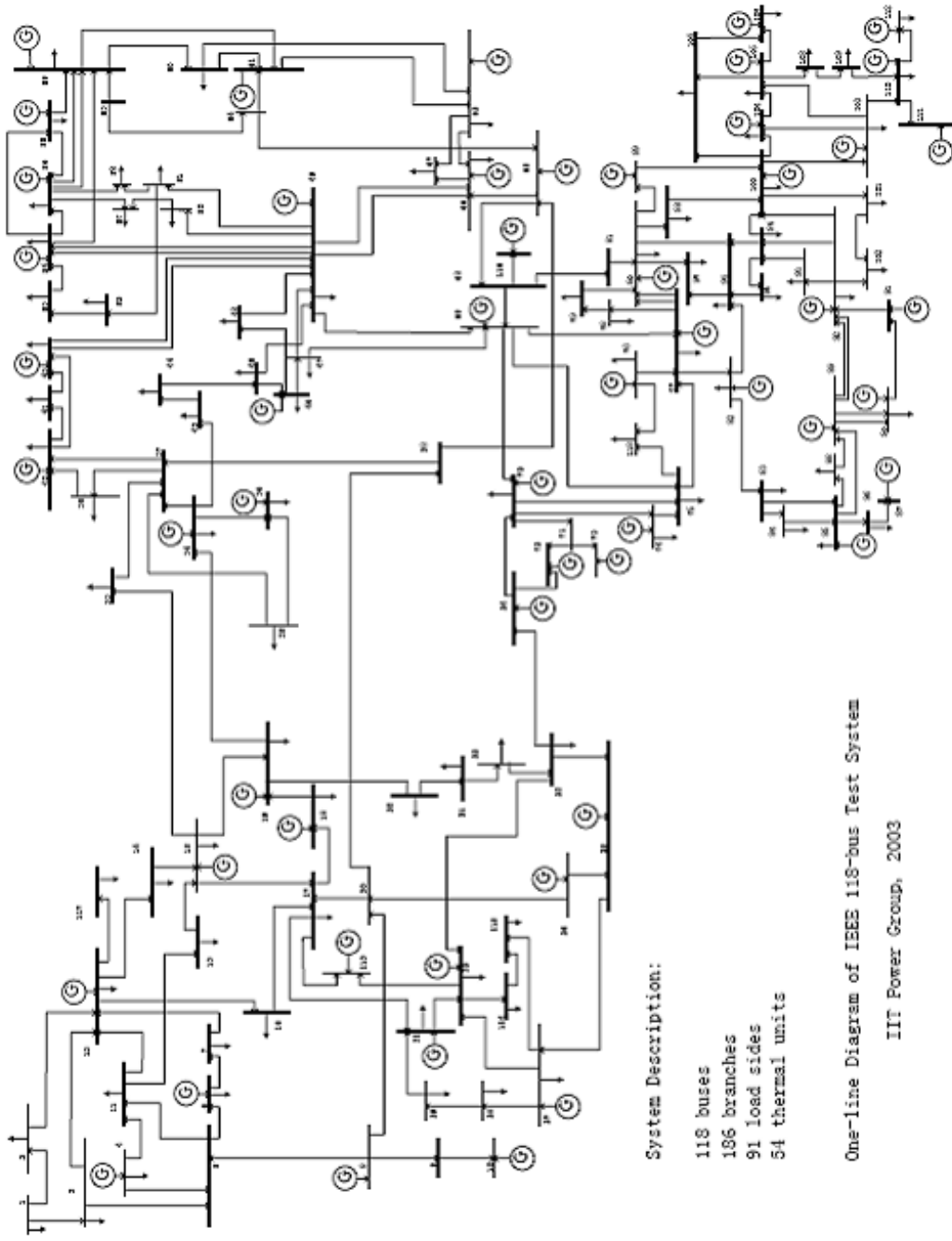
EK B

Şekil B.1'da verilen IEEE 30 baralı test sisteminde, paralel iletim hatları ve kapalı çevrimli iletim hatları mevcut olup, enerjinin farklı yollardan tüketim noktalarını besleyebilmektedir. IEEE 30 baralı örnek test sisteminde 2 adet generatör barası ve 4 adet senkron kompanzatörün bağlı olduğu bara mevcuttur. Örnek test sisteminde 2 adet 2 sargılı, 2 adet 3 sargılı transformator olmak üzere toplam 41 adet kol bulunmaktadır. Bu alternatif yollar, herhangi bir nedenle iletim hatlarından biri devre dışı kaldığı zaman, baralarda bulunan elektriksel yüklerin enerjisiz kalmasını önlemektedir. İletim sistemine ilişkin bara, hat ve transformator verileri sırasıyla Tablo 1, 2 ve 3 de verilmiştir.

EK C

Şekil C.1’de verilen IEEE 118 baralı test sisteminde 54 adet generatör barası, 99 adet yük, 9 adet transformatör, 14 adet şönt olmak üzere 186 adet hat mevcuttur. Bu alternatif yollar, herhangi bir nedenle iletim hatlarından biri devre dışı kaldığı zaman, baralarda bulunan elektriksel yüklerin enerjisiz kalmasını önlemektedir.

Bu test sistemine ait tüm verileri, sistem büyüdüğü için sayfalarca olduğundan, burada verilmemiştir. Bu veriler [100]’nolu referansla belirtilen web sayfasında Washington Üniversitesi elektrik mühendisliği tarafından herkese açık olarak oluşturulan bir arşivde temin edilebilmektedir.



System Description:
 118 buses
 196 branches
 91 load sides
 54 thermal units

One-line Diagram of IEEE 118-bus Test System
 IIT Power Group, 2003

Şekil C.1: IEEE 118 baralı standart test sistemi [100].

EK D

Şekil D.1-D.3'de parçalar halinde verilen IEEE 300 baralı örnek test sisteminde 69 adet generatör, 201 adet yük, 117 adet kademe ayar transformatörü, 14 adet şönt olmak üzere 411 adet hat mevcuttur.

Bu test sistemine ait tüm verileri, sistem büyüdüğü için sayfalarca olduğundan, burada verilmemiştir. Bu veriler [100]'nolu referansla belirtilen web sayfasında Washington Üniversitesi elektrik mühendisliği tarafından herkese açık olarak oluşturulan bir arşivde temin edilebilmektedir.

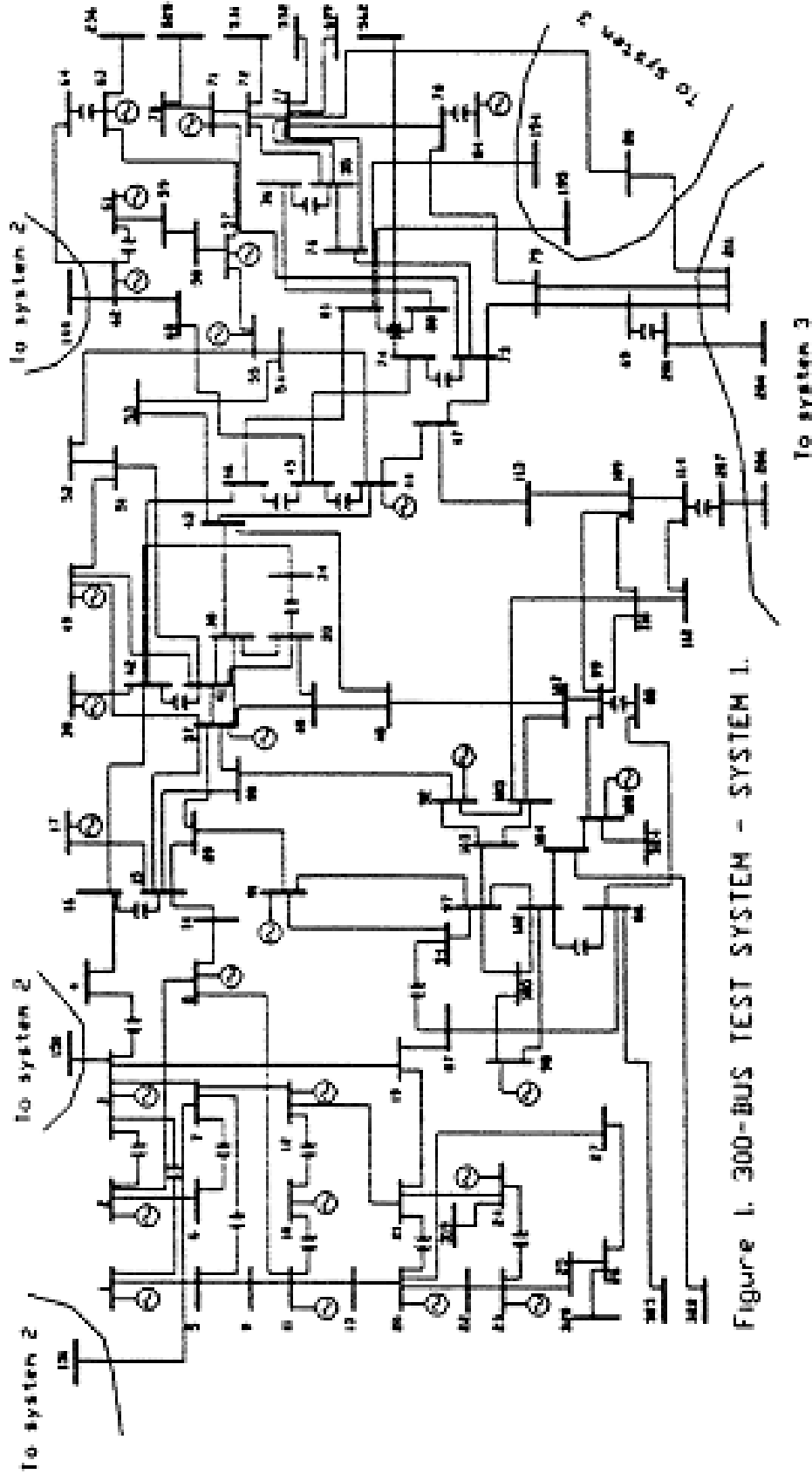
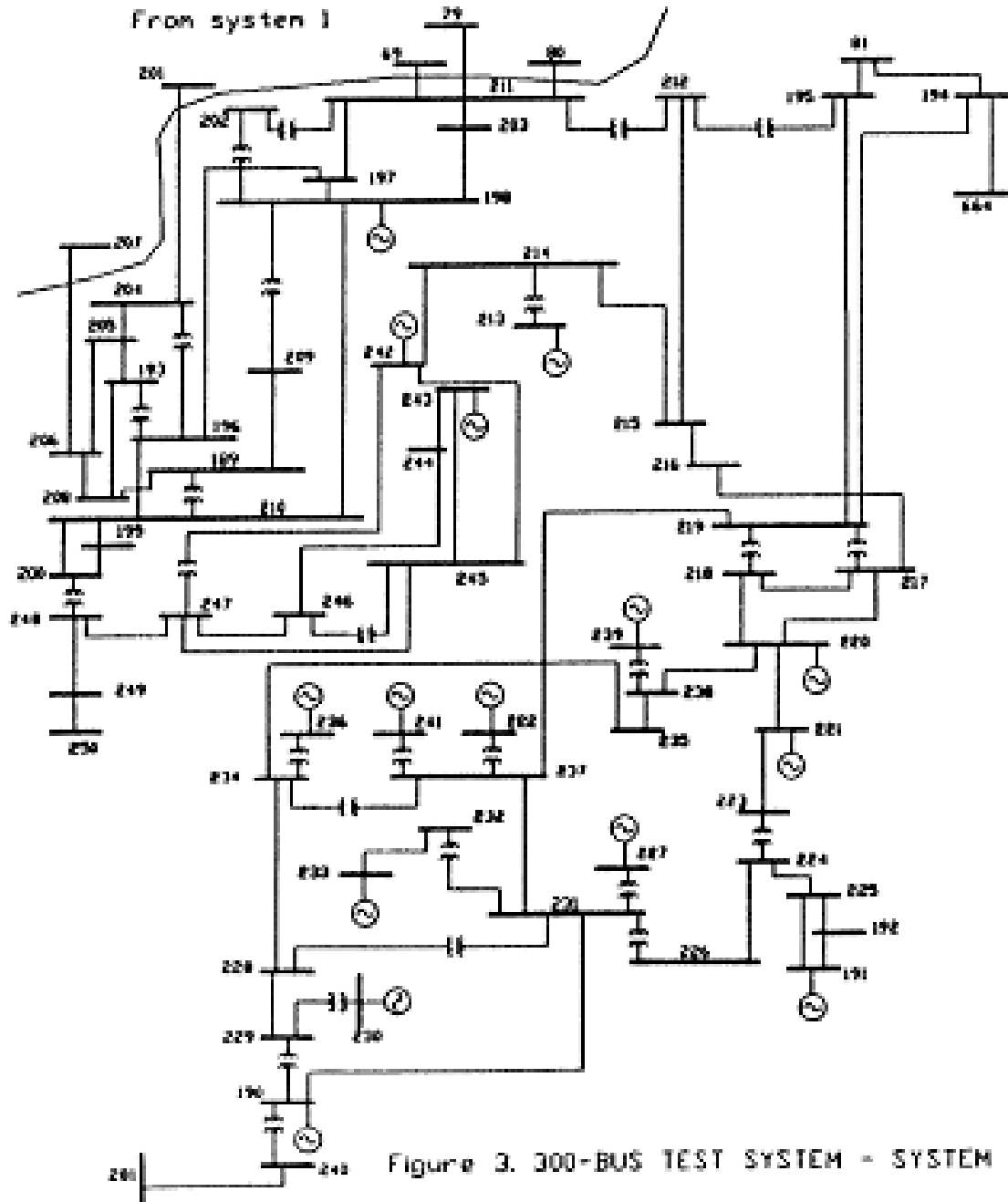


Figure 1. 300-BUS TEST SYSTEM - SYSTEM 1.

Şekil D.1: IEEE 300 baralı standart test sistemi, 1. parça [100].



Şekil D.3: IEEE 300 baralı standart test sistemi, 3. parça [100].

EK E

Çizelge E.1: Literatürdeki referansların ve önerilen yöntemin karşılaştırılması.

Referans numarası	En iyileme için kullanılan yöntem	Kontrol değişkenleri	Kapalı çevrim güç akışı için önerilen yöntem
[17-20] Surya	L2 norm veya en küçük kareler metodu Doğrusal en küçük kareler kestirimi	Minor ve major kapalı çevrim akışlar. (Minor akış gerçek akışın hedef akıştan az olmasıdır. Majör akış da gerçek akışın hedef akıştan fazla olma durumudur.)	Lp tahmin metodu ile kapalı çevrim güç akışı kestirilmeye çalışılmış. Katkı faktörü matrisi oluşturulmuş. Bu matristen kime ne kadar fiyat çıkartılacağı konusunda yararlanılmış. Bütün minor kapalı çevrim akışların büyüklükleri ve en büyük kapalı çevrim akışın büyüklüğüne dayanarak bir önceki çalışmadaki katkı faktörü matrisi için formülde düzeltme yapılmıştır. Hedef-akış: Metot gerçek akışı planlanan akışa mümkün olduğu kadar yakın yapmaya zorlayarak kapalı çevrim akışını minimize etmeyi amaçlamaktadır. Aradaki fark eğrisi ile normal sapma ihtimali eğrileri karşılaştırılarak metodun geçerliliği test edilmiştir. Durum kestirimi metodu ile kapalı çevrimlerin akışları tespit ediliyor. Katkı faktörü matrisi oluşturuluyor.

Çizelge E.2: (devam):

Referans numarası	En iyileme için kullanılan yöntem	Kontrol değişkenleri	Kapalı çevrim güç akışı için önerilen yöntem
[22] Granelli	GA	Devre kesicilerinin pozisyonları, devre kesicilerinin bulunduğu yerler, hatları veya transformatörleri bir baradan diğerine değiştirmek, hatların açılması, faz değiştirme trafolarının açılması.	Sistem yapısını (topology) eniyileme: Doğru anahtarlama (corrective switching) + Faz değiştirme trafolarının kullanımı, Sistem yapısındaki değişiklikler ile mevcut PST lerin çalışmaları ve yeni aygıtların yerleştirilmeleri modellenmiştir.
[23] Zhao	Çizge (graph) teori	Bir grup yönlü kapalı çevrim akışları , Yönlü hat akışları	Kapalı çevrim akışı elemine etmek ve reaktif güç fiyatlandırılmaya alternatif bir metot. Bir grup komşu kapalı çevrim yönlü akışlar içerisinde aynı yönlülerin başka bir grupta toplanması ile yönlü hatlar topluluğu oluşturulur. Bu topluluklar içerisinde değiş-tokuşlar ve yeni seçimler (Permutation and combination method) ile kapalı çevrim akışını kırma stratejileri oluşturulur.
[24] Wu, Wong		FACTS aygıtları konulmuş ve aygıtların parametrelerinde ilave edilerek hatlar modellenmiştir. Yeni sistem yük akışı programları ile çözülmüştür.	FACTS cihazlarından özellikle UPFC gerçek sistemde cihazlarında maliyetlerini düşürmek için orta gerilim sistemlerine yerleştirilmiştir.

Çizelge E.3: (devam):

Referans numarası	En iyileme için kullanılan yöntem	Kontrol değişkenleri	Kapalı çevrim güç akışı için önerilen yöntem
[25] Siever	Sembolik azaltım ile sistemin hızlı çözülmesi. Yaygın eniyileme metodları ile aygıtların set değerlerinin tespiti (SQP, sequential quadratic programming). Yük akışı için Newton-Rapson tekniği kullanılmıştır.	Aygıtların uygun yerleri, Aygıtların sayıları, Aygıtların set değerleri.	FACTS, UPFC aygıtları kullanılmış. Bu aygıtların sayılarının ekonomik açıdan eniyilenmesi, en uygun yerlerinin tespit edilmesi ve bunların koordineli olarak kontrol edilmeleri.
[26] Gotham, Heydt			FACTS: 1. UPFC, seri olarak aktif ve reaktif güç kontrolü 2. TCSC, PAR, aktif güç kontrolü 3. SVC, STATCON, paralel reaktif güç kontrolü.
[27] Iba	Doğrusal programlama, Kuvatratik programlama	Devre kesicileri, Kontrol aygıtları ve aygıtların bağlı buldukları baralara güç enjektinde edilmesi	DC-link, faz öteleyicisi (UPFC), Kesici anahtarlaması, Sistem operatörünün karar vereceği miktarda kontrol aygıtlarından güç enjeksiyonu.
[28-29] Oudalov	Bulanık mantık kontrol teknikleri, Güç sistemi duyarlılık analizleri, Durağan hal tahmin yöntemi		Birden fazla seri FACTS kullanımının (TCSCs) koordineli kontrolü üzerinde durulmuş, Bulanık mantık temelli aktif güç kontrolü

Çizelge E.4: (devam):

Referans numarası	En iyileme için kullanılan yöntem	Kontrol değişkenleri	Kapalı çevrim güç akışı için önerilen yöntem
[34] Kirschner		Hat seri empedansı, Aktif/reaktif güç enjeksiyonu	FACTS ile seri kompanzasyon UPFC (veya çok yavaş açılı öteleyici transformatörler) FACTS/HVDC
[35] Abhyankar	Seri kuadratik programlama (QP)		Çizge teorisi ile güç akışının olup olmadığını tespit edip, önlemek için de optimal yük akışı (OPF, optimal load flow) kullanılıyor.
[36] Janssens			Devreden çıkan bir hat tekrar devreye alındığında kapalı çevrim akışını değiştirmemesine rağmen uygun seçilmiş bir veya bir kaç hattın ve bu hatların farklı sistemleri bağlayan hatlar olması durumunda, bu hatlardaki seri empedansı artırmak için hatları bir kaç kez açma-kapama ile kapalı çevrim akışlarının önlenmesi önerilmiştir.
[44] Louie			FACTS ve PST'lerden yararlanılmış. Bunların iki seviyeli hiyerarşik bir biçimde kullanılmaları ve bunların en iyi yerleşim yerlerinin bulunması ve kapalı çevrim akışlarının kontrol edilmesi için geniş alan etki faktörü modeli geliştirilmiştir.

Çizelge E.5: (devam):

Referans numarası	En iyileme için kullanılan yöntem	Kontrol değişkenleri	Kapalı çevrim güç akışı için önerilen yöntem
[47] Marinakis	Doğrusallaştırılmış AC yük akışı programı	Hatların gerçek zamanlı olarak devreye alınması, çıkarılması. Sistem operatöründen yararlanılması.	Birden fazla faz açısı kontrolörleri (PST)'nin koordineli bir şekilde kullanımları ile kapalı çevrim güç akışı kontrolü yapılmıştır. Kapalı çevrim akışları harici üreteçlerin bir fonksiyonu olarak tanımlanmış.
[48-51]			PST uygulamaları.
Önerilen metot	GA, Bulanık karar verme, Doğrusal olmayan AC yük akışı programı (Newton-Raphson)	Generatörlerin aktif güçleri, generatörlerin bara gerilim değerleri, kademe ayar trafolarının kademe değerleri.	Kapalı çevrim akış kontrolü yanı sıra aktif ve reaktif kayıpların arttırılmaması, bara gerilimlerinin arzu edilen değerler arasında kalması, gerilim profilinin bozulmaması, hat akışlarının hat limitlerini ve termal değerleri aşmaması yan amaçlar olarak alınmıştır. Amaçlar ve kısıtlar bulanık ortamda üyelik fonksiyonları ile modellenmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Gülcihan ÖZDEMİR DAĞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Sivas, 1964.

Adres: İTÜ Bilişim Enstitüsü, oda no:218, Maslak, İstanbul.

E-Posta: gulcihan.ozdemir@be.itu.edu.tr

Lisans: İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği.

Y. Lisans: University of Wisconsin-Madison, USA, Electrical and Computer Engineering, Power Systems.

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Dag G. O.** and Bagriyanik M., Controlling Unscheduled Flows Using Fuzzy Set Theory and Genetic Algorithms, *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, vol. 5, N. 1, January-February 2010.
- **Dag G. O.** and Bagriyanik M., Preventing Loop Flows Using Fuzzy Set Theory and Genetic Algorithms, *IEEE PowerTech09*, Bucharest, Romania, 2009.
- **Dag G. O.** and Bagriyanik M., The effects of selection strategies on fuzzy-genetic algorithm based power flow control, *International Conference on Genetic and Evolutionary Methods, GEM'09*, WorldComp, Las Vegas, Nevada, USA, July 13-16, 2009.
- **Dag G. O.** and Bagriyanik M., The effect of different fuzzy membership function forms on controlling loop flows, *The 44th International Universities Power Engineering Conference, UPEC*, University of Strathclyde, Glasgow, Scotland, September 1-4, 2009.

