

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ARI KOLONİSİ
ALGORİTMASI İLE REAKTİF GÜÇ OPTİMİZASYONU**

SERKAN ÇOBANLI

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**TEMMUZ 2010
DÜZCE**



**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ARI KOLONİSİ
ALGORİTMASI İLE REAKTİF GÜÇ OPTİMİZASYONU**

Serkan ÇOBANLI

ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

**TEMMUZ 2010
DÜZCE**

Serkan ÇOBANLI tarafından hazırlanan GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE REAKTİF GÜÇ OPTİMİZASYONU adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

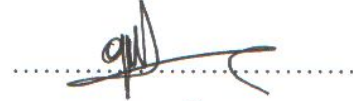
Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK



Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

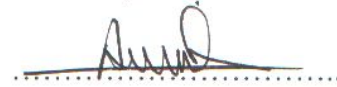
Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile Elektrik Eğitimi Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr.Uğur GÜVENÇ



Elektrik Eğitimi A.B.D., Düzce Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK



Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D., Düzce Üniversitesi

Yrd.Doç.Dr.Resul KARA



Bilgisayar Mühendisliği A.B.D., Düzce Üniversitesi

Tarih : 05/07/2010

Bu tez ile Düzce Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Refik KARAGÜL



Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür

TEZ BİLDİRİMİ

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

Serkan ÇOBANLI

ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans öğrenim hayatımda ve tez çalışmalarım boyunca gösterdiği her türlü destek ve yardımdan dolayı değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Ali ÖZTÜRK'e, Yrd. Doç. Dr. Pakize ERDOĞMUŞ' a,

Tez çalışmam sırasında her türlü bilgisini ve deneyimini benimle paylaşan Arş. Gör. Serhat DUMAN'a,

Bana her zaman güvenen, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen; annem ve babam Sultan ve Musa ÇOBANLI' ya, kardeşim Erkan ÇOBANLI' ya, ablam ve eniştem Serap ve Yusuf AKYAR' a ve değerli arkadaşım Meral TURAN'a,

Saygı ve şükranlarımı sunarak teşekkür ediyorum.

Temmuz 2010

Serkan ÇOBANLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	iv
ÇİZELGE LİSTESİ	v
SEMBOLLER LİSTESİ	vi
ÖZ	vii
ABSTRACT	ix
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR.....	3
2.1. REAKTİF GÜÇ İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER.....	9
2.1.1. Reaktif Güç Tanımı.....	9
2.1.2. Reaktif Güç Üretimi ve Tüketimi	9
2.2. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU.....	10
2.2.1. Kompanzasyonun Faydaları.....	10
2.3. RGO' DA KULLANILAN FACTS CİHAZLARI.....	12
2.3.1. Tristör Kontrollü Reaktör (TCR).....	14
2.3.2. Statik Var Kompanzator (SVC)	15
2.3.3. Tristör Anahtarlama Kapasitör (TSC)	16
2.3.4. Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC).....	17
2.3.5. İvertör Temelli Paralel ve Seri Kompanzatorlar	18
2.3.6. Birleşik Güç Akış Kontrolörü (UPFC).....	24
2.4. GERİLİM KARARLILIĞI.....	27
2.4.1. Güç Sisteminde Kararlılığın Sınıflandırılması.....	29
2.4.2. Gerilim Çökmeleri	31
2.5. KADEME DEĞİŞTİREN TRANSFORMATÖR.....	34
2.5.1. Gerilim Durumları	34
2.5.2. Kademe Değişimi.....	35
2.6. OPTİMAL REAKTİF GÜÇ PLANLAMASI.....	38

2.6.1. RGO'da Kullanılan Amaç Fonksiyonları.....	39
2.6.2. Reaktif Güç Optimizasyonunda Kullanılan Kontrol Değişkenleri	40
2.6.3. Reaktif Güç Optimizasyonu Kısıtları	44
2.7. GENETİK ALGORİTMA	46
2.8. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI	48
2.9. GERÇEK ARI OPTİMİZASYONU	49
2.10. NEWTON RAPHSON METODU.....	51
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	53
3.1. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI.....	53
3.1.1. YAK Algoritması İle Örnek Problem Çözümü.....	57
4. BULGULAR	60
4.1. YAK ALGORİTMASI İLE AKTİF GÜÇ KAYIPLARI İÇİN RGO.....	60
4.1.1. 6 Baralı Test Sistemi İçin RGO	60
4.1.2. IEEE 30 Baralı Sistemi İçin RGO	63
4.2. YAK ALGORİTMASI İLE ÇOK AMAÇLI RGO	65
5. TARTIŞMA VE SONUÇ	68
KAYNAKLAR.....	71
EKLER	77
EK-A.....	77
EK-B	81
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Bir dağıtım hattından beslenen tüketici.....	11
Şekil 2.2	: TCR devre şeması.....	14
Şekil 2.3	: TCR devre şeması.....	16
Şekil 2.4	: Tristör anahtarlamalı kapasitör ve TCR ile çalışan SVC.....	16
Şekil 2.5	: TSC tek faz devre şeması.....	17
Şekil 2.6	: TCSC devre şeması.....	18
Şekil 2.7	: Üç fazlı invertör şeması.....	19
Şekil 2.8	: Üç fazlı invertör çıkış gerilimlerinin değişimi.....	20
Şekil 2.9	: İki invertörlü Statcom şeması.....	21
Şekil 2.10	: SSSC'nin güç sistemine bağlantı şeması.....	24
Şekil 2.11	: UPFC Temel Devre Şeması.....	26
Şekil 2.12	: Yük Altında Mekanik Anahtarlamalı Kademe Değiştirici.....	37
Şekil 2.13	: k barasındaki T_{km} kademeli trafo temsili.....	42
Şekil 2.14	: Artan Güç Enjeksiyon Hataları ile Trafo Temsili.....	42
Şekil 2.15	: Genetik Algoritma Akış Şeması.....	47
Şekil 2.16	: Arıların yiyecek arama davranışları.....	49
Şekil 3.1	: YAK algoritması akış diyagramı.....	55
Şekil 4.1	: 6 baralı test sistemi bağlantı şeması.....	61
Şekil 4.2	: IEEE 30 Baralı Test Sistemi Bağlantı Şeması.....	63
Şekil 4.3	: 10 Baralı Sistem Bağlantı Şeması.....	66
Şekil 5.1	: 6 Baralı sistemin aktif güç kaybının çevrim sayısı ile değişimi.....	68
Şekil 5.2	: 30 Baralı sistemin aktif güç kaybının çevrim sayısı ile değişimi.....	69

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1	: Rastgele oluşturulan ilk koloni	57
Çizelge 3.2	: Hafızadaki bilginin çevrimlerdeki değişimi	58
Çizelge 3.3	: Hafızadaki bilginin çevrimlerdeki değişimi	58
Çizelge 3.4	: Çevrimlerdeki nektar miktarı değişimi	58
Çizelge 4.1	: 6 Baralı Sistem Hat Bilgileri(100 MVA Baz Alınmıştır).....	61
Çizelge 4.2	: RGO Değişken Limitleri	61
Çizelge 4.3	: 6 Baralı Sistemin Değişken ve Aktif Güç Kaybı Değişimi.....	62
Çizelge 4.4	: 6 Baralı Sistem Sonuçların Karşılaştırılması.....	63
Çizelge 4.5	: IEEE 30 Baralı Sistem Kontrol Değişken Limitleri.....	64
Çizelge 4.6	: IEEE 30 baralı sistemin değişken değerleri ve aktif güç kaybı	64
Çizelge 4.7	: 10 Baralı Sistem Hat Verileri	66
Çizelge 4.8	: 10 Baralı Sistem Bara Verileri.....	66
Çizelge 4.9	: Var kaynağı maliyeti ve yük baralarının referans gerilimi.....	67
Çizelge 4.10	: Değişken değerleri ve amaç fonksiyonu sonuçları	67
Çizelge 5.1	: YAK Algoritmasının Literatürdeki Bazı Sonuçlarla Karşılaştırılması .	69
Çizelge 5.2	: Çok Amaçlı RGO Sonuçlarının Karşılaştırılması.....	70

SEMBOLLER LİSTESİ

P	: aktif güç
Q	: reaktif güç
S	: görünür güç
V	: gerilim
I	: hat akımı
φ	: faz açısı
R	: omik direnç
X_L	: endüktif empedans
X_C	: kapasitif empedans
k	: katsayı
VAr	: reaktif güç değeri
S	: kontrol parametresi
P_{loss}	: aktif güç kaybı
pu	: per-unit
gk	: hattın kondüktansı
V_i	: i. baranın gerilim değeri
θ_{ij}	: i ve j baraları arasındaki gerilim değerinin faz açısı
V_{dev}	: gerilim sapması
V_{ref}	: referans gerilimi
N_{PQ}	: yük barası sayısı
I_c	: maliyet fonksiyonu
e_i	: tesisat ve i. baraya bağlı ekipman maliyeti
C_{ci}	: i. baraya bağlı VAr kaynağının ürettiği MVAr başına maliyeti
Q_{ci}	: i. baraya bağlı kaynağın bu baraya aktardığı reaktif gücün pu değeri
P_G	: generatör aktif gücü
Q_G	: generatör reaktif gücü
P_D	: talep edilen aktif güç
Q_D	: talep edilen reaktif güç
T_k	: transformator kademe değiştirme oranı
SN	: nektar kaynağı sayısı
P_i	: seçim kriteri
fit	: uygunluk
x	: nektar miktarı
θ_i	: nektar kaynak pozisyonu

GÜÇ SİSTEMLERİNDE YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI İLE REAKTİF GÜÇ OPTİMİZASYONU

(Yüksek Lisans Tezi)

Serkan ÇOBANLI

**DÜZCE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Temmuz 2010**

ÖZ

Günümüzde elektrik enerjisi vazgeçilemez bir hale gelmiştir. Teknolojinin gelişmesiyle birlikte elektrik enerjisi ile çalışan gereçler artmaktadır. Ayrıca gelişmekte olan ülkelerdeki hızlı sanayileşmeyle birlikte de güç sistemlerinde iletim hatlarından çekilen güç miktarı artmaktadır. İletim hatlarından çekilen gücün artmasıyla bazı problemlerde beraberinde gelmektedir. Bu sorunlardan biride hatlardaki aktif güç kayıplarının artmasıdır. Bu sorun reaktif güç optimizasyonu (RGO) ile minimuma indirilmeye çalışılmaktadır. Ayrıca son yıllardaki çalışmalarda aktif güç kayıplarının minimizasyonunda kontrol değişkenlerinin değişimi gerilim sapsmaları ve maliyet fonksiyonlarını da ön plana çıkarmıştır. Bu çalışmada reaktif güç optimizasyonu hem aktif güç kayıplarının azaltılması hem de aktif güç kayıpları, gerilim sapsmaları ve VAR kaynaklarının maliyet fonksiyonlarının minimizasyonu açısından incelenmiştir. Sistem değişkenlerinin optimize edilmesiyle aktif güç kayıplarının en aza indirilmesi çalışılmıştır. Ülkemizde tam anlamıyla bu konuda çalışma bulunmamasına rağmen dünyanın birçok yerinde örnek ve gerçek sistemler üzerinde RGO yapılmıştır. RGO'nun gerçekleştirilmesinde özellikle son yıllarda sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılmaktadır. Bu çalışmada da sezgisel yöntemlerden Yapay Arı Kolonisi

(YAK) kullanılmıştır. RGO da kullanılan değişkenler, kısıtlar, amaç fonksiyonları verilmiştir. YAK algoritması rnek problem ile aıklanmıştır.

**REACTIVE POWER OPTIMIZATION WITH ARTIFICIAL BEE COLONY
ALGORITHM IN POWER SYSTEMS**

(M.Sc. Thesis)

Serkan ÇOBANLI

**DUZCE UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

July 2010

ABSTRACT

In our days electricity has been an inevitable source of energy. Depending on the development of technology, electrical devices also have kept pace with it. In addition to the rapid industrialization in the developing countries, the energy requirements from the power systems have been increased. The increment of the energy exploited from the transmission lines brings also some problems. One is the increase in active power loss in the lines. The problem can be overcome by trying to minimize through a reactive power optimization(RPO). Moreover recent studies have given importance into the change of the controlled variables, voltage deviations and the cost functions for the minimization of the active power loss. In this study, reactive power optimization has been proposed to reduce the active energy loss and that the active power loss has been taken into consideration in terms of the minimization of the voltage deviations and the cost functions of the VAR sources. System variables have been used to minimize the active power loss. Although there hasn't been a research on the subject, there has been made RPO experimental and current systems in many countries in the world. In recent years, heuristic methods have been implicated in the realization of the RPO. Artificial bee colony (ABC) a heuristic method, has been used in this study. The variables, constraints and objective functions used in ABC have been given. The ABC algorithm has been explained by giving a sample problem.

1. GİRİŞ

Dünya genelinde nüfus artışı ve sanayileşmeye bağlı olarak elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır. Teknolojinin ilerlemesiyle de bu artış devam edecektir. Artık ülkelerin gelişmişlik düzeyi kriterleri arasında kişi başına tüketilen elektrik enerjisi miktarı da gösterilmektedir.

Elektrik enerjisine olan bağlılığın artması, tüketimin artması elektrik enerjisinin dağıtımını ile ilgili birçok sorunuda beraberinde getirmiştir. Elektrik enerjisinin kesintisiz sağlanması ve geriliminin, frekansının, güç faktörünün istenen değerlerde olması ve tüm bunların minimum maliyetle gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu sorunlar dünyada güç sistemleri üzerinde birçok çalışmanın yapılmasına neden olmuştur.

Reaktif güç optimizasyonunda son yıllarda bu çalışmalar arasında yerini almıştır. Özellikle yurt dışında güç sistemindeki aktif güç kayıplarının minimuma indirilmesine yönelik çalışmalara önem verilmiştir. Bu çalışmalarda farklı optimizasyon yöntemleri kullanılmıştır. Literatürdeki çalışmalarda geleneksel yöntemlerle ve son yıllarda hızla gelişen sezgisel yöntemlerle güç sistemlerinde reaktif güç optimizasyonu uygulanmıştır.

Reaktif güç optimizasyonunun büyük ölçekli olmasından dolayı klasik yöntemlerle direkt olarak çözümleri zordur. Büyük ölçekli problemlerin çözümünü kolaylaştırmak için basitleştirilmiş yöntemler aranmış ve ayrıştırma tekniği bulunmuştur. Büyük problemler alt problemlere ayrıştırılarak çözüme ulaşılmıştır. Ayrıştırma yöntemlerinde ana ve alt programlar arasında bilgi alış verişi yoluyla yapılır. İteratif yöntemlerde kontrol değişkenleri ana programdan alt programlara farklı bir amaç fonksiyonunu optimize etmek için her iterasyonda gönderilir. Alt programda bulunan değişken parametreleri ana programda tekrar çağırılarak kontrol edilir.

Ayrıştırma tekniğinin RGO'nun çeşitli kademelerinde farklı optimizasyon yöntemleri kullanılmasına rağmen RGO'nun karmaşık bir algoritma olmasından dolayı doğrusallaştırmalar varsayımlar gerektirebilir. Ayrıca çözümün minimum çözüme yakınsamasının uzun zaman alması veya yerel minimum noktalarına takılması sezgisel yöntemlerin kullanımını arttırmıştır.

RGO'nun özellikle son yıllarda yapılan çalışmalarında genetik algoritma (GA), karınca kolonisi algoritması, parçacık sürü algoritması (PSO), tabu arama algoritması, bakteriyel kemotaksisi, nöro dinamik algoritma, bitki büyüme similasyon algoritması gibi sezgisel yöntemlere önem verilmiştir. Bu algoritmaların kullanılmasında küresel minimum noktalarına ulaşmaları ve hızlı optimize etmeleri etkili olmuştur.

Bu tez çalışmasında da reaktif güç optimizasyonu için yeni bir sezgisel yöntem olan Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması kullanılmıştır. Karaboğa 2005 yılında Artificial Bee Colony (ABC) adı ile bu algoritmayı uluslar arası literatüre sokmayı başarmıştır. YAK algoritmasında arıların nektar kaynaklarından nektar toplamaları sırasındaki davranışları temel alınmıştır. Bu algoritma ile genelde doğrusal olmayan matematiksel fonksiyonlar üzerinde çalışmalar yapılmıştır.

Tezin 2. bölümünde literatürde yapılan RGO ve YAK çalışmalarına yer verilmiştir. Reaktif güç ile ilgili temel kavramlar, reaktif güç kompanzasyonları, RGO'da kullanılan FACTS cihazları, gerilim kararlılığı, kademe değiştiren transformatör yapısı ve özellikleri, optimal reaktif güç planlaması da bu bölümde açıklanmıştır. 3. bölümde yapay arı kolonisi algoritması örnek problemle birlikte anlatılmıştır. Bölüm 4 de 6 baralı test sistemi ve IEEE nin 30 baralı sistemi için aktif güç kayıpları amaç fonksiyonu olarak ele alınmış ve RGO gerçekleştirilmiştir. Ayrıca bu bölümde 10 baralı test sistemi üzerinde aktif güç kayıpları, gerilim salınımları ve VAR kaynakları maliyet fonksiyonları optimize edilerek çok amaçlı RGO gerçekleştirilmiştir. Bölüm 5 de yapılan çalışma literatürde yapılan benzer çalışmalarla karşılaştırılmıştır. Ayrıca güç sistemlerinde yapılabilecek değişikliklere yönelik önerilerde bulunulmuştur.

2. GENEL KISIMLAR

90'li yılların başlarından itibaren uluslar arası alanda RGO ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir. 90'li yılların sonlarına kadar bu problemin çözümünde klasik yöntemlere yer verilmiştir. Daha sonraları ise sezgisel yöntemlerin gelişmesiyle bu yöntemler çalışmalarda kullanılmıştır. Elektrik enerjisi ihtiyacının artması ve iletim hatlarından taşınan güç miktarının artmasıyla birlikte RGO çalışmaları hız kazanmıştır. Bulunan sezgisel yöntemlerin birçoğu güç sistemlerinde ve güç sistemlerinde uygulanan yöntemlerin bir çoğuda RGO'da kullanılmıştır.

Deep ve Shahidehpour (1990), ayrıştırma tekniğini kullanmış ve RGO'yu linear olarak ele almışlardır. 16 ve 30 baralı sistemleri ayrıştırma tekniği için 2'şer bölgeye ayırmışlardır. Örneğin 16 baralı sistemi 7 ve 9 baralık iki ayrı sistem olarak ele almışlardır. Bu sayede karmaşıklığı azaltarak klasik yöntemi kullanmışlardır.

Jwo ve diğ. (1995), benzetim tavlama yöntemi ile sistemin kompazatör ve aktif güç kayıp maliyetini birleştirerek RGO yapmışlardır. Ayrıca sistemi gerilim saplamaları açısından da kontrol etmişlerdir.

Putman ve diğ. (1998), endüstriyel enerji için reaktif güç kontrolü adı altında simpleks metodu ile problemi çözmüşlerdir.

Zhu ve diğ. (1998), RGO'yu analitik hiyerarşik süreç izleyerek sinir ağlarını kullanmışlardır. Çalışmalarında RGO'yu gerilim kalitesi ve sistemin aktif güç kayıpları açısından incelemişlerdir.

Grudin (1998), ikili ardışık programlama methodunu kullanmışlardır. İkili program yöntemini izlemişler ve amaç foksiyonu ile kontrol değişkenlerinin değişimini sürekli olarak takip eden bir yöntem kullanmışlardır. Çalışmalarını IEEE-30 baralı sisteme ve 278 baralı başka bir sisteme uygulamışlardır.

Yoshida ve Fukuyama (1999), parçacık sürü optimizasyon(PSO) yöntemi gerilim güvenliğini incelemişlerdir. Bu amaç doğrultusunda 14 ve 112 baralı sistemlerde RGO uygulamışlardır.

Liu ve diğ. (2000), genetik algoritma(GA), benzetim tavlama (SA) ve tabu araştırma(TS) algoritmaları ile hibrit bir çalışma yapmışlardır.

Deng ve diğ. (2002), sezgisel ve algoritmik kombine yaklaşımı ile sistemin 24 saat içindeki talep edilen aktif gücünü minimize etmişlerdir. Yaklaşımında bir gün önceki veriler bir sonraki günün değişken değerlerini ifade etmektedir.

Khiat ve diğ. (2002), Batı Cezayir iletim hattı sistemini RGO açısından incelemişlerdir. Çalışmalarında sezgisel ve sayısal teknikleri birleştirerek hibrit bir sistem kullanmışlardır.

Mantawy ve Al-Ghamdi (2003), güç sistemlerinde yeni bir RGO yöntemi olarak tanıttıkları çalışmalarında parçacık sürü algoritmasını kullanmışlardır. Bu yöntemi IEEE-6 baralı sistem üzerinde uygulamışlardır.

Lin ve diğ. (2003), RGO'yu gerilim kararlılığını dikkate alarak incelemişler ve 14 baralı sistem üzerinde uygulamışlardır. Bu çalışmada doğrusal olmayan programlama tekniğini kullanmışlardır.

Wei ve diğ. (2003), GA'da bazı sorunların olduğunu, GA'nın yerel noktalara takılabileceğini ve bu sorunun büyük çaprazlama ve mutasyon oranıyla çözülebileceğini ifade etmişlerdir. Ancak bu çözümünde problemin çözüm hızını yavaşlatacağını ifade etmişlerdir. Bu yüzden bağımsızlık genetik algoritma denilen bir yöntem kullanarak RGO problemini çözmüşlerdir.

Chuanwen ve Bompard (2004), kaotik parçacık sürü algoritması ile doğrusal iç noktalar yöntemini birleştirerek melez bir yöntem sunmuşlardır. Parçacık sürü optimizasyonun aramalarına geniş bir alanda başladığını ve bu yüzden de zaman açısından olumsuz olduğunu belirtmişlerdir. Bu yüzden de başlangıç alanını daraltan bir yöntem

kullanmışlardır. IEEE-30 baralı sisteme uygulayarak sonuçları grafiksel ve sayısal olarak PSO ile karşılaştırmışlardır.

Zhou ve diğ. (2005), reaktif güç optimizasyonunu minimum maliyet açısından değerlendirmiş ve işletim, dağıtım maliyetinin en az olabilmesi için sistemleri ayarlamaya çalışmışlardır. Bu amaç doğrultusunda genetik algorithmadan faydalanmışlardır.

Chenk ve diğ. (2005), çok bölgeli güç sistemlerini ayırarak gerçek zamanlı hiyerarşik ve dağıtılmış kontrol programını uygulamışlardır.

Durairaj ve diğ.(2005), geliştirilmiş genetik algoritma ile reaktif güç planlaması yapmışlardır. Gerilim kararlılığı, gerilim kalitesi, aktif güç kayıpları ve toplam maliyeti amaç fonksiyonlarında minimize etmeye çalışmışlardır. Çalışmalarını IEEE-30 ve 57 baralı sistemlerinde gerçekleştirmişlerdir.

Abido ve Bakhshwain (2005), evrimsel algoritma ile RGO'yu çok amaçlı olarak incelemişlerdir. En iyi aktif güç kayıpları ve en iyi gerilim sapması şeklinde değişken değerlerini bulmuşlardır. Bu iki amaç fonksiyonu ayrı ayrı minimize etmişlerdir.

Dehkordi (2006), IEEE-30 baralı sistemini gerilim ve reaktif güç kontrolünü sağlamak amacı ile genetik algoritma ile optimize etmiştir.

Li ve diğ. (2006), adaptif parçacık sürü optimizasyon algoritması ile RGO'yu gerçekleştirmişlerdir. Adaptif parçacık sürü optimizasyon algoritmalarını IEEE-30 baralı sisteme uygulamış ve sonuçları standart genetik algoritma ve parçacık sürü algoritması ile kıyaslamışlardır.

Lenin ve Mohan (2006), karınca koloni arama algoritması ile RGO gerçekleştirmişlerdir. RGO'da IEEE-30, 57, 191 baralı sistemlerini kullanmışlar ve sonuçları GA ve adaptif GA ile karşılaştırmışlardır.

Abbasy ve diğ. (2007), diferansiyel evrim algoritmasını çok amaçlı olarak kullanmışlardır. Çalışmalarında özellikle maliyet üstünde durmuşlardır ve bu doğrultuda generatörün ve kompanzatörün reaktif güç üretim maliyet fonksiyonlarını kullanmışlardır.

Chettih ve diğ. (2007), parçacık sürü optimizasyon yöntemini gerçek bir güç sistemi olan Batı Cezayir sistemine uygulamışlardır. Sonuçları optimizasyon öncesi ve sonrası olarak kıyaslamışlar.

Xiangzheng (2007), bağışıklık algoritması ile IEEE-6 baralı sistemini çözmüş ve sonuçlarını GA sonuçlarıyla karşılaştırmıştır.

Bakare ve diğ. (2007), diferansiyel gelişim yaklaşımı ile Nijerya'daki 31 baralı sistem üzerinde çalışmalarını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmaları sırasında power world similatöründe bulunan Newton Raphson güç akışı algoritmasından faydalanmışlardır.

Lu ve Ma (2008), doğrudan nöro dinamik programlama yöntemini kullanmışlardır. Çalışmalarında IEEE-6 baralı test sisteminde optimizasyonu gerçekleştirmişler ve sonuçları GA ile karşılaştırmışlardır.

Zhang ve diğ. (2008), sistemi aktif güç kayıpları ve gerilim profili açısından incelemişlerdir. Çalışmalarında uygulama odaklı arama algoritmasını kullanmışlardır.

Lirui ve diğ. (2008), çift nüfuslu karınca kolonisi algoritmasını kullanarak RGO'yu gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında karınca kolonisi algoritmasının yerel mimimum noktasında kalabildiğini, bu yüzden çift koloni ile daha iyi sonuçlara ulaşılabileceğini savunmuşlardır. Bu yöntemin tek kolonili algoritmadan üstün olduğunu göstermek için RGO problemini kullanmışlardır.

Zhang ve diğ. (2008), kendinden uyarımalı diferansiyel evrim algoritmasını kullanarak 30 baralı sistemin aktif güç kayıplarını minimize etmişlerdir.

Lin ve diğ. (2008), geliştirilmiş tabu arama algoritması ile gerilim ve aktif güç kaybının kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Algoritma ilk olarak aktif güç kaybına göre optimizasyon işlemini gerçekleştirir ve en iyi on çözümü kaydeder. Daha sonra maksimum gerilim marjını veren en iyi on sonuç kaydedilmiştir. Bu iki sonuç bulanık küme teorisi kullanılarak birleştirilir ve tek bir amaç fonksiyonu elde edilir ve bu fonksiyonda optimal sonuç aranır.

Wei ve diğ. (2008), bakteriler üzerinde yapılan incelemelerle ortaya çıkan bakteri kemotaksisi yöntemini kullanarak IEEE-30,57 ve 118 baralı sistemleri için optimum sonuç aramışlardır.

Wang ve diğ. (2008), bitki büyümesinden esinlenilerek oluşturulan bitki büyüme simülasyon algoritmasına RGO'da yer vermişlerdir.

Jikeng ve diğ. (2008), adaptif bağışıklık algoritması ile RGO yapmışlardır. Yöntemi IEEE 14 ve 118 baralı sistemlere uygulamışlar ve sonuçları GA ile bağışıklık algoritmasıyla karşılaştırmışlardır.

Varadarajan ve Swarup (2008), RGO'da diferansiyel evrim algoritmasını kullanmışlardır. IEEE 14, 30,57 ve 118 baralı sistemlerin aktif güç kayıplarını minimize etmişlerdir.

Kumar ve Reguna (2009), gerçek genetik algoritma kodlarını kullanmışlardır ve evrimsel programlama ile sonuçlarını karşılaştırmışlardır.

Li ve diğ. (2009), dinamik sistemlerde paralel parçacık sürü optimizasyonu(PPSO) ile RGO uygulamışlardır. Amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarını, transformatör ve kompanzator maliyet fonksiyonlarıyla birleştirmişlerdir. Çalışmalarını IEEE'nin beş ayrı sistemine uygulamışlardır ve sonuçları PSO ile karşılaştırmışlardır.

Subbaraj ve Rajnarayanan (2009), RGO'da kendinden uyarmalı gerçek GA kodlarını kullanmışlardır. Gerçek GA kodlarıyla yapılan optimizasyonun GA ile yapılandan daha

iyi sonuç verdiğini savunan yazarlar ayrıca özel çaprazlama operatörlerine yer vermişlerdir.

Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile birçok alanda farklı çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalardan bu tez çalışmasında en çok faydalanılanlar algoritmanın açıklanmasına yönelik ve diğer sezgisel yöntemlerle karşılaştırılmasına yönelik olan çalışmalardır. Bu çalışmalardan bazıları açıklanmıştır.

Karaboğa ve Baştürk (2007), Benchmark fonksiyonu üzerinde YAK algoritmasını kullanmışlardır. Sonuçları diğer sezgisel yöntemlerden olan GA ve PSO karşılaştırmıştır.

Karaboğa ve Baştürk (2007), Benchmark fonksiyonlarından; Rosenbrock, Schaffer, Sphere, Griewank ve Rastrigin fonksiyonlarını kullanarak GA, PSO, evrimsel algoritma (EA) ve diferansiyel evrim (DE) algoritma sonuçlarını YAK algoritma sonuçlarıyla kıyaslamışlardır.

Quan ve Shi (2008), geliştirilmiş YAK algoritması olarak adlandırdıkları çalışmalarında on farklı fonksiyon üzerinde algoritmayı test etmişlerdir. Çalışmada YAK algoritmasına yeni bir arama operatörü eklemişlerdir.

Karaboğa ve Akay (2009), YAK algoritmasını, GA, evrimsel teori, diferansiyel evrim algoritması ve PSO ile Benchmark fonksiyonlarında karşılaştırmıştır. Testlerinde algoritmaların ortalama mutlak hatalarını karşılaştırmışlardır.

Tsai ve diğer. (2009), YAK algoritmasından esinlenerek geliştirilmiş yapay arı kolonisi adı altında çalışma gerçekleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada arıların kaynak arama alanını daraltmışlardır. Bu algoritma ile problemler çözerek sonuçları karşılaştırmışlardır.

Karaboğa ve Akay (2009), YAK performansını arı kolonisi, geliştirilmiş arı kolonisi ve harmony arama algoritmaları ile benchmark problemi üzerinde karşılaştırmışlardır.

Bao ve Zeng (2009), YAK algoritmasında gözcü arıların yiyecek kaynağını seçmesinde birkaç seçim stratejisini denemişlerdir. Bu stratejilerde GA da kullanılan seçim yöntemlerinden faydalanmıştır ve YAK algoritmasına modifiye edilmiştir.

Jyothi ve diğ. (2010), problemlerinin çözümünde sezgisel yöntemlerden PSO ve YAK algoritmalarını kullanmışlardır.

Bu bölümde reaktif gücün üretimi, tüketimi ve reaktif güç kaynakları gibi temel bilgiler verilmiştir. Ayrıca reaktif güç kompanzasyonu, gerilim kontrol yöntemleri, gerilim kararlılığı, RGO amaç fonksiyonları, RGO'nun kontrol değişkenleri ve RGO'nun kısıtları hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. REAKTİF GÜÇ İLE İLGİLİ TEMEL BİLGİLER

2.1.1. Reaktif Güç Tanımı

Reaktif güç, alternatif akım şebekesinde gerilim ile akımın reaktif bileşeninin çarpımına eşittir;

$$Q = VI\sin\varphi \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1' de Q reaktif gücü ifade etmektedir ve birimi Var (volt-amper reaktiftir). V; gerilim etkin fazörünün genliği (volt), I; akım etkin fazörünün genliğidir (amper). Reaktif güç işareti φ açısının (gerilim ve akım fazörleri arasındaki açı) yönünün tanımlanmasına bağlıdır. Endüktif karakterdeki bir yük için akım fazörü gerilim fazörüne göre geri fazdadır. Kapasitif karakterdeki bir yük için akım fazörü gerilim fazörüne göre ise ileri fazdadır. Bir endüktif yükün kaynaktan çektiği reaktif gücün işareti pozitif, kapasitif yükün çektiği reaktif gücün işareti ise negatiftir.

2.1.2. Reaktif Güç Üretimi ve Tüketimi

Senkron generatörler uyarıya bağlı olarak reaktif güç üretir veya tüketirler. Aşırı uyarıldıklarında, reaktif güç verirler aksi halde reaktif güç çekerler. Yine de reaktif gücü sürekli olarak üretmek ya da çekmek özellikleri, uyarı akımıyla, endüvi akımıyla ve uç durumlar için ısı limitlerle sınırlıdır. Senkron generatörler normalde otomatik

gerilim regülatörleri ile donatılmıştır ve endüvi gerilimini kontrol edecek şekilde sürekli olarak uyartım akımını ayarlar.

Havai hatlar, yük akımlarına bağlı olarak reaktif güç verir ya da çekerler. Hatlar, doğal yüklerinin altındaki yüklerde net reaktif güç verirler ve doğal yüklerinin üstündeki yüklerde ise reaktif güç çekerler.

Yer altı kabloları, sahip oldukları yüksek kapasite değerlerine bağlı olarak, doğal olarak yüksek değerli yüklerdir. Bunlar daima doğal yüklerinin altında yüklenirler ve bundan dolayı bütün çalışma koşulları altında reaktif güç üretirler.

Transformatörler, yükleri ne olursa olsun, daima reaktif güç çekerler, yüksüz durumda şönt manyetik reaktans etkisi baskındır ve tam yükte seri kaçak endüktans etkisi baskındır.

Yükler, normalde reaktif güç çeken pek çok cihazdan oluşur. Karmaşık yükler bir yük barası olup, reaktif güç çekecek şekildedirler. Düşük endüktif güç faktörlerinde, yükler iletim şebekesinde aşırı gerilim düşümüne neden olurlar. Endüstriyel tüketiciler normal olarak hem aktif güç hem de reaktif güç açısından değişen özelliklere sahiptirler.

Kompanzasyon cihazları, istenen şekilde reaktif güç dengesini kontrol etmek için, reaktif güç verir ya da çeker. (Demirören ve Zeynelgil, 2004)

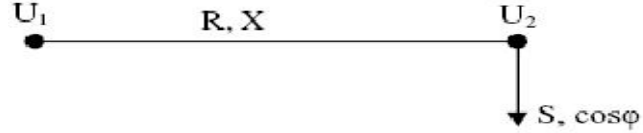
2.2. REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

2.2.1. Kompanzasyonun Faydaları

Kapasitif reaktif güç, endüktif reaktif güce göre 180° öndedir. Yani vektörel olarak her iki reaktif güç aynı doğrultuda fakat ters yöndedir. Böylece birarada kullanıldığında kapasitif güç, endüktif gücü azaltarak kompanzasyon etkisi yapar. Kompanzasyonun üretici ve müşteri yönünden faydaları vardır. Ancak burada güç sistemine yani üreticiye faydalarından bahsedilecektir.

2.2.1.1. Sistemin Kapasitesinin Artması

Reaktif gücün kompanse edilmesi ile dağıtım hatlarından akan reaktif akım kompanzator tarafından karşılanacağından görünür akım azalır. Böylece sistemdeki aşırı yüklenmelerin önüne geçilebileceği gibi istek halinde ek kapasite de sağlanmış olur. Bu durumu matematiksel olarak ifade etmek için sembolik bir dağıtım hattı ile bu hattın beslenen bir tüketiciyi ele alalım (Şekil 2.1).



Şekil 2.1: Bir dağıtım hattından beslenen tüketici

Bu şekilde U_1 ve U_2 sırasıyla hattın başındaki ve sonundaki faz-nötr gerilimler; R ve X , hattın omik ve endüktif dirençleri; S , tüketicinin çektiği görünür güç ve $\cos\phi$ ise tüketicinin güç faktörüdür. Burada ilk koşul olarak P aktif gücünün sabit kalması istensin. Bu durumda kompanzasyondan önce çekilen görünür güç;

$$S_1 = P/\cos\phi_1 \quad (2.2)$$

ve kompanzasyondan sonra çekilen görünür güç;

$$S_2 = P/\cos\phi_2 \quad (2.3)$$

olur. Buna göre iki güç arasındaki fark aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\Delta S = S_1 - S_2 \quad (2.4)$$

Bu değeri kompanzasyon öncesi değere oranlarsak

$$\% \Delta S = (\Delta S / S_1) \times 100 = 100 (1 - \cos\phi_1 / \cos\phi_2) \quad (2.5)$$

elde edilir. Şu halde kompanzasyon sayesinde tesisin yükü $\% \Delta S$ oranında azalır veya gerektiği takdirde tesis aşırı yüklenmeden $\% \Delta S$ oranında kapasite arttırılabilir. İkinci koşul olarak S görünür gücünün sabit kalması istensin. Bu durumda yine benzer hesapları yaparsak, kompanzasyon sayesinde aktif güç oranında artar.

$$\% \Delta P = 100 (\cos \varphi_2 / \cos \varphi_1 - 1) \quad (2.6)$$

2.2.1.2. Isı Kayıplarının Azalması

Elektrik tesislerinde I^2R enerji kayıpları; puant ve minimum yük saatlerine, iletken kesitlerine ve uzunluklarına bağlı olarak değişmekle birlikte genellikle toplam enerjinin %5'i kadar bir değer tutmaktadır. Kayıp ifadesinden de görüldüğü gibi kayıplar akımın karesiyle orantılıdır. Akım da güç faktörü ile değiştiğinden ötürü ısı kayıpları güç faktörünün karesinin tersi ile orantılıdır. Kompanzasyon ile hattan çekilen toplam akım azaldığı için buna bağlı olarak ısı kayıpları da azalır. Bu ifade aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$kW \text{ kayıplar} \sim (\text{orijinal güç faktörü} / \text{düzeltmiş güç faktörü})^2$$

2.2.1.3. Gerilim Düşümünün Azalması

Enerji dağıtım sistemlerinde gerilim kontrolü öncelikle generatörlerin ve trafoların kademelerini ayarlayarak yapılmalıdır. Bu ayarlar yetersiz kalırsa güç faktörünün iyileştirilmesi yoluna gidilmelidir. Bu amaçla, kompanzasyonda kullanılan kondansatörlerin gerilimi yükseltici etkisinden faydalanılabilir. (Engin, 2008)

2.3. RGO' DA KULLANILAN FACTS CİHAZLARI

Günümüzün değişen enerji talebine bağlı olarak enerji iletim sistemlerinde kontrol edilebilirlik ve sistem kapasitesinin artırılması konuları son derece önem kazanmıştır. İletim hatlarının kuruluş amacı yük ile üretim merkezleri arasındaki bağlantıyı sağlayarak yükteki hava durumuna, saate, bölgesel farklılığa vb. gibi etkenlere bağlı değişimlerin en ekonomik şekilde karşılanmasını sağlamaktır. Enerji iletim hatlarından büyük güç transfer edilmesiyle yeni santral gereksinimi minimize edilerek mevcut santraller verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Son yıllarda iletim hatlarının yüklenmesi büyük ölçüde artmıştır ve bu artış hızla devam etmektedir. Yeni hat yapımı veya mevcut hatların yenilenmesi günümüzde en büyük ekonomik senaryo olarak karşımıza çıkmaktadır. Şu an kullandığımız iletim sistemlerinde fiziksel sınırlamalar nedeniyle istenilen miktarda güç akışı sağlanamamaktadır. İletim sistemleri mekanik veya elektromekanik kontrol elemanları ile kontrol edilmektedir.

AC sistemlerde güç akışı, faz açısı, hat empedansı ve hat geriliminin bir fonksiyonudur. Bu değişkenlerin kontrolündeki herhangi bir aksama istenmeyen reaktif güç akışına, yüksek güç kayıplarına ve yüksek veya düşük gerilimlere yol açmaktadır. Paralel ve seri kompanzasyon yapılarak hat empedansının kontrolü ile gerilim büyüklüğü, faz açısı ve hat akımının kontrolü yapılarak güç faktörünün iyileştirilmesi dolayısıyla güç transferinin artırılması mümkündür. Güç sistemlerinde gerilim kontrolü yük bakımından büyük öneme sahiptir. Sistemdeki gerilim düşümü veya gerilim yükselmesi beslenen yüklerde arızalara ve performans düşüşüne neden olmaktadır.

Gelişen yarı iletken teknolojisi ile büyük güçte elektronik elemanlar geliştirilmektedir. Bu elemanlar kullanılarak enerji sistemlerinin kontrolü daha hızlı, daha verimli ve güvenilir bir şekilde gerçekleşmektedir. Yarı iletken teknolojisi ile gelişen bu sistemler “Esnek AC İletim Sistemleri (FACTS)” olarak adlandırılmaktadır.

FACTS kontrolörlerinin enerji iletim konfigürasyonuna ve işletimine verdiği cevabın belirlenmesi önemlidir. Bu nedenle reaktif güç transferinin miktarı, sistem gerilim profili, enerji sisteminin işletmedeki kullanılan elemanların konfigürasyonu FACTS kontrolörlerinin dizaynında ve seçiminde önemli kriterlerdir. Planlama çalışmasında temel kriterler olarak en uygun performans ve maliyet alınabilir. FACTS aygıtlarının iletim sistemlerinin sınır koşullarının belirlenmesinde ve iletim sisteminde meydana gelen problemlerin çözümünde önemli rol oynayacağı düşünülmektedir. FACTS cihazları AC sistemlerinde reaktif güç kompanzasyonu, faz açısı kontrolü, iletim hattının empedans kontrolü ile sistemdeki akım ve gerilim istenilen değerlerde kontrolü gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bunlar Tristör Kontrollü Reaktörler ve invertör temelli olmak üzere iki ana grupta incelenir.

Tristör Kontrollü Reaktörler; Statik Var Kompanzatörler (SVC) ve Tristör Komtrollü Seri Kapasitörler (TCSC) olmak üzere iki gruptur. SVC için kullanılan kapasitörün bağlantı şekli değiştirilerek farklı devrelerde elde edilebilir. Fakat çalışma prensibi veya kullanım amacı değişmez.

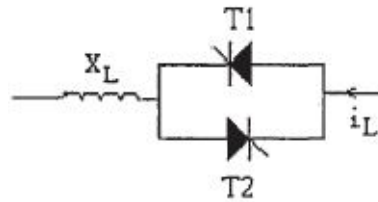
Yarı iletken teknolojisinin gelişmesi farklı FACTS cihazlarının geliştirilmesine imkan sağlamıştır. Bunlar invertör temelli FACTS cihazları olarak adlandırılır. Bu cihazlar

dört temel yapıda incelenmektedir. Bunlar; Statik Kompanzatör (Statcom), Statik Senkron Seri Kapasitör (SSSC), Birleşik Güç Akış Kontrolörü (UPFC) ve Faz Kaydırıcılarıdır.

2.3.1. Tristör Kontrollü Reaktör (TCR)

Tristör kontrollü reaktör (TCR); sabit reaktanslı endüktans (L) ve buna seri bağlı birbirine zıt yönlü, paralel iki tristörden oluşmaktadır. Tristörler simetrik olarak tetiklenerek TCR reaktansı değiştirilir. TCR akımı gerilimden yaklaşık olarak 90^0 geridedir. Çekilen akımın aktif bileşeni çok küçük olup devre kayıpları TCR reaktif gücünün %0.5-%2'si oranında değişmektedir.

TCR tristörlerinin tetikleme açısı reaktör geriliminin ve akımının pozitif başlangıç noktalarından belirlenir. Tristörler simetrik olarak tetiklenmektedir. Bu durumda maksimum tetikleme açısı 180^0 olur. Tetikleme açısı 90^0 olduğunda her iki tristör kullanılan endüktanstan dolayı sürekli iletimde kalarak TCR'yi sürekli devrede tutmaktadır. Bu değerden küçük tetikleme açılarında büyük DC bileşene sahip simetrik olmayan akım akmaktadır. Bu nedenle TCR tristörleri 90^0 - 180^0 arasında tetiklenir. Tetikleme açısının artması ile akımın temel bileşen değeri azalır. Bu endüktans değerinin arttırılmasına eşdeğerdir. Çekilen akımın azalması reaktif gücün azalmasına neden olur. Dolayısıyla TCR tetikleme açısının kontrolü ile değişken empedans elde edilmektedir. Bu da güç sistemlerinde seri veya paralel olarak reaktif güç kompanzasyonu ve sisteme reaktif gücün aktarılması ile hat sonu geriliminin ve hat üzerindeki gerilim düşümünün kontrolüne imkan sağlamaktadır. Şekil 2.2'de TCR'ye ait genel devre şeması verilmiştir.

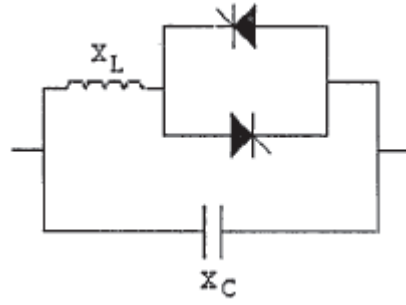


Şekil 2.2: TCR devre şeması

2.3.2. Statik Var Kompanzatör (SVC)

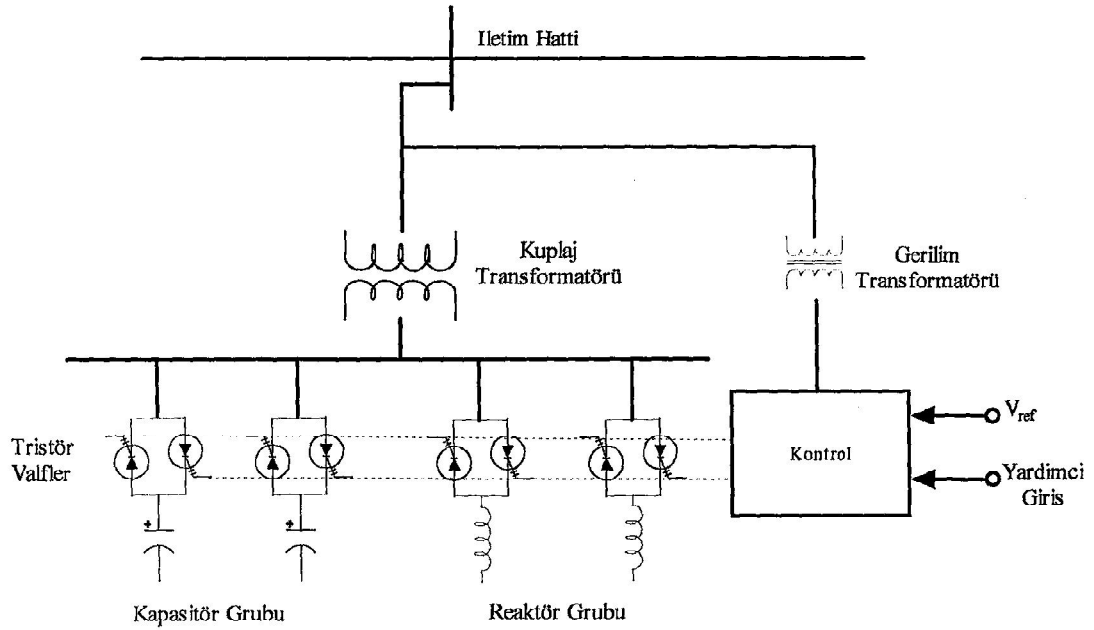
Statik var kompanzatör (SVC) güç sistemine paralel bağlanarak çekilen veya aktarılan reaktif gücün kontrolü ile bağlı olduğu sistem geriliminin belirli limitlerde kontrolüne imkan sağlamaktadır. Statik terimi hareketli veya dönen bir parçadan oluşmadığından dolayı kullanılmaktadır. SVC, TCR ve buna paralel bağlı kondansatörden oluşur. Bazı durumlarda SVC tristör anahtarlamalı kapasitör ve buna paralel reaktör şeklinde tasarlanarak gerilim regülasyonu için kullanılmaktadır.(Engin, 2008)

Güç elektroniğindeki teknolojik gelişmeler ve geniş kontrol metodları hızlı SVC uygulamalarına imkan sağlamıştır. Bu kompanzatör hızlı cevap verme, güvenli ve geniş çalışma aralığı için tasarlanmıştır. Uygulama alanlarının büyük bir çoğunluğu reaktif güç üretimi ve kontrolü amaçlıdır. SVC'nin esas fonksiyonu yerleştirildiği bölgede reaktif güç kompanzasyonu ile seçilen bara geriliminin kontrolüdür. Gerilimin belirli seviyede tutulması yük açısından oldukça önemlidir. Düşük gerilim yük performansında düşüşe neden olmaktadır. Aşırı gerilim ise manyetik saturasyonlara ve harmonik bileşenlerinin artışına neden olmaktadır. İki makinadan oluşan bir güç sisteminin sürekli durum için maksimum güç transfer limitinin kompanzasyon ile iki katına çıkarılması mümkündür. Sürekli durum kararlılığının artışı sistemin geçici durum kararlılığını da olumlu yönde etkilemektedir. Gerilim regülasyonu ve geçici durum kararlılığının artırılmasının yanı sıra SVC ile yapılan hızlı kontrol güç osilasyonlarının azalmasına neden olmaktadır. SVC genel olarak iki temel devre yapısına sahiptir. Bunlardan ilki TCR ve buna paralel kapasitör diğeri TSC (tristör anahtarlamalı kapasitör) ise TCR ve ona seri bağlı kapasitörden oluşmaktadır. Birinci olarak verilen TCR ve paralel kapasitörden oluşan SVC yapısı uygulamalarda geniş olarak kullanılmaktadır. İdeal bir SVC aktif ve reaktif güç kaybı olmayan, gerilimi referans gerilimine eşit değişmeyen ve çok hızlı cevap verebilen kontrolör olarak tanımlanmaktadır. Şekil 2.3'de SVC devre şeması verilmiştir.



Şekil 2.3: TCR devre şeması

SVC eşdeğer empedansı TCR tristörlerinin tetikleme açısı değiştirilerek endüktif veya kapasitif olarak belirlenen sınırlar arasında değiştirilebilir. Endüktif değer için sistemden reaktif güç çekilmekte, kapasitif çalışma durumunda ise sisteme reaktif güç enjekte edilmektedir. Şekil 2.4' de SVC'nin TCR ve TSC ile çalışması şeması verilmiştir. (Eminoğlu, 2003)

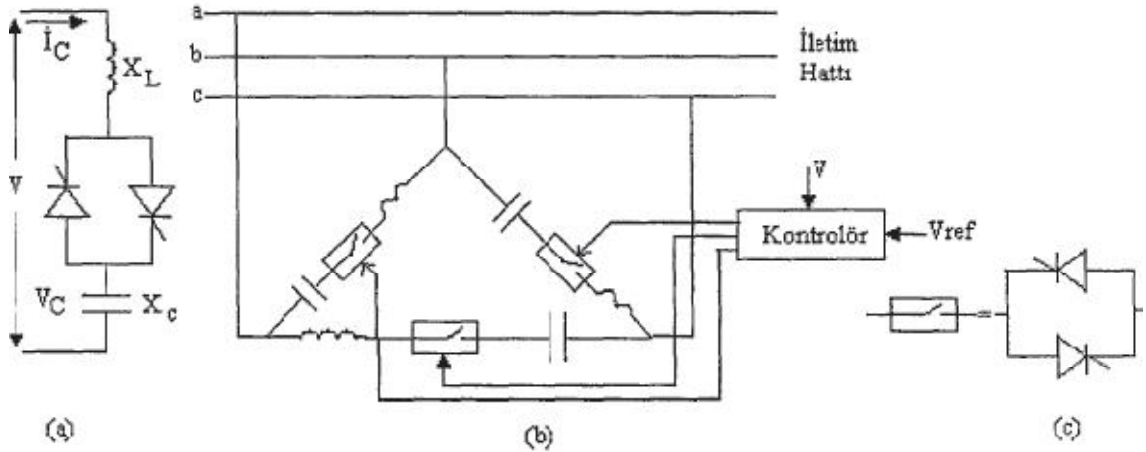


Şekil 2.4: Tristör anahtarlamalı kapasitör ve tristör kontrollü reaktör ile çalışan SVC

2.3.3. Tristör Anahtarlamalı Kapasitör (TSC)

Tristör anahtarlamalı kapasitör, SVC çeşitlerinden biri olup güç sistemlerinde gerilim ve reaktif güç kontrolü için kullanılmaktadır. Yapı itibariyle TCR'ye seri bağlı kapasitörden oluşur. Endüktans akımı, güç sistemi ile TSC arasında oluşacak rezonans etkisinin azaltılması için yapılmaktadır. Üç fazlı sistemlerde üçgen bağlanır. Tristör

tetikleme açılarının kontrolü anahtarlama geçişleri minimum olacak şekilde yapılır. Tristör gerilimlerinin minimum veya sıfır değerlerinde tetikleme yapılır. TSC sürekli ve hızlı reaktif güç ve gerilim kontrolüne imkan sağlamaktadır. Geçici aşırı gerilimleri kontrol edilmesi, gerilim düşümünün kontrol edilmesi, geçici kararlılığın artırılması ve sistem osilasyonlarının söndürülmesi amaçları ile kullanılır. Şekil 2.5’de TSC bir faz ve üç faz devreleri verilmiştir. (Eminoğlu, 2003)

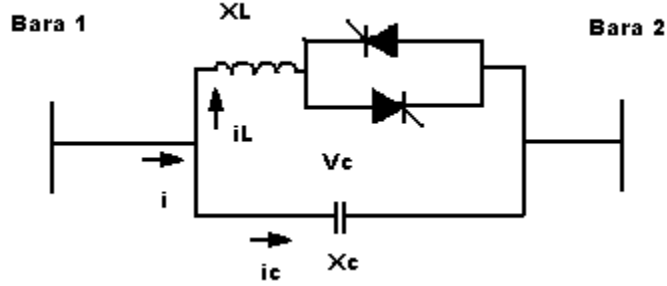


Şekil 2. 5:TSC tek faz devre şeması (a), üç fazlı devre şeması (b), anahtarlama devresi(c)

2.3.4. Tristör Kontrollü Seri Kapasitör (TCSC)

Seri kompanzasyon sistem kararlılığı ve güç transfer kapasitesini arttırmak amacıyla gerçekleştirilen bir kompanzasyon çeşitidir. İletim hattından aktarılan güç hat empedansı ile doğru orantılı olduğundan hat empedansının kompanze edilmesi sonucunda transfer limitleri artmaktadır. Örnek olarak diğer parametrelerin sabit olması durumunda %50’lik seri kompanzasyon ile sürekli durum güç transfer kapasitesi yaklaşık olarak iki katına çıkar. Ayrıca %75’lik seri kompanzasyon ile transfer kapasitesinin dört katına çıkarılması mümkündür. Seri kompanzasyon ile güç kapasitesinin büyük değere çıkarılmasına rağmen pratikte maksimum %70’lik kompanzasyon yapılmaktadır. Bunun nedeni ise gerilim ve faz açısındaki küçük değişimler aktarılan güçte kontrol edilemeyecek büyüklükte değişimlere neden olmasıdır. TCSC yapı olarak SVC ile aynı olup güç sistemine seri olarak bağlanmaktadır. Diğer bir fark ise TCSC sisteme transformatör kullanılmadan seri olarak bağlanmasıdır. Güç sistemlerinde TCSC endüktif olarak yalnızca geçici durum analizinde güç osilasyonlarının söndürülmesi için çalışır. Bu nedenle TCSC’nin

endüktif çalışma aralığı kapasitif çalışma aralığından çok küçük olarak seçilir. TCSC eşdeğer empedansı, TCR empedansı ve buna paralel sabit kapasitör reaktansının eşdeğerinden elde edilir. Şekil 2.6'da tek faz için TCSC devre şeması verilmiştir. (Eminoğlu, 2003)



Şekil 2. 6: TCSC devre şeması

2.3.5. İntertör Temelli Paralel ve Seri Kompanzatorler

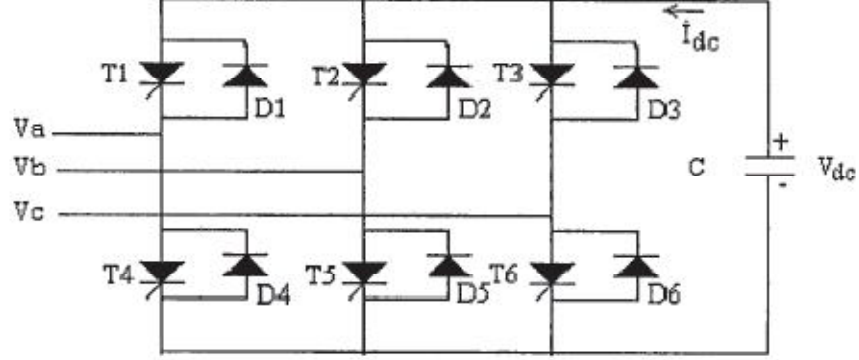
Statik Kompanzator (Statcom) ve Statik Senkron Seri Kapasitör (SSSC) invertör temelli paralel ve seri FACTS kontrolör elemanlarıdır. Bunlar SVC ve TCSC'e nazaran daha iyi kontrol karakteristiğine sahip olup, statcom empedansı daha düşük ve SSSC daha geniş bir aralıkta hat empedansının değişimine imkan sağlamaktadır.

Statcom güç sistemlerine paralel olarak bağlanmakta ve çıkış geriliminin bağlı olduğu sistem geriliminden büyük veya küçük olma durumuna göre hatta reaktif güç enjekte etmekte veya hattan reaktif güç çekmektedir. Böylece bağlı bulunduğu sistem geriliminin belirli sınırlarda kontrolüne imkan sağlamaktadır. Statcom bir transformatör ile iletim hattına seri olarak bağlanması durumunda SSSC devre şeması elde edilir. SSSC genel olarak enerji iletim sisteminde aktif ve reaktif güç akışının kontrolü amacıyla kullanılır. Sisteme eklenen seri gerilim bileşeni ve akan akım arasındaki faz farkına göre endüktif ve kapasitif olarak çalışmakta ve bağlı olduğu hat empedansının kompanzasyonuna imkan sağlamaktadır.

2.3.5.1. Üç Fazlı İntertörler

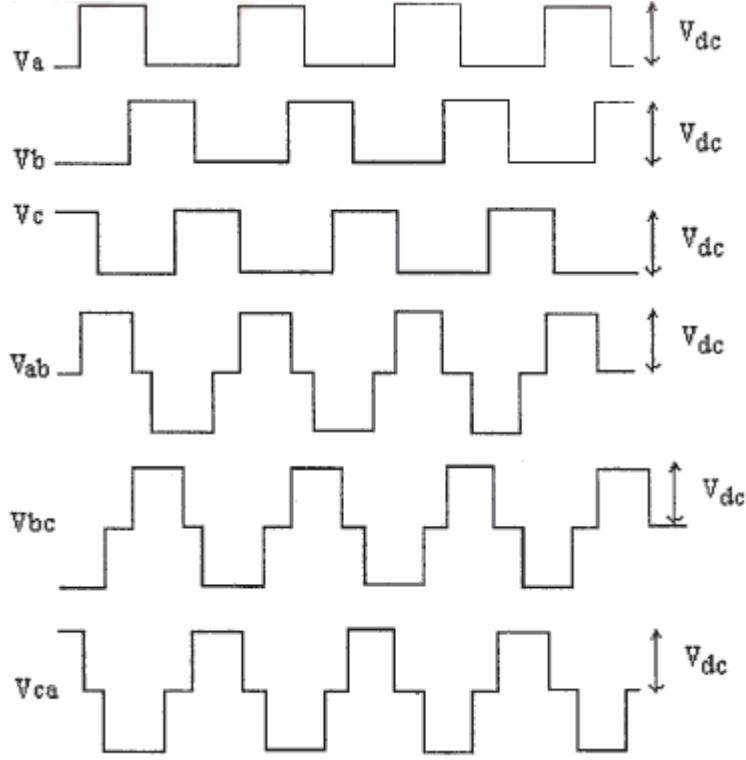
Statcom değişik anahtarlama invertörler kullanılarak farklı uygulamalar için kullanılan FACTS cihazıdır. Bunlardan üç fazlı invertör şeması Şekil 2.7'de verilmiştir. Yüksek güçlü invertörler için kesimde olan yarı iletken anahtar üzerindeki gerilim düşümünü

azaltmak için birbiriyle senkron olarak çalışan birden fazla yarı iletken kullanılmaktadır. İnvörtör, DC gerilim kaynağı veya bir kapasitör ile beslenerek çıkışta aralarında 120° lik faz farkı olan üç fazlı istenen frekansta AC gerilim elde edilmektedir.



Şekil 2. 7: Üç fazlı invörtör şeması

Çıkış gerilimindeki harmonikleri azaltmak için sistemde kullanılan invörtör sayısı artırılır. Böylece aynı faza ait çıkış gerilimleri arasındaki faz farkından dolayı elde edilen toplam gerilim sinüs dalga formuna yakın sinyal elde edilir. İnvörtör çıkışı faz gerilimlerinin dalga formları Şekil 2.8'de verilmiştir. Birden fazla invörtörün kullanıldığı güç sistemlerinde invörtör çıkışındaki transformatörlerin primer sargıları yıldız ve birbirine seri olarak bağlanmakta sekonder sargılar ise üçgen ve yıldız bağlanarak aralarında 30° derecelik faz farkı oluşturulmaktadır.



Şekil 2. 8: Üç fazlı invertör çıkış gerilimlerinin değişimi

2.3.5.2. Darbe Genişlik Modülasyonu (PWM) Anahtarlama Yöntemi

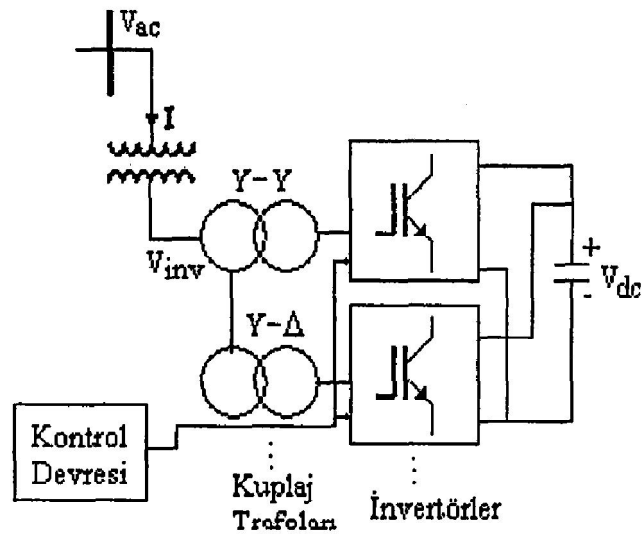
Darbe genişlik modülasyonu (PWM) harmonik analizi ve harmoniklerin bastırılması için kullanılan en etkin yöntemdir. Sistemde kullanılan GTO tristörler her yarım periyotta birden fazla iletme ve kesime sokularak çıkışta genişlikleri birbirinden farklı sinyaller elde edilir. Bu iletim ve kesim durumları belirli bir sıraya göre yapılmaktadır. Böylece çıkışta istenilen temel bileşenli ve düşük harmonik bileşenli sinyal elde edilir. Kullanılan yarı iletkenlerin anahtarlama frekanslarının yüksek olması gerekmektedir. Bu metodun en önemli dezavantajlarından birisi kullanılan GTO transistörlerinin anahtarlama kayıplarının yüksek olmasıdır. Diğer yarı iletken güç elektroniği elemanlarından IGBT, GTO'ya nazaran daha düşük anahtarlama kayıplarına sahip olduğundan düşük frekanslı PWM uygulamalarında daha elverişlidir.

2.3.5.3. Statik Kompanzatör (Statcom)

Statcom invertör temelli paralel FACTS kontrolör elemanıdır. Güç sistemlerine paralel bağlanarak reaktif güç kompanzasyonu ve gerilim regülasyonu için kullanılır. Statcom şebeke ile senkron olarak çalışan gerilim ve reaktif güç kaynağı olarak tanımlanabilir. Böylece sisteme bir zorlamalı fonksiyon yaklaşımı ile iletim hattı kompanzasyonunu ve

güç akış kontrolü kolaylaştırmaktadır. Çıkış geriliminin frekansı sistemin temel frekansına eşit olması gerekmektedir. Kompanzatorün çıkış empedansı teorik olarak temel frekans dışındaki tüm frekanslarda sifira eşittir. Pratikte bağlantı trafosunun kaçak akılarından dolayı küçük değerli endüktif reaktansa sahiptir. Çıkış gerilimi ile sistem gerilimi arasındaki faz farkına göre sistemden aktif güç çekmekte veya sisteme aktif güç aktarmaktadır. Çekilen aktif güç ile kondansatör şarj olmakta ve invertör çıkış gerilimi kontrol edilmektedir. Statcom sisteme reaktif güç aktarırken (kapasitif moda çalışırken) kondansatörün sistem için gerekli olan gerilim seviyesini sağlayabilmesi için şarj olması gerekir. Bu da statcom çıkış geriliminin sistem geriliminden geri fazda olacak şekilde kontrol edilmesi ile sağlanabilmektedir. Böylece sistemden çekilen aktif güç hem dahili kayıpları hemde gerekli olan DC gerilimi sağlamış olur. Statcomun paralel reaktif güç kompanzatorü olarak çalışması ve performans karakteristiğinin ideal, senkron, hareketli kompanzator ile benzer olması nedeniyle statcom olarak adlandırılmaktadır. Statcom geleneksel tristör kontrollü statik VAr kompanzator ile aynı karakteristiğe sahiptir. Invertör çıkış gerilimindeki harmonikleri azaltmak için üç fazlı sistemlerde birden fazla invertör grupları kullanılır. Invertör anahtarları için yüksek güç ve akım kapasitesine sahip GTO ve IGBT anahtarlar kullanılmaktadır.

Bağlı bulunduğu AC sistem gerilimi ile invertör çıkış geriliminin büyüklüğü Statcom reaktif gücünü tayin etmektedir. Genel olarak iki invertörden oluşan (12 darbeli) Statcom devre şeması Şekil 2.9'da verilmiştir.



Şekil 2. 9: İki invertörlü Statcom şeması

Reaktif güç Statcom çıkış geriliminin değiştirilmesi ile kontrol edilmektedir. Eğer Statcom çıkış gerilimi AC sistem gerilimden büyük ise akımın reaktif bileşeni Statcom'dan AC sisteme doğru akmakta ve AC sisteme reaktif güç aktarılmaktadır. Bu durumda akım gerilimden yaklaşık olarak 90^0 ilerde olup aktarılan güç kapasitiftir. Eğer Statcom çıkış gerilimi AC sistem geriliminden küçük güç çekilmektedir. Bu durumda akım gerilimden yaklaşık olarak 90^0 geride olup sistemden endüktif güç çekilmektedir. Statcom çıkış geriliminin AC sistem gerilimine eşit olması durumunda reaktif akım ve reaktif güç sıfır olmaktadır.

Kapasitör, invertör için gerekli DC gerilimi sağlamak amacıyla kullanılır. İnvörtör çıkış gerilimi ile AC sistem gerilimi arasındaki faz farkına bağlı olarak kapasitör şarj veya deşarj olmaktadır. Trasformatör rezistansının ihmal edilmesi durumunda AC sistemden Statcom'a akan aktif güç,

$$P = 3 \frac{V_{ac}V_{inv}}{X} \sin\alpha \quad (2.7)$$

olarak ifade edilir. Burada V_{ac} AC sistem geriliminin V_{inv} ise invertör çıkış geriliminin etkin değerleri, X trafoların eşdeğer reaktansı ve α gerilimler arası faz farkıdır. Bu durumda $\alpha > 0$ ise invertör çıkış gerilimi AC sistem geriliminden geri fazdadır. Çekilen aktif güç $p > 0$ olduğundan kapasitör şarj olur. Açının negatif olması durumunda çekilen aktif güç $p < 0$ olmakta ve kapasitör deşarj olur. Sürekli durumunda invertör çıkış gerilimi AC sistem geriliminden geri fazda tutularak sistemden çekilen aktif güç trafo ve invertör kayıpları karşılanmış olur.

2.3.5.4. Statik Senkron Seri Kapasitör (SSSC)

Statcom güç sisteminde gerilim kontrolü amacıyla kullanılmaktadır. Statcom transformatör ile iletim hattına seri olarak da bağlanmaktadır. Bu kompanzatör "Statik Senkron Seri Kapasitör" olarak adlandırılır. Statik Senkron Seri Kapasitör (SSSC) genel olarak güç sisteminde aktif ve reaktif güç kontrolü amacıyla kullanılmaktadır. Eğer yalnızca reaktif güç kompanzasyonu yapılıyorsa DC gerilim kaynağının değeri oldukça küçük seçilmektedir. Hatta eklenen gerilimin hem genliğinin hemde faz açısının kontrol edilmesi gerekir. SSSC'nin reaktif güç kompanzatörü olarak çalışması yalnızca gerilimin genlik ayarı ile gerçekleştirilir. Çünkü gerilim hat akımına dik olarak eklenmektedir. Bu durumda gerilim hat akımından 90^0 ileri veya geri fazdadır.

SSSC'nin bu özelliği kontrol edilebilen seri kapasitör veya reaktör olarak tanımlanabilir. Bunlardan tek farkı eklenen gerilimin hat akımından bağımsız olması ve bağımsız olarak kontrol edilebilmesidir. SSSC'nin kapasitif olarak çalıştırılması durumunda endüktif hat empedans gerilimi buna bağlı olarak hat akımı ve aktarılan güç artmaktadır. Eğer AC sistem frekansında hat akımından 90^0 geride ve büyüklüğü akım büyüklüğünün bir oranı olarak kontrol edilen gerilim sisteme seri olarak eklenirse SSSC kapasitif etki gösterir. Bu durumda çıkış gerilimi

$$V_c = -jkXI \quad (2.8)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada I hat akımı, X hat reaktansı, k ise seri kompanzasyon derecesini gösteren katsayıdır. Bu durumda $k = X/X_C$ olarak yazılabilir. Seri kompanzasyon değışen hat akımında kompanzasyon gerilimini sabit değerde tutabilmekte veya bu gerilimin genliğini hat akımından bağımsız olarak kontrol edebilmektedir. Kapasitif durumda çıkış gerilimi akımdan 90^0 geri fazdadır. Akımdan 90^0 ilerde olması için gerilim polaritesi kontrol sistemi ile değıştirilebilmektedir. Bu özellikten yararlanarak sisteme enjekte edilen gerilimin genel ifadesi aşığıdaki şekilde yazılabilir.

$$V_q = \pm jV_q(\zeta) \frac{1}{i} \quad (2.9)$$

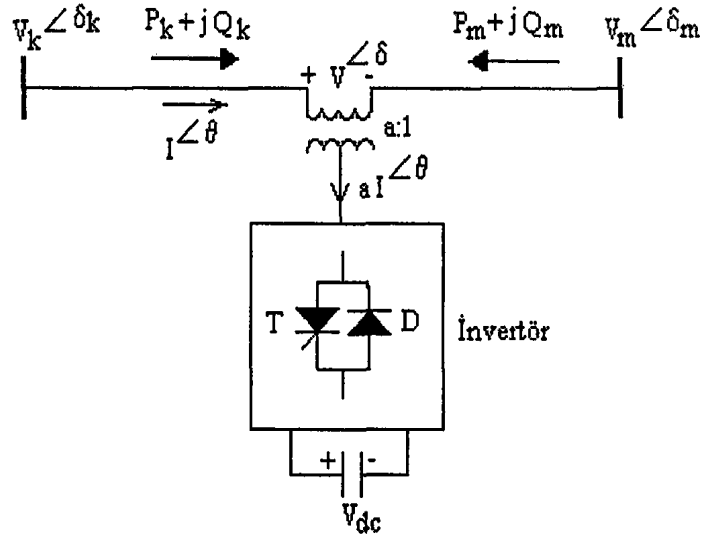
Burada $V_q(\zeta)$ eklenen gerilimin genliğı olup ($0 \leq V_q(\zeta) \leq V_{qmax}$) aralığında değışmektedir. ζ , kontrol için seçilen bir parametre, I kompanzasyonun yapılmadığı durumdaki hat akımı, i ise kompanzasyon durumunda hattan akan akımdır.

SSSC'nin endüktif olarak çalışması durumunda endüktif hat empedansı gerilimi azalmakta ($V=V_{xmin}$) ve sisteme hat empedansının artırılması şeklinde etki etmektedir. Kapasitif olarak çalıştırılması durumunda hat empedansı gerilimi artmakta sistem empedansın kompanse edilmesi şeklinde etki göstermektedir. Verilen iki makinalı SSSC ile kompanse edilen sistemden aktarılan aktif gücün enjekte edilen V_q gerilimi ve faz açısına göre değışiminin yazılması mümkündür.

$$P = \frac{V^2}{X} \sin\delta + \frac{V}{X} V_q \cos \frac{\delta}{2} \quad (2.10)$$

Bu durumda aktif güç pozitif V_q değerlerinde (kapasitif çalışma durumunda) kompanzasyonsuz duruma nazaran oldukça büyük bir oranda artacaktır. Endüktif

çalışma durumunda ise aktarılan güç aynı oranda azalmaktadır. Şekil 2.10'da SSSC'nin iki baralı güç sistemine bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 2. 10: SSSC'nin güç sistemine bağlantı şeması

SSSC ile güç akışı kontrolü, gerilim ve faz kararlılığının artırılması mümkündür. İletim hatlarında endüktif hat empedansı gerilim düşümüne ve güç faktörünün azalmasına neden olmaktadır. Bu düşük hat sonu gerilimlerine, hattın aktarılan gücün azalmasına ve ayrıca birden fazla hatların bağlı olduğu sistemlerdeki hatların dengesiz yüklenmesine neden olmaktadır. SSSC ile seri kompanzasyon yapılarak bu problemlerin ortadan kaldırılması mümkündür. Kararlılık açısından SSSC elektromekanik osilasyonların bastırılmasında kullanılmaktadır. SSSC ile hat akımının doğrudan kontrolü mümkündür. Eklenen gerilim ve hat akımına bağlı olarak üretilen reaktif güç değişmektedir. Sistem yükü arttığında aktarılan reaktif güç artmaktadır. Bu yüzden SSSC ile hat akımının kontrolünde çekilen akımla enjekte edilen seri çıkış geriliminin doğru orantılı olarak değiştirilerek akım kontrolünün yapılması mümkündür. (Eminoğlu, 2003)

2.3.6. Birleşik Güç Akış Kontrolörü (UPFC)

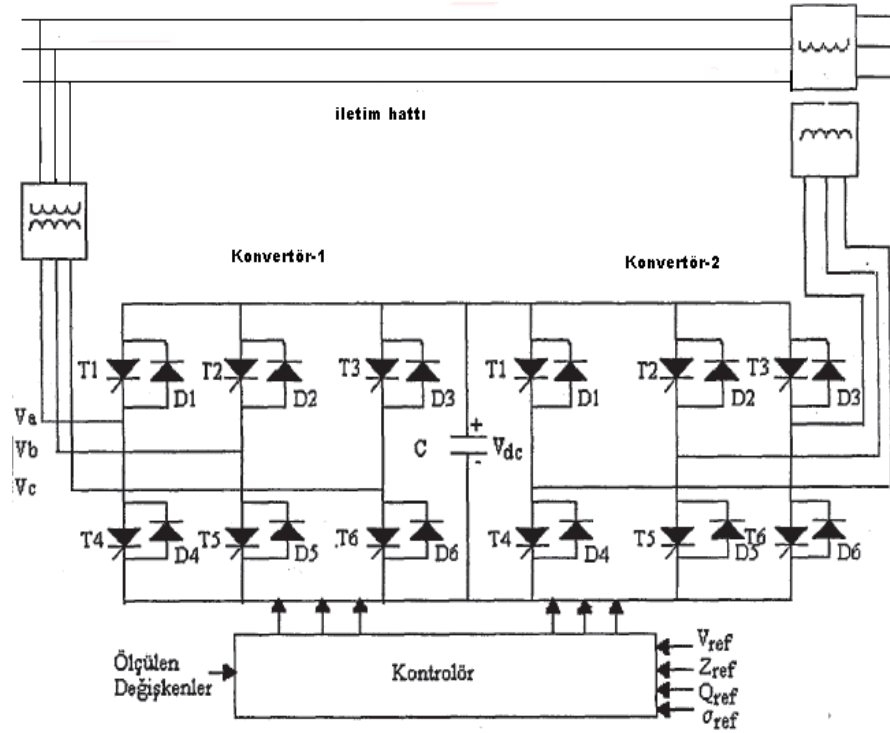
AC iletim hatlarında aktarılan güç; hat empedansı, hattın başlangıç ve hat sonu gerilimlerinin büyüklükleri ve bu gerilimler arasındaki faz farkının bir fonksiyonudur. Geleneksel kompanzasyon teknikleri ve gerilim kontrolörleri bu parametreleri değiştirerek aktarılan gücün kontrolü için kullanılır. Sabit veya mekanik anahtarlamalı şönt ve seri reaktif güç kompanzatorları ile hattın empedans karakteristiği değiştirilerek

istenen etkin empedans değeri elde edilerek gerekli güç talebi karşılanmaktadır. Bu mekanik kontrol sistemleri uygun sürekli durum çalışma karakteristiği sağlamakta fakat çok hızlı bir kontrol sağlayamamaktadır. Ayrıca sistem dinamiği açısından yetersiz kalmaktadır. Enerji politikalarının değişimi, fiyatların yükselmesi, nüfus artışı ve sistem yükünün mevcut kapasitesinin üzerinde olması elektronik kontrollü hızlı reaktif güç kompanzatorleri ve güç akış kontrolörlerinin geliştirilmesine yol açmıştır.

Bu kompanzator ve kontrolörlerde kapasitör ve reaktörler elektronik olarak anahtarlanmakta ve bunun dışında invertörler kullanılmaktadır. Örnek olarak Senkron Kompanzator DC gerilimin invertör kullanılarak AC gerilime dönüştürülmesi ile sisteme reaktif güç aktarmaktadır. Birleşik güç akış kontrolörü bir FACTS cihazı olup gerilim, faz açısı ve hat empedansı hızlı ve güvenli bir şekilde kontrol edilmektedir. Ayrıca hattan akan aktif ve reaktif gücün birbirinden bağımsız olarak kontrolüne imkan sağlamaktadır. Bu özellik UPFC'yi diğer kontrol sistemlerinden ayıran en üstün özelliktir.

UPFC gerçek zamanlı kontrol ve AC iletim sisteminin dinamik kompanzasyonu için tasarlanmıştır. Verilen bu özelliklere dayanarak UPFC, temel frekansta kontrol edilebilen V_{pq} gerilim büyüklüğü ve ϕ faz açısına sahip, iletim hattına seri olarak bağlanan bir senkron gerilim kaynağı (SVS) olarak tanımlanabilir. Bu durumda SVS ile sistemin aktif ve reaktif gücünün değiştirilmesi mümkündür. Daha önceden belirtildiği gibi sistemden reaktif güç çekerek veya sisteme reaktif güç aktararak reaktif gücün kontrol edilmesi mümkündür. Ayrıca hat sonu AC gerilim ve faz açısı UPFC çıkış gerilimi ile kontrol edilebilmektedir. Hat sonu gerilimi hattan akan aktif gücü doğrudan etkilediği için UPFC ile gerilim kontrolü yapılarak sistemden akan aktif güç kontrol edilir. Genel olarak UPFC GTO yarı iletken güç elektroniği elemanlarının kullanıldığı iki konvertörden oluşmaktadır. Her iki konvertör birbirinden bağımsız olarak bağlı olduğu AC sistemden reaktif güç çekmekte veya sisteme reaktif güç enjekte etmektedir. Konvertörler için gerekli DC gerilim bağlı oldukları kapasitör tarafından sağlanmaktadır. İkinci konvertör sisteme ϕ faz açılı kontrol edilebilir V_{pq} büyüklüğünde gerilim ekleyerek UPFC'nin temel özelliğini oluşturmaktadır. Sisteme eklenen bu AC gerilim senkron AC gerilim kaynağı gibi etki gösterir. UPFC ve AC sistem arasındaki aktif ve reaktif gücün değişimine bağlı olarak hat akımı seri transformatörden

akmaktadır. UPFC için temel devre şeması Şekil 2.11’de verilmiştir. AC uçtaki reaktif güç değişimi bağlı olduğu konvertör tarafından sağlanır. AC girişteki aktif güç DC hattın güç talebini karşılamak için 1. Konvertör tarafından DC güce dönüştürülmektedir. Birinci konvertör, 2. Konvertörün güç talebini karşılamak üzere AC sistemden aktif güç çekme veya sisteme güç enjekte etme amacıyla kullanılır. DC hattın gücü, gerilimin tekrar AC gerilime dönüştürülmesi ile AC güce dönüştürülür. Birinci konvertör ayrıca AC sistemden reaktif güç çekerek veya sisteme reaktif güç aktararak reaktif güç kompanzasyonu yapmaktadır. (Eminoğlu, 2003)



Şekil 2. 11: UPFC Temel Devre Şeması

Paralel ve seri reaktif güç kompanzasyonu ile birlikte sisteme seri olarak gerilim enjekte etmesinden dolayı aynı anda faz açısı kontrolüde yapılmaktadır. UPFC, Statcom ve Statik Senkron Seri Kapasitörün bir DC iletim hattı ile birleştirilmesi sonucu elde edilmektedir. SSSC sisteme seri bağlandığından sistem akımının kontrolüne imkan sağlar. Bu nedenle kontrol sistemlerinde seri bağlı bölüm için PI akım kontrolör modeli kullanılmaktadır. UPFC sürekli durum denklemleri Statcom ve SSSC denklemlerine kontrol denklemleri eklenere elde edilir. (Mumyakmaz, 1998)

2.4. GERİLİM KARARLILIĞI

Enerjiye olan ihtiyacın sürekli artması ile birlikte yeni üretim tesisleri kurulmaktadır. Bu üretim tesislerinin coğrafi, ekonomik, çevresel siyasi v.b. nedenlerden dolayı her zaman tüketicilere ve özellikle büyük tüketim merkezlerine yakın olması mümkün değildir. Bu nedenle uzak mesafelere enerji iletimi zorunlu olmaktadır. Aynı sebeplerden dolayı yeni iletim hatlarının çekilmesi de çok zor olmaktadır. Neticede artan güç ihtiyacının da aynı uzun iletim hattından taşınması zorunluluğu oluşmaktadır. Uzun mesafelere enerji nakli beraberinde birçok problem oluşmasına sebep olmaktadır. En az kayıp ile enerji iletimi için hat geriliminin mümkün olduğunca yüksek olması istenir. Bu durumda iletim geriliminin belirlenmesi ve buna bağlı iletim sistemlerindeki elemanların boyutlarının tespitinin emniyetli ve ekonomik olarak yapılması gerekir. İletim kayıplarının en az olması ve iletilebilecek enerjinin en fazla olmasını sağlayacak önlemlerin alınması v.b. sorunlar da güç sisteminde çözüm beklenen sorunlardandır.

Tüketicilerin güç ihtiyacını karşılayan senkron generatörlerin uzun mesafeli iletim sistemlerinde meydana gelebilecek bozucu etkiler sonrasında senkronizmadan kopup kopmayacağı temel problemdir. Uzun mesafeli enerji iletiminin önemli problemlerinden bir tanesi de gerilim kararlılığı sorunudur. Güç sisteminde tüketicilerin değişen güç taleplerine göre yük baralarının gerilimleri sürekli değişmektedir. Yük talebi arttığında bara gerilimi azalmaktadır. Bu azalma neticesinde bara geriliminin belirli bir değerin altına düşmemesi gerekmektedir. Bu sınır değere gerilimin kritik değeri denir. Gerilim azaldıkça güç sisteminin çalışması gittikçe zorlaşmaktadır. Çünkü güç sisteminin uzun mesafelerde sürekli genişleyen dağıtım sistemine sahip olması nedeniyle bir çok güvenlik sınırları içerisinde çalışması zorunlu olmaktadır. Gerilim kararlılığı ise temel problem olmaktadır.

Güç sistemi belirli sınırlar içinde çalışmak zorundadır. Sınır değerlerin ihlali, gerilim kararlılığının bozulmasına neden olur. Bu durum iletim hattı ve generatörlerin devre dışı kalmasına sebep olur. Son zamanlarda gerilim kararlılığının bozulması sebebi ile İtalya, Fransa, İngiltere, Japonya, Amerika gibi dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelen çok büyük boyutlu olaylar neticesinde, gerilim kararlılığı artık elektrik güç sisteminin çalıştırılmasında ve planlanmasında temel bir konu haline gelmiştir.

Gerilim kararlılığı problemi güç sisteminde aşırı yüklenme, arızalanma veya yetersiz reaktif güç durumlarında oluşur. Gerilim kararlılığı üretim, iletim ve reaktif güç tüketiminin incelenmesi ile analiz edilebilir. Gerilimin belirli sınırlar içinde tutulamaması sorunu güç sisteminin belirli bir bölgesinde oluşmasına rağmen güç sisteminin tamamını ilgilendirir.

Güç sisteminde beklenmeyen ani yük artımları, iletim sistemindeki aşırı kayıplar transformatör ve generatör kontrol cihazlarının yanlış etkileri ani gerilim düşümlerine sebep olur. Yük artışı ile ihtiyaç duyulan reaktif güç karşılanamaz ise sistem kararsızlığa gider. Küçük bozucu etkilerde sistemi kararlı durumda tutacak yeterli reaktif güç bulunmalıdır. Bu reaktif gücün sınır değeri hesaplanmalıdır.

Güç sisteminde gerilim düşümlerini karşılayacak çeşitli önlemler alınmalıdır. Bazı durumlarda gerilim düştüğünde senkron generatörün uyartım akımı artırılması ile bu etki bertaraf edilmesi sağlanır. Böylece gerilim kontrol edilmeye çalışılır. İletim hattının endüktif reaktansından dolayı hattan geçen akımın karesi ile orantılı olarak oluşan kayıplar arttığında gerilim kararsızlığı oluşur. Şönt kapasitörler ile reaktif güç kayıpları azaltılır ve böylece gerilim düşümü değerinin azaltılması sureti ile kararsızlıktan kurtulmaya çalışılır.

Güç sisteminde bozucu etkiden sonra gerilimler normal çalışma gerilim değerlerine yakın kalıyor ise, bu durumda güç sisteminin gerilim kararlılığına sahip olduğu söylenebilir. Gerilim kontrolünün yapılamaması, üretimin azalması veya yükün artması durumlarında generatör, hat, transformatör, bara v.b. elemanlarda gerilim kontrolsüz bir şekilde azaldığında güç sisteminin kararsızlığı söz konusudur.

Kararsızlık güç sisteminin yüklere olan iletim kabiliyetinin azalmasıdır. Gerilim kararsızlığının başlıca nedeni gerilim değerlerini belirli bir aralıkta tutabilmesi için sistemin ihtiyaç duyduğu reaktif enerjinin karşılanamamasıdır. Gerilim kararlılığına katkı sağlayan faktörler, generatör reaktif güç sınırları, yük özellikleri, yük altında kademe değiştirebilen transformatörlerin özellikleri, reaktif güç kompanzasyon cihazlarının özellikleri, gerilim kontrol cihazlarının etkileridir. Alternatif akım iletim hattındaki yük ve transformatörlerin reaktif özellikleri maksimum güç transferini

sınırlamaktadır. Güç sisteminde uzun mesafeli iletimde veya reaktans değeri çok yüksek olan tüm hatlarda büyük miktarda reaktif enerjiye gereksinim olacağından dolayı sistemin iletim kabiliyeti azalır. Reaktif güç iletimi sırasında çok büyük reaktif güç kayıpları oluşması nedeni ile reaktif güç iletimi çok zordur. Bu zorluktan dolayı reaktif güç iletiminden kaçınılır ve gerilim kontrolü yapmak için gerekli olan reaktif gücün tüketicilere yakın yerlerde kontrolü yapılır. Reaktif güç, kontrolü yapılacak olan yerlerde üretilir ve tüketilir. (Öztürk, 2007)

2.4.1. Güç Sisteminde Kararlılığın Sınıflandırılması

Güç sisteminin normal çalışma koşulları altında mevcut denge durumunu koruması ve bir bozucu etkiye maruz kaldıktan sonra yeniden kabul edilebilir bir denge durumu kazanması olarak ifade edilen kararlılık genel olarak senkron çalışmanın korunması olarak da ifade edilebilir. Bu durum senkron makinaların senkronizmada kalmaları ile sağlanabilir. Senkronizmanın korunması generatörlerin rotor açılarına ilişkin dinamikler ve güç açığı bağlantıları durumlarına bağlıdır. Senkronizmanın korunması şeklinde ifade edilen kararlılığa açığı kararlılığı denir. Senkronizma kaybı olmaksızın da gerilim çökmelerinde olduğu gibi kararlılık problemi ile karşılaşabiliriz. Bu durumda senkronizmanın korunması yerine gerilim kararlılığı öncelikli olmaktadır.

Genel olarak güç sistemindeki kararlılığı rotor açığı kararlılığı ve gerilim kararlılığı olarak sınıflandırılabiliriz. Başka şekilde kararlılık zaman ve meydana getirdiği etkiyi düşünerek de sınıflandırılabilir. Kararsızlık oluşmasına neden olan etki generatör veya yük olabilir. Zaman durumuna göre kısa süreli ve uzun süreli olarak ikiye ayrılır.

Zaman bakımından kısa süreli kararlılık problemi olan rotor açığı kararlılığı, güç sisteminin elektromekaniksel dinamiklerine bağlı olarak birkaç saniye içinde oluşan bir kararlılık problemidir. Küçük sinyal ve çok kısa süreli (transient) olmak üzere ikiye ayrılır. Küçük sinyal kararlılığı elektromekanik zararsız salınımların meydana getirdiği küçük bozucu etkilerden oluşur. Transient kararlılığı senkronizmanın zayıflamasından kaynaklanır. Güç sisteminde büyük bozulmaların başlamasına sebep olur. Transient kararlılığı güç sisteminin bir şebeke içinde bir arızaya dayanabilme kabiliyeti olarak da ifade edilebilir. Eğer güç sistemi transient kararlılık sınırları ötesinde çalışır ise arıza sonrasında bir veya birkaç generatör diğer generatörler ile aralarındaki senkronizmayı

kaybeder. Bu durum genellikle arızadan 5-10 saniye sonra meydana gelir. Sonuçta bu generatörlerin güç sisteminden ayrılmaları gerekecektir. Eğer bunlar büyük bir generatör gurubu ise sonuçta tüm bölge diğer bölgeler ile arasındaki senkronizmasını kaybeder. Dolayısı ile yük ile bağlantı kesintiye uğrar. Bu durum sistemde arıza öncesindeki yük akışının kesintiye uğraması anlamına gelir. Kritik bir arızada kararlılık limit değerleri ile güç akışı söz konusu olabilir.

Gerilim kararlılığı yüklerin durumuna bağlı olarak oluşur. Yüklerin dinamik özelliklerinin zaman durumlarına bağlı olarak gerilim kararlılığı, kısa ve uzun süreli gerilim kararlılığı olmak üzere ikiye ayrılır. Kısa süreli gerilim kararlılığı asenkron motorların, senkron generatörlerin uyarım sistemlerinin ve elektronik kontrollü cihazların (yüksek DC gerilim cihazları ve statik VAR kompanzatorlerinin) özelliklerinden kaynaklanır. Kısa süreli gerilim kararlılığı süre bakımından açı kararlılığı ile neredeyse aynıdır. Problemin modellenmesi ve analizi de aynı şekilde yapılır. Kısa süreli gerilim kararlılığı ile açı kararlılığı problemlerini meydana geliş nedenleri arasındaki farkları birbirlerinden ayırt etmek çok zordur. Bütün gerilim çökmelerinin sebeplerinin arkasında gerilim ve açı kararsızlıklarının her ikisi de birlikte bulunmaktadır.

Kısa süreli değişimler oluştuğunda, sistemin kontrol değerlerinin zaman değişimleri daha yavaş olduğundan kısa sürede kontrol sistemleri iş yapmaz fakat bozucu etkide sistemi çok etkilemez ve bozucu etki bazen kendiliğinden yok olur. Uzun süreli zamana sahip bozucu etki değişimleri, birkaç dakika hatta daha da uzun süreleri zamana sahiptirler. Uzun süreli kararlılık problemleri frekans ve gerilim kararlılığı olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar. Frekans problemi güç sisteminde temel bir bozucu etki neticesinde oluşur. Frekans kararsızlığı generatörler ve yükler arasındaki aktif güç dengesizliğinden kaynaklanır. Generatörlerden talep edilen aktif güç değerlerinde artma meydana geldiğinde generatörlerin ürettiği enerjinin frekanslarında da değişimler olur. Frekanslardaki değişimler generatörlere bağlı hız regülatörleri ile kontrol edilmeye ve sabit frekanslı enerji üretilmeye çalışılır. Sistem frekansı düştüğü veya yükseldiği zaman üretilen güç artar veya azalır.

Uzun süreli gerilim kararlılığının analiz edilebilmesi için uzun süreli değişimlerin ayrıntılı bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Uzun süreli gerilim kararlılığı güç sistemindeki yük, kademe değiştiriciler veya anahtarlama şönt kompanzasyon gibi elemanların özelliklerine bağlıdır. Elektrik güç santrallerinin kontrol sistemlerinin özellikleri, buhar üretim sistemlerinin özellikleri ve otomatik üretim kontrol sistemleri gibi uzun süreli değişimler, uzun süreli gerilim kararlılığı üzerinde etkilidirler. Uzun süreli gerilim kararlılığı için otomatik üretim kontrol sistemleri ve otomatik olmayan kontrolde ise operatörlerin kontrol üzerindeki etkileri, sürekli yüklerin özellikleri, transformatörlerin yük altında kademe değiştirme durumlarının ayrıntılı olarak bilinmesi gerekmektedir.

İyi bir şekilde analiz edilebilmesi amacı ile gerilim kararlılığı kendi içerisinde küçük ve büyük bozucu etki altında olmak üzere sınıflandırılması daha uygun olur. Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı yük değişimi gibi küçük bozucu etkilerden sonra gerilimi kontrol etme yeteneği olarak ifade edilir. Bu durumdaki bir sistemin gerilim kararlılığı çalışması sürekli çalışma durumu halinde yapılır. Güç sistemi çalışma noktası civarında lineer olarak değişir ve sistemin analizi öz değerler ve öz değerler vektörü tekniği ile yapılır.

Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı, sistemde anahtarlama yapılması, yükün veya üretimin ortadan kalkması durumlarında sistemin arızalanması ile oluşur. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı uzun zamanlı yük akışı analizi ve lineer olmayan zaman durumu için kısa zaman bölümünün kullanılması ile analiz edilebilir. Gerilim kararlılığı lineer ve lineer olmayan yöntemlerin birleşimi bir problemdir. (Öztürk, 2007)

2.4.2. Gerilim Çökmeleri

Kararsızlık bazı baraların gerilimlerinin yükselmesi veya düşmesi ile sonuçlanabilir. Malzemelerin koruma sistemleri ile iletim hattı arasındaki dengesizlik ve yükteki ani değişimlerin güç sisteminde kararsızlık oluşmasına sebep olma ihtimali vardır. Bazı generatörlerin akım sınır değerlerinin aşılması sistemdeki senkronizmanın kaybolmasına neden olur.

Gerilim düşüşünün devam etmesi senkron makinada açı kararsızlığı olayındaki durum ile aynı bir durumun oluşmasına sebep olur. Senkronizma kaybı olan yerlere yakın bölgelerde hızlı bir şekilde gerilim düşümü oluşur. İki gurup makinanın koruma sistemleri ayrı ayrı çalışır ve gerilimi normal çalışma seviyelerine getirme özellikleri de ayrı ayrıdır. Ancak sistem birbirlerinden çok ayrı değildir. Elektrik santraline yakın yerlerdeki gerilim yüksek ve düşük değerleri arasında sürekli olarak salınım yapar bu olay tamamen yüklerin etkisi ile rotor açı kararlılığının olmadığı durumlarda gerilimin düşmesi sonucunda gerilim kararsızlığı ile oluşan bir durumdur.

Gerilim çökmesi sık sık kullanılan bir terimdir. Güç sisteminin bir kısmında gerilim kararsızlığı nedeni ile olağan dışı bir şekilde gerilimin düşük bir seviyeye inmesi işlemidir. Sürekli çalışma koşullarında yükün tahminler dışında değişmesi neticesinde transformatörlerin kademe değiştiricilerinin sınır değerlerinin bu durum karşısında yetersiz kalmaları neticesinde düşük gerilimde sistemin çalışmaya devam etmesi ve neticede yükün talep ettiği normal gerilim seviyesine ulaşamaması gerilim çökmesine sebep olur.

Gerilim kararsızlığının sebebi genellikle yüklerdir. Termostatik yükler, gerilim ayarlayıcı trafo kademeleri ve asenkron motor kayma etkileri ile güç tüketimi değişir ve gerilim kararlılığı sorunu ortaya çıkabilir. Yüksek gerilim sistemi üzerinde reaktif güç tüketiminin artması sonucunda da ayrıca bir de gerilim düşmesi problemi ortaya çıkar. Üretim ve iletim sisteminde yük değişimleri ile kapasitelerinin üzerinde bir yük tüketimi meydana geldiği zaman gerilim kararsızlığı meydana gelir.

İletim hattının endüktif reaktansa sahip olması sebebi ile iletim hattında aktif ve reaktif güç iletimi birlikte yapılması bu yüzden gerilim düşmesinin meydana gelmesiyle gerilim kararsızlığı oluşur. Güç transferinde iletim hattının, belirli gerilim ve aktif güç sınırları bulunmaktadır. Gerilim düşümlerinin ve aktif güç kayıplarının bertaraf edilmesi büyük oranda generatör özellikleri (manyetik yapısı, uyarım akımı) ile sınırlıdır. Reaktif güç üreticilerinin sınırları zorlanmaya başlanması ile sistem gerilim karalılığı açısından tehlikeye girmektedir.

Gerilim kararsızlığının en çok bilinen çeşidi gerilim düşümlerinin ilerleyerek devam etmesi olarak bilinmesine rağmen yapılan son çalışmalar gerilim yükselmelerinin de sistem üzerinde gerilim kararsızlığına yol açtığını göstermiştir. Bu durum şebekenin kapasitif özelliği ile ilgilidir. İletim hattının doğal empedans yükünün altında çalışması, generatörlerin sınır değerlerinin dışında bir uyarım ile çalışmaları, senkron kompanzatorların şebekeden reaktif güç çekmeleri gibi nedenler ile gerilim yükselir.

Gerilim çökmesi sistemin kararsızlığı neticesinde oluşur. Güç sisteminde tipik olarak çökmeler aşırı yük, arıza ve/veya reaktif güç eksikliğinden meydana gelir. Gerilim çökmeleri reaktif gücün üretim ve iletimdeki sınırlamalarından dolayı talep edilen reaktif gücün temin edilememesinden oluşur. Generatör ve SVC reaktif güç değerlerinin ve kapasitörler tarafından üretilen reaktif güç değerlerinin azalması gerilimin düşmesine sebep olur. İletim hattındaki sınırlamalardan bir tanesi hat sonunda ve hat üzerinde aşırı reaktif güç kayıplarının sınırlanmasıdır. Motor veya komprasör gibi yüklerin artması durumunda reaktif güç talebinde de artma olur.

Gerilim çökmeleri zaman bakımından sınıflara ayrılır. Bu zaman birkaç saniye olabildiği gibi saatler mertebesinde de olabilir. Gerilim çökmelerinde karşılaşılan Elektro mekanik ani değişimler (örneğin generatörler, regülatörler, indüksiyon makinaları) ve güç elektroniği (örneğin SVC, HVDC sistemleri) olayları zaman bakımından saniyeler mertebesinde dir. Anahtarlama cihazları, uyarım ayarlayıcıları, kademe değiştirici gibi malzemelerden kaynaklanan çökmeler zaman olarak 10-30 saniye ve yük düzenleme işlemi ise birkaç dakika olarak belirlenmiştir.

Güç sisteminde gerilim çökmesi konusunda riskli durumlar genel olarak; İletim hattı üzerindeki yükün aşırı artması, gerilim kaynaklarının yük merkezlerinden çok uzakta olmaları, gerilim kaynaklarının üretim gerilimlerinin çok düşmesi, üretim ve yük arasındaki büyük oran meydana gelmesi, düşük gerilim şartlarında OLTC (under load tap changer) trafo kademe değiştiricilerinin yavaş veya etkisiz kalmaları, koruma ve kontrol sistemi ile hat arasındaki etkileşimin zayıflaması, yetersiz reaktif güç kompanzasyonu yapılması olarak ifade edilebilir.

Güç sistemlerinde gerilim çökmelerini önlemek için yapılan işlemler; Reaktif güç kompanzasyonu uygulamaları ile ihtiyaç fazlası reaktif güç talebinin önlenmesi, şebekede gerilim ve reaktif güç kontrolü, koruma ve kontrol koordinasyonu, trafo kademe değiştirci kontrolü, düşük gerilim koruyucuları kullanılması, kararlılık sınırlarının önceden belirlenmesi, operatörlerin etkileri olarak belirtilebilir. (Öztürk, 2007)

2.5. KADEME DEğİşTİREN TRANSFORMATÖR

Yük altında kademe değiştiren trafolarla farklı sarım sayılarında bağlantı noktaları vardır. Kademe değiştiren anahtarın hareketli kontağı sarım noktaları üzerinde yer değiştirerek sabit kontakla arasındaki sarım sayısını değiştirmiş olur. Bu sayede trafonun dönüştürme oranı değiştirilebilir ve çıkış gerilimi regülasyonu sağlanabilir.

2.5.1. Gerilim Durumları

Üzerinde tek kademe değiştirci anahtar olsa da kontaklardan geçen akımı en düşük seviyede tutabilmek için kademe noktaları ya yüksek gerilimde tutulur ya da sargıdan düşük akım geçecek şekilde yapılır. Bununla birlikte gerekirse transformatörün her bir sarımında bir kademe anahtarı bulunabilir. Örnek verildiğinde güç dağıtım şebekelerinde kullanılan yüksek güçlü gerilim düşürücü transformatörler primer sargısı yüksüz ve sekonder sargısı yüklü durumda iken değişim yapabilen bir kademe değiştirci anahtar bulunabilir. Yüksek gerilim kademesi yüksek gerilim şebekesinde uzun süreli kullanım için ayarlanır ve nadiren değiştirilir. Alçak gerilim şebekelerinde alçak gerilim kademesini yükün enerjisini kesmeden bir ya da birkaç kere değiştirmek gerekebilir. Sarımların sayısını en aza indirmek suretiyle transformatörün fiziksel boyutunu küçültmek için ana sargı üzerindeki gerilimin yönünü değiştirecek bir ters bağlantı yapılabilir. Yalıtım gereksinmesi sargının düşük gerilim ucundaki bağlantı noktalarında yapılır. Bu işlem, yıldız bağlantıda oto transformatörün yıldız noktasında, üçgen bağlantıda ise merkezinde yapılır.

2.5.2. Kademe Değişimi

2.5.2.1. Devre Dışı Tasarım(DTEC)

Düşük gerilimde çalışan alçak gerilim transformatörlerinde kademe noktası, bağlantının el ile kesilip yeni terminale bağlayacak bir güç probu ile yapılabilir. Bir diğer seçenek ise bu işlem için bir dönerli ya da sürgülü anahtar ile de yapılabilir. Farklı kademeler farklı gerilimlerde olduğundan aynı anda iki bağlantının yapılması sargıda aşırı kısa devre akımının geçmesine yol açar. Bu nedenle anahtarın konumunu değiştirirken enerjinin kesilmesi gerekir. Sürekli kullanıma rağmen, devre dışı ya da enerji altında olmadan güç kaybının göz önüne alınmadığı yüksek gerilim şebekelerinde kademe değişimi yapılır. Güç dağıtım şebekelerinde transformatörler genellikle dar bir band içinde ve nominal oranda sistemdeki primer sargıdaki değişime duyarlı bir devre dışı kademe değiştirici anahtar içerir. Kademe değiştirici anahtar sistem gerilimindeki uzun dönemli kullanılacak voltaja ayarlanabilse dahi genellikle montaj sırasında bir kere ayarlanır.

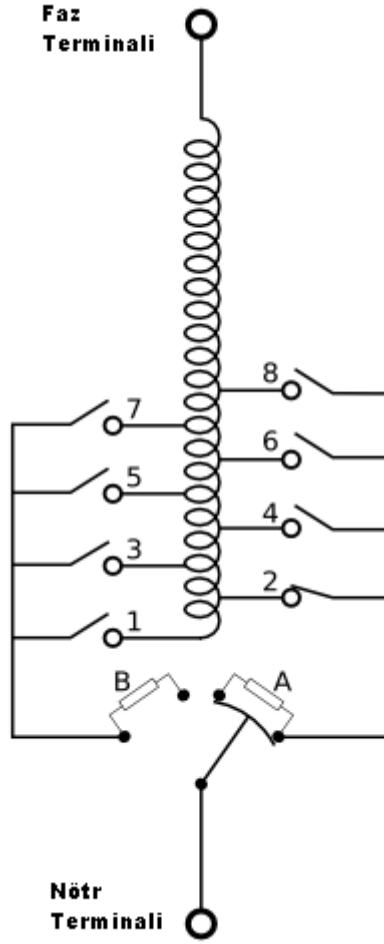
2.5.2.2. Yük durumundaki Tasarım(OLTC)

Bu transformatörlerin kademe değiştirmeleri yük altında olduğu için kesintinin olmaması sağlanmak zorundadır. Bu da bu cihazları pahalı ve karmaşık bir hale getirmektedir. Yük altında kademe değiştiriciler ya mekanik olarak, elektronik destekli ya da tamamen elektronik olarak yapılır.

Mekanik olarak kademe değiştiren transformatörlerin kademe değiştirici anahtarları, kısa devre olmuş sarımlara seri olan ve geçici olarak yüksek bir saptırma empedansı oluşturacak saptırma anahtarı kullanılarak, yüksek dolaşım akımının oluşmasını önleyen çoklu kademe seçicilerin devreden ayrılmasından önce fiziksel olarak yeni bağlantıyı gerçekleştirir. Bu teknik ile açık devre ve kısa devre kademe sorunlarının üstesinden gelinmiş olur. Direnç tipi kademe değiştiricide saptırma devresinin aşırı ısınmaması için değişimin hemen yapılması gerekir. Reaktans tip kademe değiştiricide ise saptırma empedansı olarak görev yapacak önleyici oto transformatörün sargıları bulunur ve reaktans tip kademe değiştirici genellikle kademe dışı yüklemeyi devamlı sağlayacak şekilde tasarımlanır. Tipik bir saptırma anahtarında üzerindeki yay düşük güçle çalışan bir motor (motor sürücü ünitesi) tarafından gerilir ve kademe değişimini gerçekleştirecek şekilde hızla bırakılır. Kontaklar üzerinde oluşabilecek arkı azaltmak için kademe değiştirici, yalıtkan transformatör yağı ile dolu bir kap yada SF6 ile dolu

bir şişe içinde çalıştırılır. Reaktans tip kademe değiştiriciler yağ içinde çalışırken oto transformatörce üretilen indüklenmiş geridönüş (flyback) darbelerini yok edecek genellikle saptırma bobinine paralel bir vakum şişe bulunur. Kademe değişimi sırasında geri dönüş gerilimi şişe içinde bulunan iki elektrod arasındaki potansiyeli arttırır ve enerjinin bir kısmı saptırma anahtarında oluşması yerine şişe içinde boşalmak suretiyle yutulur. Bir miktar arkın oluşması kaçınılmazdır. Hem kademe değiştirici yağını ve hem de anahtar kontakları kullanıldıkça aşınır. Tank yağının kirlenmesini önlemek ve bakımı kolaylaştırmak için saptırma anahtarı genellikle ana transformatör tankından ayrı bir bölümde çalışır ve kademe seçici anahtarları da çoğunlukla aynı bölümde bulundurulur. Bütün sargı kademeleri bir terminal üzerinden kademe değiştiriciye doğru yönlendirilir. Bir diğer yükte mekanik değiştirici tasarımı (bayrak tip) şekil (2.12)' de gösterilmiştir. Sağ el bağlantısıyla doğrudan sağlanan yükte 2 durumunda çalışmaya başlar. A saptırma direnci kısa devredir. Saptırma B kullanılmaz. 3 nolu kademe de aşağıdakiler gerçekteşir. (Larsson, 2000)

- 1- B anahtarı kapalı yüksüz çalışma
- 2- Dönerli anahtar A direnci üzerinden (bir konumdan ayrılarak) yük akımı uygular.
- 3- Döner anahtar A ve B kontaklarını birleştirerek dönmeye devam edilir A ve B ile köprülenmiş sarımlara A ve B dirençleri üzerinden yük uygulanır.
- 4- Döner anahtar A kontağından ayrılacak şekilde döndürülür. Sargıdaki köprüleme kalkar ve yük sadece B direnci üzerinden uygulanır.
- 5- Döner anahtar B'yi kısa devre edecek şekilde döndürülür Yük sol el bağlantısıyla uygulanır. A kullanılmaz.
- 6- 2 nolu anahtar açılır ve yüksüz çalışma başlar. Çalışma 2 nolu kademe durumuna gelecek şekilde ters durumda gerçekteşir.



Şekil 2.12: Yük Altında Mekanik Anahtarlamalı Kademe Değiştirici

Tristör destekli kademe değiştiricilerde ana kontaklar bir kademedен diğer kademeye değişirken yük akımını üzerine alan tristörler bulunur. Bu durum ana kontaklarda ark oluşmasını önler ve bakım çalışmalarında daha uzun bir hizmet süresi sağlar. Dezavantajı ise bu kademe değiştiriciler daha karmaşıktır ve tristör devresi için daha düşük gerilim gerektirir. Ayrıca daha masraflı olabilirler.

Son zamanlarda geliştirilen sistemlerde hem yük altında anahtarlama yapan hem de yük akımını geçiren tristörlü değiştiriciler kullanılmaktadır. Dezavantajları kademeleri seçili değilken iletimde olmayan tristörlerin sızıntı akımları nedeniyle güç tüketmesidir. Ayrıca daha düşük kısa devre dayanma kapasitelerine sahiptir. Isı olarak oluşan ve birkaç KW'a kadar çıkan gücün yok edilmesi gerekir. Kademe değiştirici donanımının

boyutunu ve ağırlığını azaltan bir tasarıma karşın transformatörün çalışmasında bir azalmaya yol açar. Katı durum kademe değiştirciler olarak da bilinen bu anahtarlayıcılar sadece daha düşük güçlü transformatörlerde kullanılır.

2.6. OPTİMAL REAKTİF GÜÇ PLANLAMASI

Artan güç talebi doğrultusunda reaktif güç yönetiminin önemi giderek artmaktadır. Güç sistemlerinde gerilim çok önemlidir, çünkü gerilim yükleri desteklemesi için yeterli yükseklikte ve ekipmanların arızalanmasına neden olmaması için gerekli düşük seviyede olması gerekir. Bu yüzden gerilimi kısıtlayan tüm noktalardan gerilim kontrol edilmeli ve desteklenmelidir. Bu kontrol reaktif güç tüketimi ve kaynakları denetim altına alınarak büyük ölçüde gerçekleştirilebilir. Güç sisteminde iki temel reaktif güç tüketimi vardır. Birincisi yükler tarafından tüketilen reaktif güç, ikincisi ise şebeke içinde tüketilen reaktif güçtür.

Tüketiciye elektrik enerjisi temin ederken gerilim ve frekans sürekli olarak sabit tutulmalıdır. Bu gereksinimler güç sisteminin yeterli güvenlik düzeyinde çalıştırılmasını gerektirir. Tüketici talebi her zaman sabit değildir. Sabit bir talep gözlenemez. Kabul edilebilir bir güvenlik düzeyi elde etmek için sistem operasyon planına öngörülen toplam sistem talebini gerçek zamanlı olarak almak gerekir. Sistem operatörleri kontrolü dışında yük kaybı halinde onarıcı adımlar atılmak zorunlu olacaktır.

Reaktif güç yönetimi genel bir terimdir. Reaktif güç planına kontrol edilebilir cihazlar olan generatör, senkron kapasitör, kademe değiştiren transformatör, reaktör ve FACTS cihazları sırasıyla kayıpları azaltmak ve gerilim kontrolünü (kapasitesini) arttırmak için dahil edilebilir.

Optimal reaktif güç aktarımı generatör uyarıtımı, değişken kademeli transformatör ayarı ve ayarlanabilir VAR kompanzatör cihazlarının gerilim kararlılığı, gerilim profili ve aktif güç kayıplarının minimuma indirilmesinde etkin olması ile tanımlanabilir. Düşük ve yüksek yük periyotlarında gerilim kontrolü reaktif kaynaklar tarafından sağlanmaktadır. İletim şebekesi içinde seyrek olarak gerçekleştirilen bu reaktif güç kontrolörleri koordinasyon içerisinde. Optimal güç akışı reaktif güç aktarımı için önemli bir

araçtır. Optimal güç akışı yönteminin tanıtılmasından sonra literatürde çok sayıda makale yayınlanmıştır. Son yıllarda güç sistemi optimizasyonu yöntemleri bir takım güç akışı çözümleriyle entegre olarak yeni optimizasyon algoritmaları oluşmuştur. Optimal güç akışı probleminde sistem kayıpları, yük barasındaki gerilim sapsmaları, gerilim kararlılığı veya daha başka amaç fonksiyonları minimize edilir. Bu işlem sırasında; generatörün aktif ve reaktif güç sınırları, reaktif güç kompanzatörünün sınırları, kademe değiştiren transformatörün sınırları ve bara gerilimi sınırları gibi sınırlar amaç fonksiyonuna kısıt oluşturmaktadır.

2.6.1. RGO'da Kullanılan Amaç Fonksiyonları

Reaktif güç optimizasyon problemlerinde temel amaç fonksiyonu sistemdeki toplam aktif güç kayıplarıdır. Amaç generatör gerilimlerini, reaktif güç kaynaklarını ve kademe değiştiren trafonun değerlerini değiştirerek aktif güç kayıplarını minimuma indirmektir. Sistemdeki gerilim değerinin değiştirilmesi, reaktif güç kaynağı kullanılması yeni amaç fonksiyonları doğurmuştur. Bu amaç fonksiyonları gerilim profili ve reaktif güç kaynak maliyetidir.

2.6.1.1. Aktif Güç Kayıpları

Güç sistemlerinin en büyük sorunları arasında sistemin kayıpları yer almaktadır. Bu kayıplar içinde aktif güç kayıpları (P_{loss}) ciddi bir ekonomik kayıptır. Bunun için aktif güç kayıplarının minimize edilmesine ihtiyaç duyulmuştur. Aktif güç kayıpları minimizasyonu amaç fonksiyonu denklem 2.11 de verilmiştir.

$$\sum_{k \in N_E} P_{loss} = \sum_{k \in N_E} g_k (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos \theta_{ij}) \quad (2.11)$$

Denklem (1)' de N_E dağıtım hatları sayısı; g_k i ve j baralarını bağlayan hattın kondüktansı, V_i i. Baranın gerilim değeri, V_j j. baranın gerilim değeri, θ_{ij} i ve j baraları arasındaki gerilim değerinin faz açısını ve P_{loss} ise toplam aktif güç kaybını ifade etmektedir. (Li ve diğ, 2006)

2.6.1.2. Gerilim Profili

Diğer olası amaç fonksiyonu ise bara gerilimi ile nominal gerilim arasındaki salınımların en aza indirilmesine yöneliktir. Bu amaç fonksiyonun kullanılma amaçlarının birincisi reaktif güç transferinin sistemdeki bara gerilim düzeylerine bağlı olmasıdır. Yük baralarının gerilim değerlerinin nominal değerlere yakın tutulması her

bir yük barasına aktarılan reaktif güç değerinin daha az olmasını sağlar. Reaktif güç değerinin azalması hat akımlarının azalmasına neden olur. Aktif güç kayıplarını I^2R formülü ile de ifade edebiliriz. Dolayısıyla akım düşeceğinden gerilim profilinin aktif güç kayıplarının düşürülmesinde etkisi vardır. Bu amaç fonksiyonunun güç sistemine ikinci etkisi ise hat kesilmesi gibi öngörülme-yen gerilim kararsızlığı senaryolarında yük barası geriliminin nominal değerde tutulmaya çalışılmasıdır. Yük barasındaki ortalama gerilim sapması denklem 2.12 kullanılarak minimize edilebilir.

$$V_{dev} = \frac{\sum_{i \in N_{PQ}} |V_i - V_{ref}|}{N_{PQ}} \quad (2.12)$$

Fonksiyonda V_{dev} gerilim sapmasını, N_{PQ} yük barası sayısını, V_i yük barası gerilimini ve V_{ref} yük barası referans (nominal) gerilim değeri ifade etmektedir. (Small, 2007)

2.6.1.3. Reaktif Güç Kaynak Maliyeti

RGO'da minimize edilen bir başka amaç fonksiyonunda sisteme bağlanan reaktif güç kaynaklarının maliyet fonksiyonudur. Reaktif kaynakların maliyetleri kurulum ve satın alma maliyetlerini içermektedir. Kurulum ve ekstra ekipman maliyeti anahtarlama ve kesici gibi cihazlar için gerekli fiziksel çalışmalardan oluşur. Reaktif güç kaynaklarının maliyetleri denklem 2.13 deki gibi kombine edilerek amaç fonksiyonu oluşturulur.

$$I_c = \sum_{i \in N_c} e_i + C_{ci} |Q_{ci}| \quad (2.13)$$

Burada e_i tesisat ve i . baraya ilave edilen ekipman maliyeti, C_{ci} i . baraya bağlı Var kaynağının ürettiği MVar başına maliyeti ve Q_{ci} ise i . baraya bağlı Var kaynağın bu baraya aktardığı reaktif gücün per-unit değeridir. FACTS cihazlarının sistemin ihtiyacına göre kapasitif ya da indüktif çalışabilmeleri göz önüne alınarak Q_{ci} mutlak değer içerisinde verilmiştir. (Small, 2007)

2.6.2. Reaktif Güç Optimizasyonunda Kullanılan Kontrol Değişkenleri

RGO'da amaç fonksiyonlarını dolayısı ile sistem performansını etkileyen kontrol değişkenleri vardır. Sistemin aktif güç kayıpları, gerilim profili ve VAr kaynağı maliyet fonksiyonları göz önüne alındığında kontrol değişkenleri şunlardır:

- Şönt kapasitör reaktif güç değeri
- Generatör terminal gerilim değeri
- Hatta bağlanan transformatörün kademesi

Bu kontrol değişkenleri kendi özel kısıtları aralığında ayarlanarak amaç fonksiyonların minimuma indirilmesi ve sistemin daha kararlı daha ekonomik bir şekilde çalışılması sağlanır. (Small, 2007)

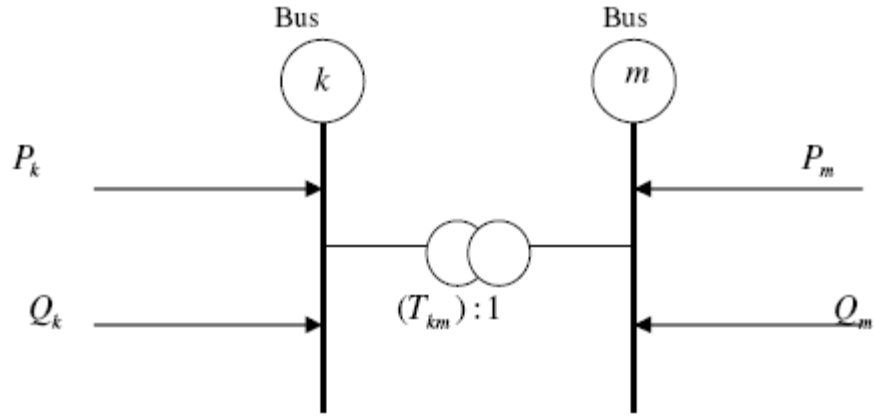
Şönt kompanzasyon kontrol parametreleri sayesinde bağlı buldukları baraların gerilimlerini sisteme reaktif güç vererek ya da sistemden reaktif güç çekerek düzenlerler. Bu kontrol parametreleri güç sisteminde uygun yerlere kurulur ve ayarlanır.

Generatörlerin terminal gerilimleri sistemin gerilimini kontrol etmek için başka bir kontrol değişkenidir. Generatörlerin terminal gerilimleri öncelikle otomatik voltaj regülatörü ile kontrol edilebilir. Otomatik voltaj regülatörü stator üzerinde istenilen gerilimi elde etmek için senkron makinenin rotor alan akımını değiştiren kapalı çevrim kontrol sistemidir.

Transformatörlerin kademe değiştirme özelliği diğer iki kontrol değişkenine oranla daha az kullanılmasına rağmen, bara geriliminin sınırları dışına çıktığında gerilimi azaltıp yükselterek sınırlar dahilinde kalması amacı ile kullanılır. Kademe değiştiren transformatörler sekonder sargılarını mekanik olarak değiştirerek gerilimi değiştirir.

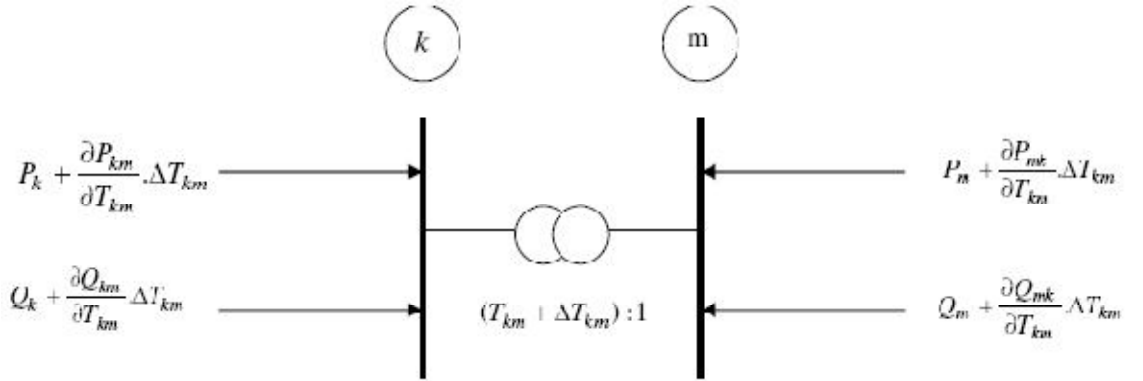
2.6.2.1. Kademe Değiştiren Transformatöre Göre Amaç Fonksiyonu Duyarlılığı

Transformatörün k ve m baralarına bağlandığını düşünelim. P_k ve P_m sırasıyla k ve m baralarına enjekte edilen aktif gücü, Q_k ve Q_m sırasıyla k ve m baralarına enjekte edilen reaktif gücü ifade etmektedir. Şekil 2.13 de temsili kademe değiştirici trafo bağlantısı verilmiştir. Trafo kademesi ile ilgili duyarlılık hesaplamaları k barasına enjekte edilen güçte dayanmaktadır. M barasında kademe ile değişiklik olmamaktadır.



Şekil 2.13: k barasındaki T_{km} kademeli trafo temsili

Transformatör kademesindeki küçük değişiklik k ve m barası arasındaki hatta güç akışını değiştirir. Dolayısıyla baradan aktarılan güç değişir. Fakat bu güç akışındaki değişiklikler ters işaretli uygun güçlerle elimine edilmelidir. Bu uygun güç enjeksiyonları hassasiyeti belirlemeyi sağlar. Artan güç enjeksiyonlarına göre temsili şema şekil 2.14 de verilmiştir. (Yesuratnam, 2007)



Şekil 2.14: Artan Güç Enjeksiyon Hataları ile Trafo Temsili

k barasındaki aktif güç enjeksiyon hataları,

$$\begin{aligned}
 \Delta P_k &= P_k - P_k^{\text{hesaplanan}} \\
 &= P_k - P_k - \frac{dP_{km}}{dT_{km}} \Delta T_{km} \\
 &= -\frac{dP_{km}}{dT_{km}} \Delta T_{km}
 \end{aligned} \tag{2.14}$$

k barasındaki reaktif güç enjeksiyon hataları,

$$\begin{aligned}
\Delta Q_k &= Q_k - Q_k^{hesaplanan} \\
&= Q_k - Q_k - \frac{dQ_{km}}{dT_{km}} \Delta T_{km} \\
&= -\frac{dQ_{km}}{dT_{km}} \Delta T_{km}
\end{aligned} \tag{2.15}$$

m barası için benzer aktif ve reaktif güç hataları,

$$\Delta P_m = -\frac{dP_{mk}}{dT_{mk}} \Delta T_{mk} \tag{2.16}$$

$$\Delta Q_m = -\frac{dQ_{mk}}{dT_{mk}} \Delta T_{mk} \tag{2.17}$$

Buradan,

$$\begin{aligned}
\Delta V_L &= \frac{dV_L}{dP_k} \Delta P_k + \frac{dV_L}{dQ_k} \Delta Q_k + \frac{dV_L}{dP_m} \Delta P_m + \frac{dV_L}{dQ_m} \Delta Q_m \\
&= \left[\frac{dV_L}{dP_k} \left(\frac{-dP_{km}}{dT_{km}} \right) + \frac{dV_L}{dQ_k} \left(\frac{-dQ_{km}}{dT_{km}} \right) + \frac{dV_L}{dP_m} \left(\frac{-dP_{mk}}{dT_{mk}} \right) + \frac{dV_L}{dQ_m} \left(\frac{-dQ_{mk}}{dT_{mk}} \right) \right] \Delta T_{km} \\
\Delta V_L &= \frac{dV_L}{dT_{km}} \Delta T_{km}
\end{aligned} \tag{2.18}$$

Buradan, amaç fonksiyonunda transformatör kademe duyarlılığı aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\frac{dV_L}{dT_{km}} = \left[\frac{dV_L}{dP_k} \left(\frac{-dP_{km}}{dT_{km}} \right) + \frac{dV_L}{dQ_k} \left(\frac{-dQ_{km}}{dT_{km}} \right) + \frac{dV_L}{dP_m} \left(\frac{-dP_{mk}}{dT_{mk}} \right) + \frac{dV_L}{dQ_m} \left(\frac{-dQ_{mk}}{dT_{mk}} \right) \right] \tag{2.19}$$

Bara gerilimleri, transformatör admintansı ve transformatör kademe oranı (a) açısından güç kısmi türev denklemleri aşağıda verilmiştir.

$$\frac{dP_{km}}{dT_{km}} = \frac{1}{a^2} [y_{km} V_k V_m \cos(\delta_k - \delta_m - \alpha_{km}) - y_{km} V_k^2 \cos \alpha_{km}] \tag{2.20}$$

$$\frac{dQ_{mk}}{dT_{mk}} = \frac{1}{a^2} [y_{km} V_k V_m \sin(\delta_k - \delta_m - \alpha_{km}) + y_{km} V_k^2 \sin \alpha_{km}] \tag{2.21}$$

2.6.2.2. *Ayarlanabilir VAR Kompanzatöre Göre Amaç Fonksiyonu Duyarlılığı*
Amaç fonksiyonun Var kompanzatör açısından duyarlılığı (2.22)'de verilen

dV_L/dQ_{g+k} , $k=1,2,\dots,s$ denklemin çözümü ile elde edilir. (Yesuratnam, 2007)

$$\begin{bmatrix} \frac{dV_L}{dV_2} V_2 \\ \vdots \\ \frac{dV_L}{dV_m} V_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{dQ_2}{dV_2} V_2 & \dots & \frac{dQ_n}{dV_2} V_2 \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{dQ_2}{dV_n} V_n & \dots & \frac{dQ_n}{dV_n} V_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{dV_L}{dQ_2} \\ \vdots \\ \frac{dV_L}{dQ_n} \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

2.6.3. Reaktif Güç Optimizasyonu Kısıtları

RGO'da kısıt koyulmasının sebebi, bulunan değişken değerlerinin ve amaç fonksiyonun pratikte uygulanabilir sonuçlar olmasıdır. RGO'da kısıtların kullanılmaması durumunda değişken değerleri sisteme olumsuz etkiler yapabilecek değer alabilir. Generatör gerilimlerinin, reaktif güç kaynağının ve transformatör kademe oranının alabileceği değer aralıkları vardır. Ayrıca aktif ve reaktif güç denklemleride aktif güç kayıplarının minimize edilmesinde eşitlik kısıtı olarak kullanılır.

2.6.3.1. Eşitlik Kısıtları

RGO eşitlik kısıtları, güç akış denklemlerinden bilinen aktif ve reaktif güç denklemleri tarafından temsil edilmektedir. Sistemdeki aktif ve reaktif güç dengesi ihmal edilemez. Üretilen ve talep edilen gücün dengede olması gerekmektedir. güç denklemleri (2.23) ve (2.24)'de verilmiştir. (Small, 2007)

$$P_{Gi} - P_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (2.23)$$

$i \in N_B$

$$Q_{Ci} + Q_{Gi} - Q_{Di} - V_i \sum_{j=1}^{NB} V_j [G_{ij} \sin(\delta_i - \delta_j) + B_{ij} \cos(\delta_i - \delta_j)] = 0 \quad (2.24)$$

$i \in N_{PQ}$

Bu güç kısıtlarında N_B toplam bara sayısını P_G ve Q_G sırasıyla generatörün aktif ve reaktif gücünü P_D ve Q_D sırasıyla talep edilen aktif ve reaktif gücü G_{ij} ve B_{ij} i ve j baraları arasındaki hattın kondüktans ve suseptans değerini δ_i ve δ_j bara gerilim açılarını ifade etmektedir.

2.6.3.2. Eşitsizlik Kısıtları

RGO'da kullanılan kontrol değişken kısıtları ve baraların gerilim değerleri eşitsizlik kısıtlarını oluşturmaktadır. Sistemin kontrol değişkeleri; kademe değiştiren transformatörün kademe oranı, reaktif güç kaynağının sisteme aktardığı reaktif güç değeri ve generatörün gerilimidir.

Bara gerilim değerleri de barada kullanılan ekipmanların özelliklerine göre belli sınırlar içinde tutulmak zorundadır. Bara gerilimlerinde izin verilen değerler bara nominal gerilimlerine göre değişmektedir. Örneğin bara gerilimi 138 kV olan bara için $\pm\%5$ aralığında, bara gerilimi 345 kV olan bara için $\pm\%10$ aralığında olabilir.

$$V_{imin} \leq V_i \leq V_{imax} \quad i \in N_B \quad (2.25)$$

$$Q_{Gimin} \leq Q_{Gi} \leq Q_{Gimax} \quad i \in N_G \quad (2.26)$$

$$T_{kmin} \leq T_k \leq T_{kmax} \quad i \in N_T \quad (2.27)$$

$$Q_{Cimin} \leq VQ_{Ci} \leq QC_{imax} \quad i \in N_C \quad (2.28)$$

N_G , N_B , N_T ve N_C sırası ile generatör barası sayısını, toplam bara sayısını, transformatör ve kapasitör sayısını ifade etmektedir. (Small, 2007)

RGO eşitsizlik kısıtları için sınır şartları sağlanamazsa değişken değeri sınır değerine eşitlenir. Yani değişken değerinin optimizasyon sırasında limit değerlerini aşmaması için alt limitin altına inen değerler alt limite, üst limitin üstüne çıkan değerler üst limite eşitlenir. (Varadarajan ve Swarup, 2008)

$$V_{i,lim} \quad V_i \geq V_{i,max} \quad ise \quad V_i = V_{i,max}$$

$$V_i \leq V_{i,min} \quad ise \quad V_i = V_{i,min}$$

$$Q_{i,lim} \quad Q_i \geq Q_{i,max} \quad ise \quad Q_i = Q_{i,max}$$

$$Q_i \leq Q_{i,min} \quad ise \quad Q_i = Q_{i,min}$$

$$T_{i,lim} \quad T_i \geq T_{i,max} \quad ise \quad T_i = T_{i,max}$$

$$T_i \leq T_{i,min} \quad ise \quad T_i = T_{i,min}$$

2.7. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritma biyolojik evrim mekanizmasını esas kabul eden bir araştırma algoritmasıdır. Genetik Algoritma karmaşık fonksiyonlar için optimizasyon çözümü sağlar. Geleneksel optimizasyon yöntemleri için çok zor olarak kabul edilen çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Genetik algoritma bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır. Evrim Teorisi ile kabul edilen en iyinin yaşaması ve zayıf olanın elenmesi kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler üretir. Kötü olan çözümler ise elenir.

Genetik algoritma rastgele oluşturulan ve bir çok çözüm takımının içinde bulunduğu, popülasyon adı verilen gen havuzu ile çalışmaya başlar. Her bir değişkene bir kromozom denir. Kromozomlar genlerin kombinasyonudur ve fonksiyonun değişkenlerinin tamamını bünyesinde bulduran bireyleri oluştururlar. Fonksiyonun tüm değişkenlerinin yan yana sıralanması ile birey oluşur. Birey popülasyonun bir satırıdır. Bireyler topluluğu popülasyonu oluştururlar. Değişkenler değişik şekillerde kodlanırlar. En yaygın olanı ikilik sayı sistemi olarak bilinen binary sayı sistemi ile kodlanmasıdır. Bu sistemde kromozomlar 0 ve 1 genlerinin kombinasyonlarından oluşurlar. Popülasyonun devamı biyolojik kurallara bağlıdır.

Popülasyonun her bir bireyi için uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Kromozomlardan başarılı olanlar, yani uygunluk fonksiyonu değerleri aranan kriterlere yakın olanlar bir seçim yöntemi ile seçilirler. Aranan kriterlerden çok uzak olanlar ise elenirler. Neslin devamı bir sonraki jenerasyondaki başarılı bireyler arasında gerçekleşir. Başarılı bireyler ebeveyn olarak kabul edilmek sureti ile aralarında üreme meydana getirilir. Bu olaya genetik algoritmada çaprazlama denir. Çaprazlama ebeveynlerin bazı genlerini yeni bireyler üzerine kopyalamaları işlemidir. Çaprazlama (üreme) sonucunda yeni bireyler elde edilir. Yeni bireylerin ebeveynlerinin kopyası olması olasılığını önlemek için bu bireyler mutasyona uğratılır. Mutasyon ile rast gele bazı genler değişikliğe uğrar, örneğin 0 ise 1 veya 1 ise 0 olurlar. Algoritmada mutasyon oranını yani değişikliğe uğrama oranını program tasarımcısı belirler.

Sonuçta başarılı bireylerin genlerini alt nesillere aktarılır iken, zayıf olan bireylerin genleri ise zamanla yok olur. Yeni nesiller oluştuğunda gen havuzunun da kalitesi gittikçe artar. İlk başlangıçta havuz içinde bir çok başarısız birey bulunmasına karşılık jenerasyon ilerledikçe havuzun çoğunluğunu başarılı bireyler oluşturur. En sonunda tüm bireyler aranan ideal bireye dönüşür. Bu taktirde optimizasyon sonuçlanmış olur. Genetik algoritma çalışmasında programın sonlandırma şartı olarak jenerasyon sayısı, programın çalışma süresi veya belirli bir sürede sürekli aynı sonuçların elde edilmesi olarak belirlenebilir.(Öztürk, 2007) Genetik algoritmanın akış şeması şekil 2.15 de verilmiştir.



Şekil 2.15: Genetik Algoritma Akış Şeması (Türkkan, 2009)

2.8. PARÇACIK SÜRÜ OPTİMİZASYON ALGORİTMASI

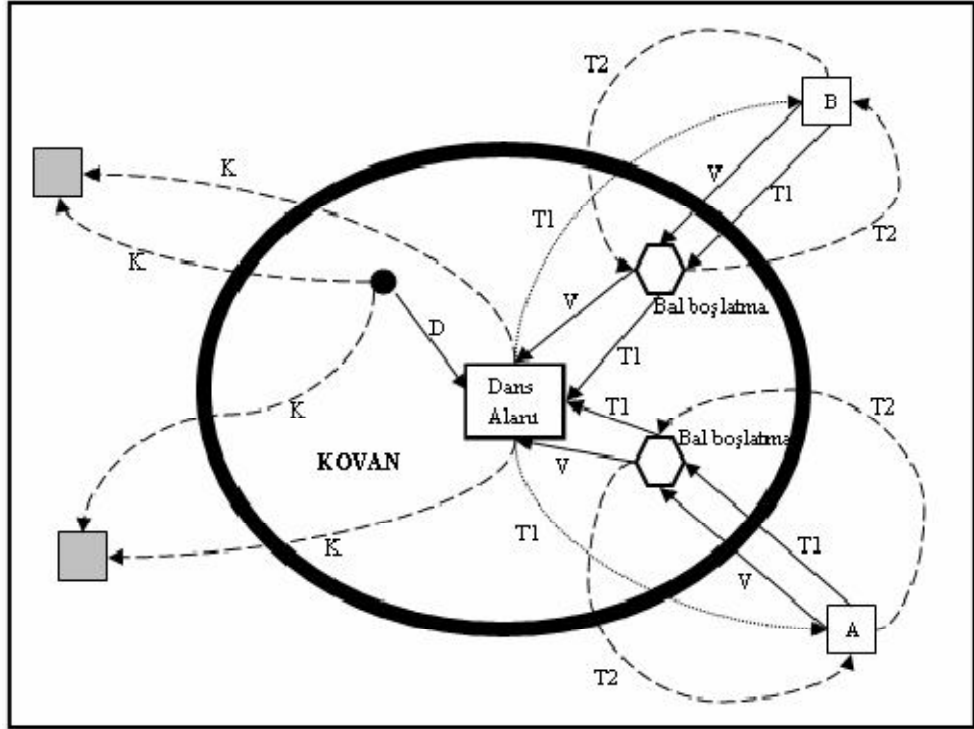
Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) kuş sürülerinin davranışlarından esinlenilerek geliştirilmiş popülasyon tabanlı stokastik optimizasyon tekniğidir. Doğrusal olmayan problemlerin çözümü için tasarlanmıştır. Çok parametrelili ve çok değişkenli optimizasyon problemlerine çözüm bulmak için kullanılmaktadır. PSO, genetik algoritmalar gibi evrimsel hesaplama teknikleriyle birçok benzerlik gösterir. Sistem rastgele çözümler içeren bir popülasyonla başlatılır ve nesilleri güncelleyerek en optimum çözümü araştırır. PSO da parçacık olarak adlandırılan olası muhtemel çözümler, o andaki optimum parçacığı izleyerek problem uzayında dolaşırlar. PSO'nun klasik optimizasyon tekniklerinden en önemli farklılığı türev bilgisine ihtiyaç duymamasıdır.

Kuşların uzayda, yerini bilmedikleri yiyeceği aramaları, bir probleme çözüm aramaya benzetilir. Kuşlar yiyecek ararken yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederler. Parçacık olarak adlandırılan her tekil çözüm, arama uzayındaki bir kuştur. Parçacık hareket ettiğinde, kendi koordinatlarını bir fonksiyona gönderir ve böylece parçacığın uygunluk değeri ölçülmüş olur. (Yani yiyeceğe ne kadar uzaklıkta olduğu ölçülmüş olur.) Bir parçacık, koordinatlarını, hızını (çözüm uzayındaki her boyutta ne kadar hızla ilerlediği), şimdiye kadar elde ettiği en iyi uygunluk değerini ve bu değeri elde ettiği koordinatları hatırlamalıdır. Çözüm uzayındaki her boyuttaki hızının ve yönünün her seferinde nasıl değişeceği, komşularının en iyi koordinatları ve kendi kişisel en iyi koordinatlarının bir birleşimi olacaktır.

PSO, bir grup rastgele çözümlerle (parçacık sürüsü) başlatılır ve güncellemelerle optimum çözüm bulunmaya çalışılır. Her tekrarlama (iterasyonda), parçacık konumları, iki en iyi değere göre güncellenir. İlki; o ana kadar parçacığın elde ettiği en iyi çözümü sağlayan koordinatlarıdır. Bu değer "*pbest*" olarak adlandırılır ve hafızada saklanmalıdır. Diğer en iyi değer ise, popülasyonda o ana kadar tüm parçacıklar tarafından elde edilen en iyi çözümü sağlayan koordinatlarıdır. Bu değer global en iyidir ve "*gbest*" ile gösterilir. (Mantawy, 2003)

2.9. GERÇEK ARI OPTİMİZASYONU

Bal arılarında amaç kovan etrafında bulunan nektar kaynaklarından toplanan balı kovana getirmektir. Arılar arasında bilgi değişimi dansla olur ve bu dans “dancing area” denilen dans bölgesinde yapılır. Bal arıları bilgi değişimi sayesinde kaliteli yeni yiyecek kaynaklarını keşfeder. Bal arılarında kaynağın yeri ve karlılığı “Waggle Dance” denilen bir dans ile diğer arılarla paylaşılır. Farz edelim keşfedilen iki yiyecek kaynağı A ve B olsun. Başlangıçta muhtemel bir toplayıcı işsiz bir toplayıcı gibi başlayacaktır ve bu toplayıcı yuva etrafındaki herhangi bir yiyecek kaynağı bilgisine sahip değildir. Şekil 2.16 da arıların yiyecek kaynağı aramaları sırasındaki davranışları verilmiştir.



Şekil 2.16 : Arıların yiyecek arama davranışları (Kıran ve diğ., 2009)

Bir arı için iki seçenek vardır. Birincisi şekil 2.16 daki K gibi kaşif arı olabilir ve içgüdüyle sezgisel olarak veya ipuçlarıyla yuva etrafındaki yiyecekleri kendiliğinden aramaya başlar. İkincisi şekil 2.16 daki D gibi boş olabilir ve sallanış dansını (waggle dance) izler ve yiyecek kaynağını aramaya başlar. Yiyecek kaynağı bulunduktan sonra arı kaynağın pozisyonunu hafızasına alır ve hemen nektar kaynağından yararlanmaya başlar. Bu yararlanmadan dolayı bu arı işçi arı olur. Toplanan nektar kovana götürülür ve depolanır. Depolama işleminden sonra arının takip edebileceği üç yol vardır. Şekil

2.16 daki V gibi mevcut kaynağı terk edip bağımsız hale gelebilir, aynı kaynağa dönmeden önce şekil 2.16 daki T1 gibi bilgi paylaşımında bulunabilir, bilgi paylaşımında bulunmadan şekil 2.16 daki T2 gibi kaynaktan nektar getirmeye devam edebilir. Son seçenek bir arı için sosyal davranış olarak görünmese de aslında kaynaktan nektar getiren yeteri kadar arı varsa geçerli bir yoldur. Kendini organizasyonun temel özellikleri arılarda aşağıdaki adımlara dayanır:

- i) Pozitif Geri besleme (Positive Feedback): Yiyecek kaynaklarındaki nektar miktarı gözcü arıların onları ziyaret sayısı ile gelişir.
- ii) Negatif Geri besleme (Negative Feedback): Bir yiyecek kaynağının araştırma süreci terk edildiğinde arılar durdurulur.
- iii) Dalgalanmalar (Fluctuations): Kaşifler, yeni yiyecek kaynaklarının keşfi için rastgele bir arama sürecini tamamlar.
- iv) Çoklu Etkileşim (Multiple Interactions): Arılar dans alanında yiyecek kaynağı pozisyonları hakkındaki bilgilerini paylaşırlar.

Arama süreci başında tüm arılar kovandadır ve arama süresince arılar direk olarak birbirleriyle haberleşebilirler. Her arı kendine ait bir veya daha fazla mümkün yolu oluştururken aynı zamanda genel arama sürecinin de bileşenlerini hazırlamaktadır. Arama süreci tekrarlardan oluşur. Birinci iterasyon, arılar bir veya daha fazla uygun çözümü oluşturduğunda sona erer. Bulunan en iyi çözüm birinci iterasyon esnasında kaydedilir ve ikinci çevrim başlar. İkinci çevrimde arılar adım adım çözüm yollarını oluşturur. Her çevrimin sonunda bir veya daha fazla kısmi çözüm vardır. İterasyonların toplam sayısını karar verici tayin eder.

Yapay arılar uçtuğunda ileri veya geriye geçiş işlemini gerçekleştirir. İleri geçiş esnasında arılar, geçmişten gelen kolektif deneyim ve bireysel inceleme ile çeşitli kısmi çözümler oluşturur. Bundan sonra geri geçiş işlemlerinde tüm arılar kovana döner ve karar-üretim sürecine katılır. Her arı diğer tüm arıların elde ettiği kaliteli çözümler hakkında bilgi sahibi olur. Bu yolla arılar oluşturulan kısmi çözümlerin kalitesi hakkında bilgi sahibi olurlar. Üretilen kısmi çözümlerin kalitesine dayanarak kendi kısmi çözümünü terk etmeye veya terk etmemeye karar verir. Terk ederse bağımsız bir izleyici olur, terk etmezse kovandan işçi arı almaksızın kendi çözümüne geliştirmeye devam eder veya dans ederek kendi kısmi çözümüne dönmeden önce işçi arı alır.

Üretilen kısmi çözümlerin kalitesine bağlı olarak her arı kesinlikle önceki kısmi çözüme bir sadakati vardır. İkinci ileri geçişte önceki oluşturulan kısmi çözümü geliştirmeye çalışır ve sonra tekrar geri geçiş gerçekleştirilir ve kovana dolunur. Kovanda arılar bilgi değişimi ve karar-üretim sürecine katılır, ucuncu ileri geçiş gerçekleştirilir. İterasyon bir veya daha fazla uygun çözüm oluşturulduğunda bitirilir.(Chong ve Low, 2006)

2.10. NEWTON RAPHSON METODU

Bu metod ile bilinmeyenler için başlangıç değerleri tahmin edilir, Taylor seri açılımı kullanılarak iterasyon ile çözüme ulaşılmaya çalışılır. Bu metodu yük akışı problemi çözümünde uygulamak için, n baralı güç sistemindeki herhangi bir i barasına akan kompleks güç denklem 2.29 ve 2.30 eşitliklerindeki gibi ifade edilebilir.

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \cos(Q_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.29)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i||V_j||Y_{ij}| \sin(Q_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.30)$$

1 numaralı bara salınım barası seçilip, 2. ve daha sonraki terimleri ihmal edilirse, denklem 2.29 ve 2.30 eşitlikleri Taylor serisine açıldığında denklem 2.31 eşitliği yazılabilir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P_{2^{(k)}} \\ \vdots \\ \Delta P_{n^{(k)}} \\ \Delta Q_{2^{(k)}} \\ \vdots \\ \Delta Q_{n^{(k)}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{2^{(k)}}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_{2^{(k)}}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_{n^{(k)}}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_{n^{(k)}}}{\partial \delta_n} \\ \frac{\partial Q_{2^{(k)}}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_{2^{(k)}}}{\partial \delta_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n^{(k)}}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_{n^{(k)}}}{\partial \delta_n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{\partial P_{2^{(k)}}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_{2^{(k)}}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_{n^{(k)}}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_{n^{(k)}}}{\partial |V_n|} \\ \frac{\partial Q_{2^{(k)}}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_{2^{(k)}}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_{n^{(k)}}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_{n^{(k)}}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_{2^{(k)}} \\ \vdots \\ \Delta \delta_{n^{(k)}} \\ \Delta |V_{2^{(k)}}| \\ \vdots \\ \Delta |V_{n^{(k)}}| \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Denklem 2.31 kısaca denklem 2.32 deki gibi ifade edilebilir.

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \dots \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & \vdots & J_2 \\ \dots & \dots & \dots \\ J_3 & \vdots & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \vdots \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Burada Jakobien matrisinin J_1 , J_2 , J_3 ve J_4 ' ün elemanları denklem 2.29 ve 2.30 da gösterilen aktif ve reaktif güçlerin $\Delta \delta_i^{(k)}$ ve $\Delta |V_i^{(k)}|$ da hesaplanan kısmi türevleridir.

Newton Raphson metodu ile yük akışı problemi aşağıdaki adımlar takip edilerek çözülür.

1) Denklem 2.29 ve 2.30 $P_i^{(k)}$ ve $Q_i^{(k)}$ k. iterasyon için hesaplanır. İterasyona sıfırdan başlanır, gerilim ve faz açılarının başlangıç değerleri kullanılır. Daha sonraki iterasyonlarda en son gerilim ve açı değerleri kullanılır.

2) Denklem 2.33 ve 2.34 de verilen eşitlikler kullanılarak $\Delta P_i^{(k)}$ hesaplanır.

$$\Delta P_i(k) = P_i^{(\text{verilen})} - P_i^{(k)} \quad (2.33)$$

$$\Delta Q_i(k) = Q_i^{(\text{verilen})} - Q_i^{(k)} \quad (2.34)$$

3) Jakobien matrisi hesaplanır.

4) Jakobien matrisinin tersi alınarak $\Delta \delta_i^{(k)}$ ve $\Delta |V_i^{(k)}|$ hesaplanır.

5) $\delta_i^{(k)}$ ve $|V_i^{(k)}|$ ' nin yeni değerleri aşağıdaki eşitliklerden bulunur.

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta \delta_i^{(k)} \quad (2.35)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.36)$$

ΔP ve ΔQ ile $\Delta \delta$ ve $\Delta |V|$ için verilen limitlere ulaşıncaya kadar iterasyon devam eder. Salınım barasındaki P ve Q ile generatör baralarındaki Q denklem 2.29 ve 2.30 yardımı ile bulunur. Bulunan değerler denklem 2.11 de yerine koyulduğunda aktif güç kayıplarına ulaşılabilir (Chousein 2006).

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu tez çalışmasında RGO problemi yapay arı kolonisi algoritması ile çözülmüştür. Bu algoritma Karaboğa'nın gerçek arı hareketlerini incelemesiyle ortaya çıkmıştır. Sürü davranışlarını inceleyen bu sezgisel yöntem bölüm 3.1 de açıklanmıştır.

3.1. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Yapay Arı Kolonisi (YAK) algoritması Karaboğa (2005) tarafından literatüre eklenmiştir. Algoritmanın orijinal MATLAB kodları Ek-A da verilmiştir. YAK algoritması gerçek arıların nektar kaynağı bulmaları ve bu kaynağın miktarını kovadaki diğer arılarla paylaşmaları sırasında sergiledikleri davranışlar gözlenerek geliştirilmiştir (Karaboğa ve Baştürk, 2007a). Arı kolonilerinin kovan etrafında dolaşarak birbirlerine bilgi aktarmaları sürü zekasına temel teşkil eden bir davranıştır. Bu algortmada işçi, gözcü ve kaşif olarak isimlendirilen üç tip arı bulunmaktadır. Her bir tip optimizasyon sürecinde farklı bir rol oynar. İşçi arılar besin kaynağı üzerinde kalır ve bu kaynağa komşu kaynakları hafızaya alır. Gözcü arılar bu bilgileri işçi arıların dans bölgelerindeki yaptıkları dansdan alır ve nektar toplamak için rulet tekerleği prensibine göre kaynak seçimi yapar. Kaşif arı ise yeni yiyecek kaynağı bulmak ile sorumludur. Algoritma temel olarak üç adımdan oluşur. Birinci adımda işçi arılar kaynaklara gönderilir ve nektar miktarı hesaplanır. İkinci adımda gözcü arılar işçi arılardan aldıkları bilgilere göre kaynak seçimi yapar ve nektar miktarı hesaplanır. Üçüncü adımda işçi arılardan biri kaşif arı olarak yeni kaynaklar bulmak için rastgele gönderilir.(Karaboğa ve Baştürk, 2007b)

Algoritmada kolonideki arıların yarısı işçi diğer yarısı ise gözcü arı olarak seçilmiştir. Her bir nektar kaynağı için bir işçi arı bulunmaktadır. Dolayısı ile işçi arıları sayısı nektar kaynağı sayısına eşittir (Karaboğa ve Baştürk, 2007a).

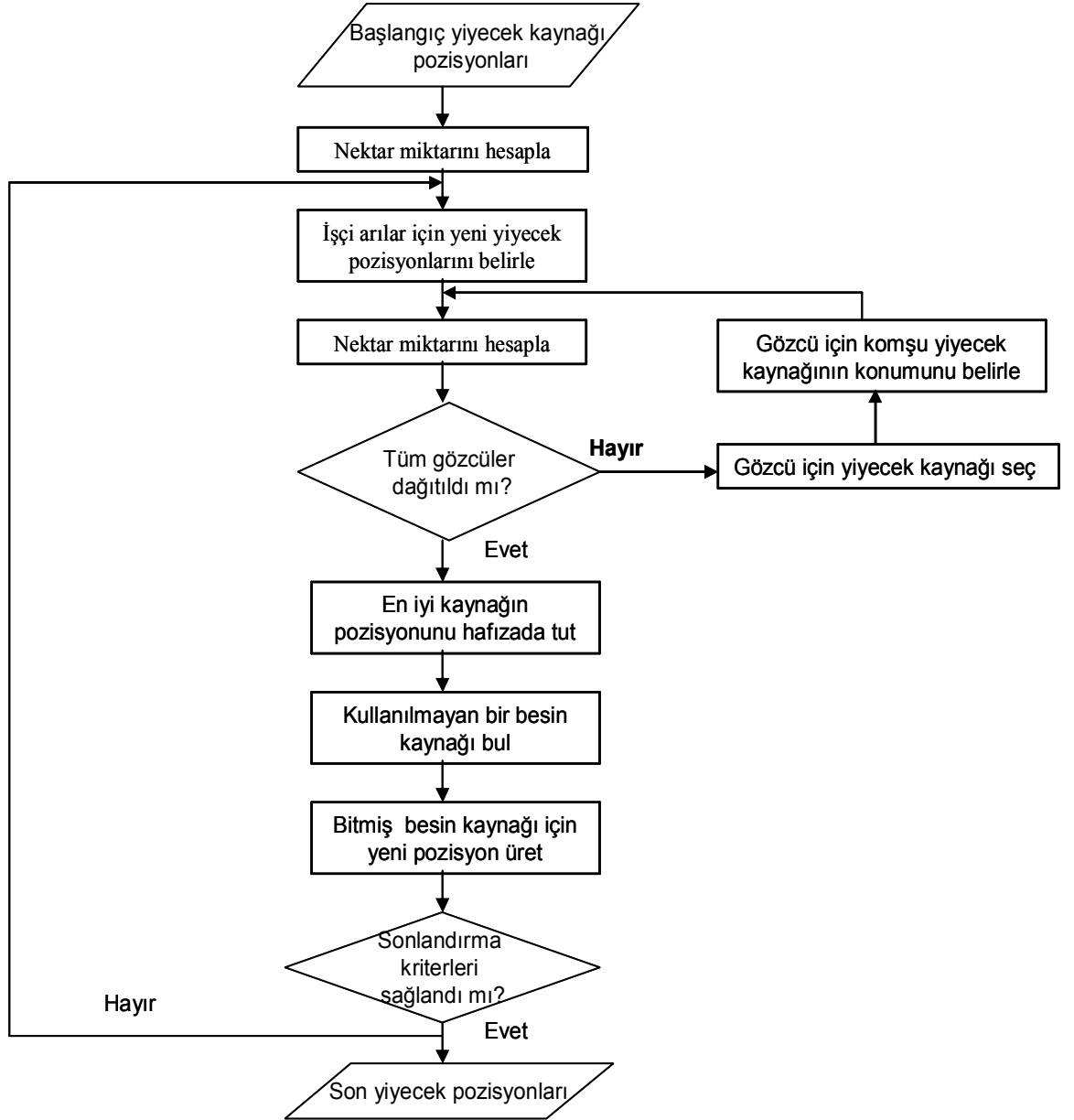
Algoritmada yiyecek kaynakları optimize edilmeye çalışılan problemin olası çözümlerine karşılık gelmektedir. Bir kaynağa ait nektar miktarı, o kaynakla ifade edilen çözümün kalite değerini ifade etmektedir (Karaboğa ve Baştürk, 2008)

Algoritmanın ilk adımında değişken aralıklarında rastgele çözümler üretilmektedir $x_i (i=1, \dots, S)$. Bu adımda işçi arılar kaynaklara rastgele gönderilmiştir. S nektar kaynağı sayısını ifade etmektedir. Algoritmanın ikinci adımında her işçi arı toplam kaynak sayısına eşit sayıda yeni kaynak bulmaktadır. Yeni kaynak bulmada denklem 3.1 kullanılmaktadır. Gözcü arılar denklem 3.2 deki olasılıkla işçi arıların getirdikleri bilgilere dayanarak bir besin kaynağı seçer. Algoritmanın akış diyagramı şekil 3.1 de verilmiştir.

$$v_{ij} = x_{ij} + \phi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (3.1)$$

Denklem 3.1 de $k = (\text{int}(\text{rand} * S) + 1)$ ifade etmektedir ve $j=1, \dots, D$ dir. v_i vektörü üretildikten sonra, x_i vektöründeki çözümlerle karşılaştırılır ve iyi olan kaynağı kullanır. ϕ_{ij} $[-1,1]$ aralığında rastgele bir sayıyı ifade eder. Üçüncü adımda işçi arılardan biri kaşif arı olarak daha önce kaynak miktarı hesaplanmamış kaynaklar bulmak için rastgele gönderilir. (Singh, 2009)

$$P_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad (3.2)$$



Şekil 3.1: YAK algoritması akış diyagramı (Karaboğa, 2009)

Her kolonide rastgele araştırma yapan kaşif arılar bulunmaktadır. Bu arılar yiyecek ararken herhangi bir ön bilgi kullanmamakta, tamamen rastgele araştırma yapmaktadır (Karaboğa ve Baştürk, 2008). Kaşif arılar işçi arıların arasından seçilmektedir. Bu seçim limit parametresine bağlı olarak yapılmaktadır. Bir kaynağı ifade eden çözüm belli sayıdaki (limit parametresi kadar) deneme ile geliştirilememişse bu kaynak terk edilir. Bu kaynağa gelip giden arı da kaşif arı olarak yeni nektar kaynağı aramaya gider. İşçi arının kaynağa gelip gitme sayısı 'limit' parametresi ile belirlenir. Kaşif arının yeni bir kaynak bulması denklem 3.3 de verilmektedir.

$$x_{ij} = x_j^{\min} + (x_j^{\max} - x_j^{\min}) * rand \quad (3.3)$$

x_j^{\min} , j parametresinin alt limiti, x_j^{\max} , j parametresinin üst limiti, rand 0-1 arasında rastgele üretilen sayıyı ifade etmektedir.

YAK'de işçi ve gözcü arılar keşfedilen kaynaktan faydalanma işleminde, kaşif arılar ise keşif işleminde görev alır. Arılar birim zamanda yuvaya getirilen yiyecek miktarını (E/T) belirten enerji fonksiyonunu maksimize etmek için çalışırlar. Bir maksimizasyon probleminde de amaç fonksiyonunun $F(\theta_i)$, $\theta_i \in R^p$, maksimize edilmesi işlemi gerçekleşir. θ_i , i . kaynağın pozisyonu olmak üzere $F(\theta_i)$ bu pozisyonun nektar miktarına karşılık gelir ve $E(\theta_i)$ ile orantılıdır $P(c) = \{\theta_i(c) | i = 1, 2, \dots, S\}$ tüm kaynakların pozisyon bilgilerini içeren nektar kaynağı popülasyonudur. Gözcü arıların bir kaynağı seçmeleri $F(\theta)$ değerine bağlıdır. Kaynağın nektar miktarı ne kadar fazla olursa, bu kaynağı bir gözcü arı tarafından seçilme olasılığı o kadar fazla olmaktadır. Yani θ_i pozisyonundaki bir kaynağı seçme olasılığı şu şekildedir:

$$P_i = \frac{F(\theta_i)}{\sum_{k=1}^S F(\theta_k)} \quad (3.4)$$

Gözcü arı, işçi arıların dansını izledikten ve (3.4) eşitliğindeki olasılık değeri ile θ_i konumundaki kaynağı seçtikten sonra, bu kaynağın komşuluğunda bir kaynak belirler ve kaynağın nektarını almaya başlar. Seçilen komşuya ait pozisyon bilgisi şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\theta_i(c+1) = \theta_i(c) \pm \phi(c)$$

$\phi(c)$, k i' den farklı rastgele üretilen popülasyondaki bir çözüme ait indis olmak üzere $\theta_i(c)$ ve $\theta_k(c)$ çözümlerinin bazı bölümlerinin farkının alınması ile hesaplanır. $\theta_i(c+1)$ 'e ait nektar miktarı $F(\theta_i(c+1))$, $\theta_i(c)$ konumundaki kaynağa ait nektar miktarından daha fazla ise arı kovana giderek bu bilgisini diğerleri ile paylaşır ve yeni pozisyon olarak $\theta_i(c+1)$ aklında tutar, aksi durumda $\theta_i(c)$ yi hafızasında saklamaya devam eder. θ_i konumundaki nektar kaynağı "limit" parametresi sayısınca gelişmemiş

ise θ_i deki kaynak terk edilir ve o kaynağın arısı kaşif arı haline gelir. Kaşif arı rastgele araştırma yapar ve yeni bir kaynak bulur. Bulunan yeni kaynak θ_i ye atanır.

Algoritma çevrim sayısı kadar devam eder. Hafızada tutulan en iyi nektara sahip kaynaklar değişkenlerimizin olası değerlerini ifade eder. Elde edilen nektar miktarı ise amaç fonksiyonumuzun çözümünü ifade eder. (Karaboğa ve Baştürk,2008)

3.1.1. YAK Algoritması İle Örnek Problem Çözümü

Örnek problem olarak 2.11 de verilen denklem ele alınmıştır. Amaç fonksiyonumuzdaki değişken sayısı 5, algoritmanın çevrim sayısı 10 olarak alınmıştır. Kolonideki toplam arı sayısının seçiminde dikkat edilmesi gereken husus koloni boyutunun değişken sayısının iki katı olmasıdır. Çünkü koloninin yarısı işçi arı olacaktır ve bu arıların sayısının değişken sayısına eşit olması gerekmektedir.

Algoritmanın ilk aşamasında arı sayısı kadar bir koloni rastgele olarak oluşturulur. Bu koloni çizelge 3.1 de verilmiştir. Çizelgeden görülebileceği koloninin yarısı işçi diğer yarısı gözcü arıları temsil etmektedir.

Çizelge 3.1: Rastgele oluşturulan ilk koloni

İşçi Arılar					Gözcü Arılar				
1.121	1.145	1.118	1.106	1.144	1.117	1.140	1.101	1.110	1.139
1.058	1.071	1.060	1.019	1.061	0.922	1.072	1.008	0.993	1.078
1.071	0.988	1.080	0.924	0.996	1.042	1.063	1.102	1.096	0.957
0.014	0.038	0.020	0.005	0.049	0.015	0.041	0.010	0.017	0.022
0.022	0.029	0.008	0.048	0.034	0.026	0.006	0.008	0.029	0.018

İlk koloninin oluşturulmasında işçi arılar nektarlara yerleşirler ve her bir nektardaki nektar miktarlarını hafızalarında tutarlar. İşçi arılar her bir çevrimde hafızadaki nektar miktarlarını ve kaynakların pozisyon bilgilerini dans bölgesindeki gözcü arılara aktarırlar. İşçi arı daha iyi nektar miktarına sahip yeni bir kaynak bulduğunda hafızadaki bilgisinin yerine yeni kaynağın nektar miktarını hafızaya alır. İşçi arının hafızasındaki bilginin değişimi 9. ve 10. çevrimler için çizelge 3.2 ve çizelge 3.3 de örneklendirilmiştir.

Çizelge 3.2: Hafızadaki bilginin çevrimlerdeki değişimi

9. Çevrim				
1,121	1,132	1,118	1,106	1,117
1,057	1,061	1,059	1,019	1,061
1,071	0,988	1,028	0,924	0,992
0,022	0,050	0,049	0	0,050
0,014	0,046	0,045	0,048	0,034

Çizelge 3.3: Hafızadaki bilginin çevrimlerdeki değişimi

10. Çevrim				
1,124	1,132	1,118	1,106	1,117
1,057	1,027	1,059	1,019	1,061
1,071	0,988	1,028	0,924	0,992
0,022	0,050	0,049	0	0,006
0,014	0,046	0,045	0,048	0,034

Çizelge 3.2 de 2. ve 5. arıların hafızalarındaki nektar kaynağı pozisyon bilgisinin çizelge 3.3 de değişimi görülmektedir. Bu iki arı 10. çevrimde 9. çevrimdeki nektar miktarından daha iyi kaynağa sahip bir nektarla karşılaştıkları için hafızalarındaki pozisyon bilgilerini değiştirmişlerdir. Burada nektar kaynağı pozisyonları problemimizin değişkenlerini ifade etmektedir.

Maksimum çevrim tamamlandığında pozisyonları bilinen kaynaklar için nektar miktarı hesaplanır. Hesaplanan nektar miktarı problemimizin sonucunu ifade etmektedir. Örnek problemimiz bir minimizasyon problemidir. Dolayısıyla fonksiyon sonucu minimum olan değer bizim için en iyi değeri ifade eder. Çizelge 3.4 de çevrim sayılarına göre nektar miktarının değişimi verilmiştir. 10. çevrimdeki sonuç en iyi sonucumuzdur ve çizelge 3.3 de verilen 10. çevrimde birinci arının bulunduğu pozisyonlar ile elde edilmiştir.

Çizelge 3.4: Çevrimlerdeki nektar miktarı değişimi

Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim	Çevrim
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
14.227	13.927	13.927	13.927	13.870	13.844	13.824	13.726	13.726	13.726

İşçi arılar her bir çevrimde gittikleri kaynakların nektar miktarını gözcü arılara aktarmışlardır. Pozisyonların komşularındaki nektarlar gözcü arılar tarafından denklem 3.4 e göre seçilmektedir. Belirlenen kaynağın etrafında daha iyi bir nektar bulmak için işçi arılar limit parametresi kadar komşu kaynağa gidip nektar miktarlarına bakmışlardır. Eğer yeni buldukları kaynaklar ilkinden daha iyi ise ilk kaynağın nektar miktarını unutup yeni buldukları kaynağı diğer çevrim için merkez kabul etmektedirler. Eğer daha iyi bir sonuç bulunamazsa işçi arılardan biri kaşif arı olmakta ve yeni kaynak aramaktadır.

4. BULGULAR

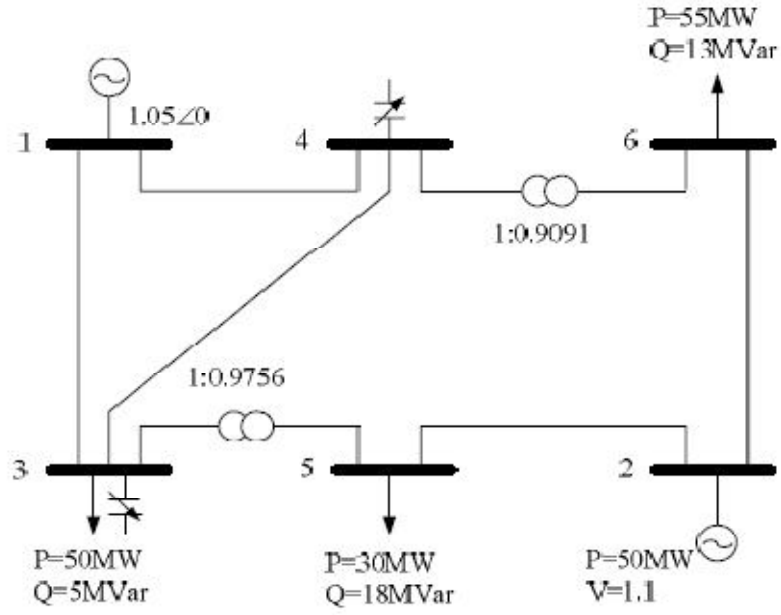
Bu çalışmada reaktif güç optimasyonu, yapay arı kolonisi algoritması ile çözülmüştür. Çalışmada problem iki farklı açıdan çözülmüştür. İlk olarak 6 baralı test sistemi ve IEEE-30 baralı sistemi aktif güç kayıplarının minimize edilmesi açısından incelenmiştir. Diğer bir bölümde ise 10 baralı test sistemi üzerinde çok amaçlı olarak RGO uygulanmıştır.

4.1. YAK ALGORİTMASI İLE AKTİF GÜÇ KAYIPLARI İÇİN RGO

4.1.1. 6 Baralı Test Sistemi İçin RGO

Bu bölümde 6 baralı sistemin aktif güç kayıpları YAK algoritması ile minimize edilmiştir. Kısıtlar dahilinde generatörün gerilimi, kademe değiştiren trafo kademe değeri ve ayarlanabilir VAr kaynağının optimum değerleri bulunmuştur.

Kullanılan test sistemi şekil 4.1 de verilmiştir. Sistemde 1. bara salınım barası, 2. bara generatör (PV) barası, 3-6. baralar ise yük (PQ) barasıdır. 3. ve 4. baralara reaktif güç kaynağı bağlanmıştır. Ayrıca 3-5 ve 4-6 baraları arasında kademe değiştirebilen transtomatörler mevcuttur. Çizelge 4.1 de sistemin hat bilgileri ve Çizelge 4.2 de değişkenlerin alt ve üst limitleri verilmiştir.



Şekil 4.1: 6 baralı test sistemi bağlantı şeması

Çizelge 4.1: 6 Baralı Sistem Hat Bilgileri(100 MVA Baz Alınmıştır)

Hat Numarası	Bara Numarası		Empedans(pu)		Kademe Oranı
			R	X	
1	1	3	0.123	0.518	
2	1	4	0.080	0.370	
3	4	3	0.097	0.407	
4	3	5	0.000	0.003	0.9756
5	5	2	0.282	0.640	
6	2	6	0.723	1.050	
7	4	6	0.000	0.133	0.9091

Çizelge 4.2: RGO Değişken Limitleri

	Tap (Kademe Oranı)		Gerilim(pu)	Reaktif Güç Kaynağı(MVAR)	
	T_{35}	T_{46}	Generator	Kapasitör	
			V2	Q3	Q4
min	0.91	0.91	1.10	0	0
max	1.11	1.11	1.15	5	5.5

Denklem 2.11 de verilen aktif güç kaybı problemimizin amaç fonksiyonunu oluşturmaktadır. Dolayısı ile algoritmamızda arıların hesapladıkları nektar miktarına karşılık gelmektedir. Denklem 2.23 ve 2.24 de verilen aktif ve reaktif güç dengeleri eşitlik kısıtlarımızı oluşturmaktadır. Denklem 2.25, 2.26, 2.27 ve 2.28 de bulunan denklemler ise eşitsizlik kısıtlarımızdır. Eşitsizlik kısıtlarımızdan generatörün gerilimi, kademe değiştiren trafo kademe değeri ve ayarlanabilir VAr kaynağı aynı zamanda değişkenlerimizdir. Değişken değerleri algortmada nektar kaynağı pozisyonlarına karşılık geldiğinden aslında arıların ulaşabilecekleri kaynakları kısıtlamış olmaktadır. Arılar kısıtlar çerçevesinde arama yapmaktadır.

Algortmada kendine özgü bazı değişkenler bulunmaktadır. Bunlar koloni sayısı, maksimum çevrim sayısı ve limit parametresi olarak ifade edilebilir.

6 baralı sistem için algortmadaki değiştirilmesi mümkün olan bu değerlere şu şekilde değerler verilerek problem optimize edilmiştir;

Koloni Boyutu: 20

Maksimum Çevrim Sayısı: 500

Limit Parametresi: 3000

Algortma bölüm 3 de anlatıldığı gibi çalıştırılmış ve çizelge 4.3 de çevrim sayısı ile değişken değerlerinin ve aktif güç kaybı değerlerinin değişimi verilmiştir.

Çizelge 4.3: 6 Baralı Sistemin Çevrim Sayılarına Göre Değişken ve Aktif Güç Kaybı Değişimi

Çevrim Sayısı	V2	T_{35}	T_{46}	Q3	Q4	$P_{loss}(MW)$
1	1.1204	1.0517	1.0083	0.0228	0.0546	27.5216
20	1.1139	1.0562	0.9890	0.0228	0.0546	18.1606
50	1.1000	1.0590	0.9607	0.0500	0.0419	11.8434
100	1.1000	1.0590	0.9607	0.0500	0.0422	11.8283
280	1.1000	0.9450	0.9607	0.0500	0.0422	11.0811
300	1.1000	0.9450	0.9452	0.0500	0.0482	8.95026
380	1.1000	0.9450	0.9209	0.0465	0.0520	8.62034
.
.
.
500	1.1000	0.9450	0.9209	0.0465	0.0520	8.62034

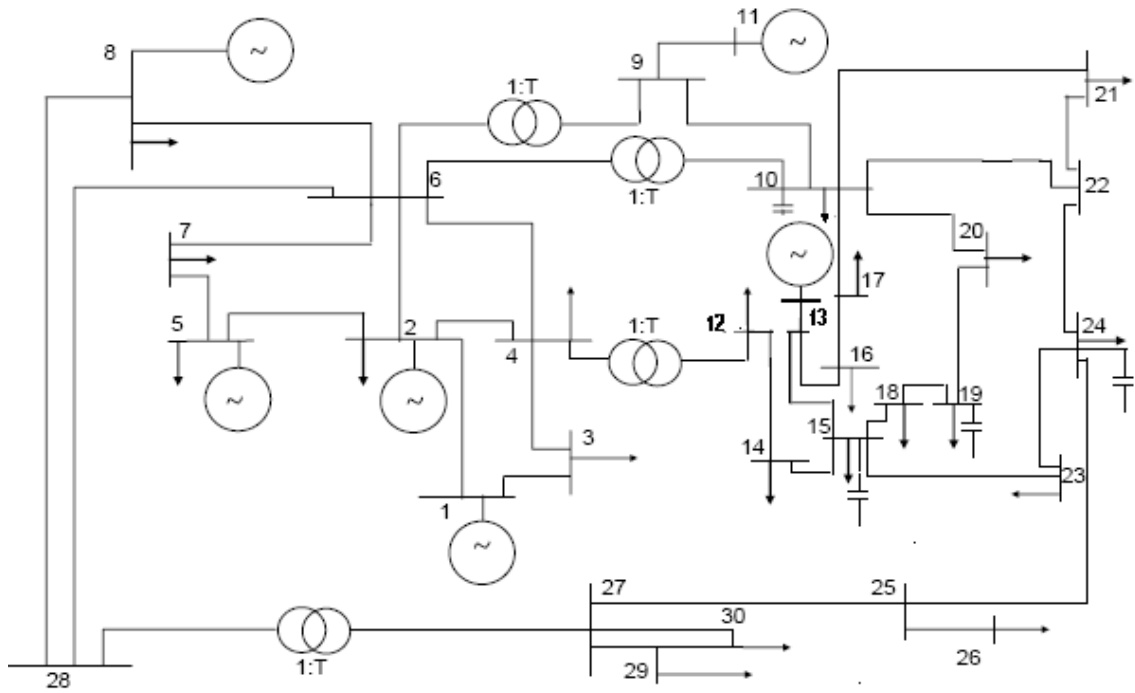
Optimizasyon problemimizin amaç fonksiyonu olan aktif güç kaybı optimizasyon yöntemi kullanılmadan da çözülmüştür. Çizelge 4.4 de YAK algoritması ve klasik yöntem sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.4: 6 Baralı Sistem Sonuçların Karşılaştırılması ($S_B = 100MVA$)

Yöntem	V2(pu)	T_{35} (pu)	T_{46} (pu)	Q3(pu)	Q4(pu)	P_{loss} (MW)
YAK	1.1	0.945	0.9209	0.0465	0.052	8.6203
Klasik	1.125	1.01	1.01	0.025	0.275	10.250

4.1.2. IEEE 30 Baralı Sistemi İçin RGO

Şekil 4.3 de şeması verilen IEEE' nin 30 baralı sistemi için RGO gerçekleştirilmiştir. Sistemde 6 generatör barası (1,2,5,8,11,13), 4 kademe değiştiren transformatör (T_{4-12} , T_{6-9} , T_{6-10} , T_{27-28}) ve 4 barada kompanzator bulunmaktadır (Q_{C10} , Q_{C15} , Q_{C19} , Q_{C24}). Sistemin bara, hat ve generatör verileri EK-B de verilmiştir. Kontrol değişkenlerinin limit değerleri ise çizelge 4.5 de verilmiştir.



Şekil 4.2: IEEE 30 Baralı Test Sistemi Bağlantı Şeması

Sistem 6 baralı sistemin optimizasyonunda anlatıldığı gibi çözülmektedir. YAK algoritma değerleride 4.1.1 de verilen değerlerle aynı seçilmiştir. Sistemin optimizasyon sonuçları çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.5: IEEE 30 Baralı Sistem Kontrol Değişken Limitleri

	Değişkenler	Minimum	Maksimum
Generatör Gerilim Limitleri (pu)	V_1	1	1.1
	V_2	1	1.1
	V_5	1	1.1
	V_8	1	1.1
	V_{11}	1	1.1
	V_{13}	1	1.1
Transformatör Kademe Ayar Sınırı	T_{4-12}	0.9	1.1
	T_{6-9}	0.9	1.1
	T_{6-10}	0.9	1.1
	T_{27-28}	0.9	1.1
Kompanzator Reaktif Güç Limitleri (pu)	Q_{C10}	0	0.05
	Q_{C15}	0	0.05
	Q_{C19}	0	0.05
	Q_{C24}	0	0.05

Çizelge 4.6: IEEE 30 baralı sistemin değişken değerleri ve aktif güç kaybı

V_1	1.1	T_{4-12}	1.008	Q_{C10}	0.024
V_2	1.0236	T_{6-9}	1.0179	Q_{C15}	0.0408
V_5	1.0828	T_{6-10}	1.036	Q_{C19}	0.0121
V_8	1.0251	T_{27-28}	1.0249	Q_{C24}	0.0257
V_{11}	1.0336				
V_{13}	1.0206				
			P_{loss}	4.8369 (MW)	

4.2. YAK ALGORİTMASI İLE ÇOK AMAÇLI RGO

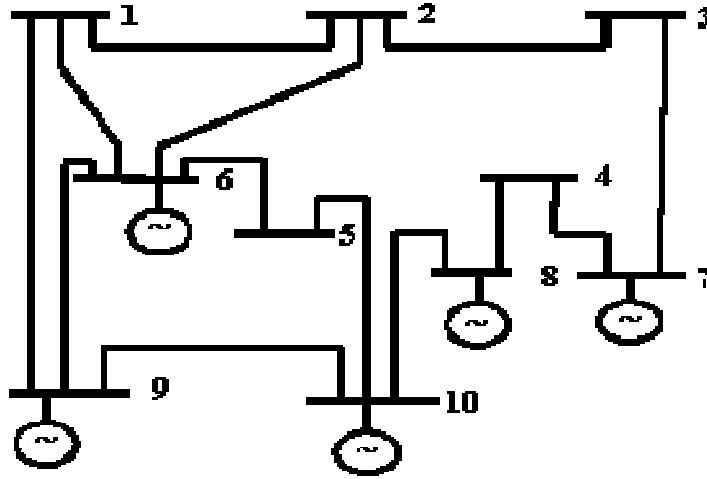
Bölüm 2.6.1 de açıklanan amaç fonksiyonları RGO' nun farklı açılardan ele alınmasına sebep olmuştur. Temel fonksiyonun aktif güç kaybını veren fonksiyon olmasına rağmen son zamanlarda yapılan çalışmalarda RGO gerilim profili ve reaktif güç kaynak maliyeti açısından da incelenmektedir.

Gerilim profili bara geriliminin nominal gerilim ile arasındaki salınımı minimize edeceğinden baradan aktarılan reaktif güç azalacaktır ve hattın akımı azalacaktır dolayısı ile dolaylı olarak aktif güç kaybının azalmasına katkı sağlayacaktır.

Aktif güç kayıplarının azaltılmasında baralara bağlanan reaktif güç kaynaklarının etkisi büyüktür. Fakat bu kaynaklarında kurulum ve ekstra ekipman maliyeti, anahtarlama ve kesici gibi cihazların maliyeti olayın farklı bir boyutunun da düşünülmesine neden olmuştur. Bu nedenle maliyet fonksiyonları RGO' da kullanılmaktadır.

Bu bölümde 10 baralı bir sistem için 3 amaç fonksiyonu kullanılarak durumun değerlendirilmesi genişletilmiştir. 10 baralı sistemin bağlantı şeması şekil 4.5 de verilmiştir. Sistemin hat ve bara verileri ise çizelge 4.7 ve 4.8 de mevcuttur.

Sistemdeki tüm yük baralarında reaktif güç kaynağı bulunmaktadır. Sistemde bulunan reaktif güç kaynaklarının maliyetleri ve baraların referans gerilimleri çizelge 4.8 da verilmiştir. Optimizasyon sonuçlarında üç fonksiyonun optimum olduğu durumdaki değişken değerleri ve amaç fonksiyonlarının sonuçları çizelge 4.9 de verilmiştir.



Şekil 4.3: 10 Baralı Sistem Bağlantı Şeması

Çizelge 4.7: 10 Baralı Sistem Hat Verileri

Hat Numarası	Bağlı olduğu hat	Empedans (p.u.)
1	1-2	$0.02 + j0.08$
2	1-6	$0.06 + j0.24$
3	1-9	$0.04 + j0.16$
4	2-3	$0.06 + j0.24$
5	2-6	$0.06 + j0.24$
6	3-7	$0.06 + j0.24$
7	4-7	$0.04 + j0.16$
8	4-8	$0.06 + j0.24$
9	5-6	$0.04 + j0.16$
10	5-10	$0.06 + j0.24$
11	6-9	$0.01 + j0.04$
12	8-10	$0.04 + j0.16$
13	8-10	$0.08 + j0.32$

Çizelge 4.8: 10 Baralı Sistem Bara Verileri

Bara	Tip	Aktif Güç (p.u)	Reaktif Güç (p.u)	Gerilim(p.u)
1	P-Q	0.20	0.097	-
2	P-Q	0.30	0.145	-
3	P-Q	0.20	0.097	-
4	P-Q	0.30	0.145	-
5	P-Q	0.20	0.097	-
6	P-V	0.30	0.145	1.00
7	P-V	0.15	0.0726	1.00
8	P-V	0.20	0.097	1.00
9	P-V	0.20	0.097	1.00
10	Salınım	0.20	0.097	1.05

Çizelge 4.9: Var kaynağı maliyeti ve yük baralarının referans (nominal) gerilimi

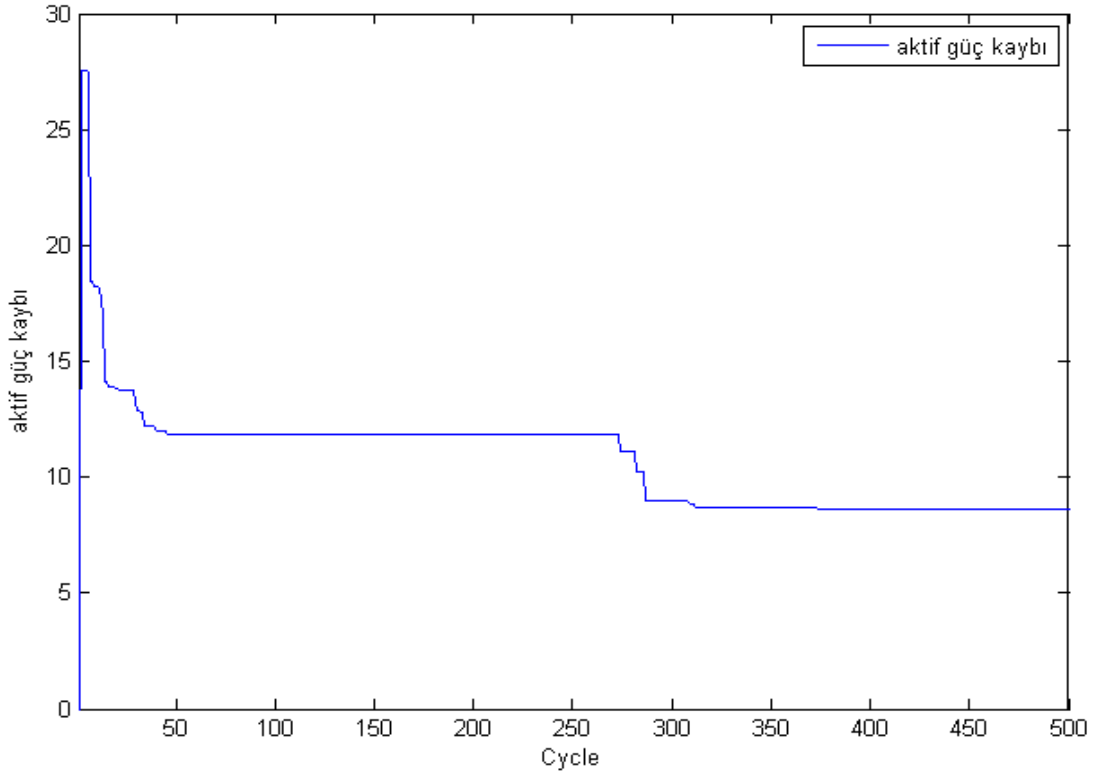
Bara	C_{fi} (\$)	C_{gi} (\$/MVar)	V_i^{ref} (pu)
1	1771.59	5314.8	1
2	1771.59	5314.8	1
3	1771.59	5314.8	1
4	1771.59	5314.8	1
5	1771.59	5314.8	1

Çizelge 4.10: Değişken değerleri ve amaç fonksiyonu sonuçları

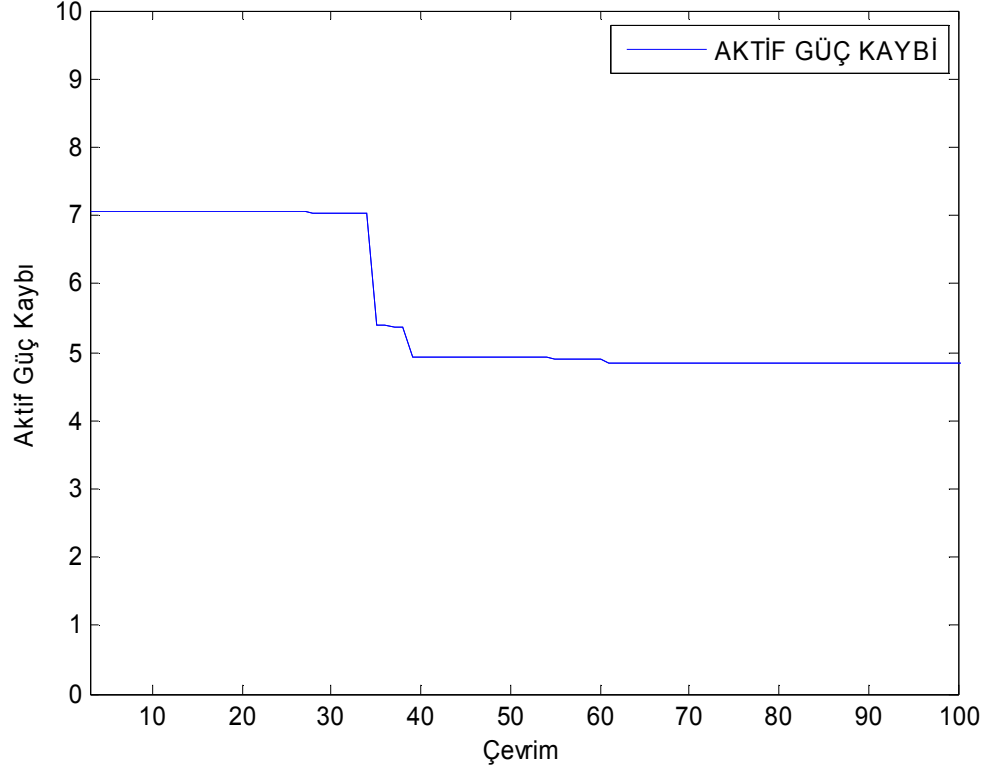
Aktif Güç Kayıpları(pu)	0.1235		
Maliyet(\$)	1.2115 10 ⁴		
Gerilim Sapması(pu)	0.00223		
Bara	V_i (pu)	Q_i (pu)	
1	0.9545	0.0908	
2	0.9041	0.0968	
3	0.9525	0.1323	
4	0.9076	0.1508	
5	0.9828	0.1419	

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu tez çalışmasında RGO yeni sezgisel yöntemlerden olan YAK algoritması ile gerçekleştirilmiştir. RGO iki farklı açıdan ele alınmış ve örnek test sistemleri üzerlerinde uygulanmıştır. Birinci fonksiyonda amaç RGO' nun temel amacı olan aktif güç kayıplarının minimizasyonudur. Bu amaç doğrultusunda 6 baralı sistem ve 30 baralı sistem ele alınmıştır. Şekil 5.1 de 6 ve 5.2 de 30 baralı sistemlerin çevrim sayısına göre aktif güç değişimleri verilmiştir.



Şekil 5.1: 6 Baralı sistemin aktif güç kaybının çevrim sayısı ile değişimi



Şekil 5.2: 30 Baralı sistemin aktif güç kaybının çevrim sayısı ile değişimi

Çizelge 5.1 de 6 baralı sistemin klasik güç akışı (Newton Raphson) yöntemi ile ve 30 baralı sistemin standart GA, standart PSO ve adaptif PSO (APSO) gibi sezgisel yöntemlerle(Li ve diğ, 2006) ve fuzzy lojik kontrollü PSO ile karşılaştırılması aktif güç kayıp minimizasyonu açısından yapılmıştır(Zhang ve Liu, 2005).

Çizelge 5.1: YAK Algoritmasının Literatürdeki Bazı Sonuçlarla Karşılaştırılması

6 Baralı Sistem		30 baralı Sistem				
YAK	Klasik	YAK	GA	PSO	APSO	FLCPSO
8.6203	10.250	4.8369	4.9800	4.9262	4.8951	4.8900

Çizelgeden görülebileceği gibi 6 baralı sistemde YAK algoritması kullanarak 8.6203 MW olan aktif güç kaybı klasik yöntemle 10.250 MW bulunmuştur. YAK algoritması ile 1.6297 MW'lık aktif güç tasarrufu sağlanabilir. Sistemimiz verilen şartlarda çalıştırılırsa yıllık $24 \times 365 \times 1.6297 = 14276.172$ MW'lık bir tasarruf sağlanmış olur. Sezgisel yöntemlerin klasik yöntemlerden daha iyi sonuçlara ulaşabildiği yapılan

çalışmalarla kanıtlanmıştır. 30 baralı sistemde sonuçlar sezgisel yöntemlerle kıyaslanmasına rağmen daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Benzer bir hesaplama bu karşılaştırma farkları içinde uygulanırsa ciddi güç tasarrufu sağlanabilir.

Problemin daha ayrıntılı incelenmesiyle amaç fonksiyonuna dahil olan gerilim sapmaları ve VAr kaynağı maliyet fonksiyonu çok amaçlı RGO problemini ortaya çıkarmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalarda RGO çok amaçlı olarak incelenmiştir. Çizelge 5.2 de 10 baralı test sisteminin çok amaçlı RGO sonuçları Aribia ve Abdallah (2007)' ın sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Yazarlar fonksiyonu 3 fonksiyon için ayrı ayrı minimize etmişlerdir. Çalışmalarında Pareto Gücü Geliştirilmiş Evrimsel Algoritmayı kullanmışlardır.

Çizelge 5.2: Çok Amaçlı RGO Sonuçlarının Karşılaştırılması

	YAK	SPEA2 ₁	SPEA2 ₂	SPEA2 ₃
P_{loss} MW	123.66	129.6	124.7	125.9
V_{dev} (pu)	0.00278	0.00324	0.000578	0.0000326
I_c (\$)	8918.44	9093.9	13435	13013

Çizelgeden de görülebileceği gibi üç amaç fonksiyonundan ikisi üç durum içinde daha iyi sonuçlar vermiştir. Gerilim sapması sonuçlarında ise minimum maliyet fonksiyonunda daha iyi sonuç elde edilmiştir.

Güç sistemleri, yapılan çalışmalar doğrultusunda çalıştırılabilirse ciddi enerji ve maliyet tasarrufu sağlar. Ülkemizdeki enerji iletim sistemleri içinde optimizasyon gerçekleştirilebilir. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda RGO'nun güç sistemiyle eş zamanlı gerçekleştirilebilmesine yönelik araştırmalar olabilir. Ayrıca sistem kayıplarını azaltmada kullanılan FACTS cihazlarının maliyet değerlerini düşürmek için çalışmalarda gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

ABBASY, A., TABATABAI, I. ve HOSSEINI S.H., 2007, Optimal Reactive Power Dispatch in Electricity Markets Using A Multiagent-Based Differential Evolution Algorithm, *POWERENG 2007*, Setubal, Portugal

ABIDO, M. A. ve BAKHASHWAIN J.M.,2005, Optimal VAR dispatch using a multiobjective evolutionary algorithm, *Electrical Power and Energy Systems* 27 (2005) 13–20

AKAY, B. ve KARABOGA, D., 2009, Solving Integer Programming Problems by Using Artificial Bee Colony Algorithm, *XI. Conferences on Advances in Artificial Intelligence by the Italian Association for Artificial Intelligence (AI*IA 2009)*, Reggio Emilia

ARIBIA, H.B. ve ABDALLAH, H.H., 2007, Multi Objectives Reactive Dispatch Optimization of an Electrical Network, *Leonardo Journal of Sciences*, Issue 10, January-June 2007, 101-114

BAO, L. ve ZENG, J., 2009, Comparison and Analysis of the selection Mechanism in the Artificial Bee Colony Algorithm, *Ninth International Conference on Hybrid Intelligent Systems*

CHETTIH, S., KHIAT, M. ve CHAKER, A., 2008, Optimal distribution of the reactive power and voltages control in Algerian network using the genetic algorithm method. *Information. Technology. Journal.*, Vol. 7, 1170-1175

CHONG, C. S. ve LOW, M. Y. H., 2006, A Bee Colony Optimization Algorithm To Job Shop Scheduling, *Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference*, Singapur

CHOUSEIN, O. K., 2006, *KKTC Elektrik Üretim İletim Sistemi'nde Yük Akışı ve Gelişim Planı*, Yüksek Lisans, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

CHUANWENA, J. ve BOMPARDB, E.,2005, A hybrid method of chaotic particle swarm optimization and linear interior for reactive power optimisation, *Mathematics and Computers in Simulation* 68 (2005) , 57–65

DEEP, N. ve SHAHIDEHPOUR, S.M., 1990, Linear reactive power optimization in a large power network using the decomposition approach, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol.5, No.2

DEMİRÖREN, A. ve ZEYNELGİL, L., 2004, *Elektrik Enerji Sistemlerinin Kararlılığı Kontrolü ve Çalışması*, Birsen Yayınevi, İstanbul, 975 511 305 3

DENG, Y., REN, X., ZHAO, C. ve ZHAO, D., 2002, A Heuristic and Algorithmic Combined Approach for Reactive Power Optimization With Time-Varying Load Demand in Distribution Systems, *IEEE Transactions on power systems*, vol. 17, no. 4

DURAIRAJ, S. ve KANNAN, S., 2005, Improved Genetic Algorithm Approach for Multi-Objective contingency constrained Reactive Power Planning, *IEEE Indicon 2005 Conference*, Chennai, India

EMİNOĞLU, U., 2003, *Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları*, Yüksek Lisans, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

ENGİN, B., 2008, *Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Kompanzasyon ve Enerji Kalitesi Sorunları*, Yüksek Lisans, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü

GRUDİNİN, N., 1998, Reactive Power Optimization Using Successive Quadratic Programming Method, *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 13, No. 4

JKENG, L., XUDONG, W. ve WEIHONG, Z., 2008, Reactive Power Optimization Based on Adaptive Immune Algorithm, *Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists 2008 Vol II IMECS 2008*, Hong Kong

JWO, W. S., LIU, C. W., LIU, C. C. ve HSIAO, Y. T., 1995, Hybrid expert system and simulated annealing approach to optimal reactive power planning, *IEE Proc.-Genn. Transm. Disrrih.*, Vol. 142, No. 4

JYOTHI, P. N., SURESH, S. ve PRASAD, S., 2010, A Heuristic Approach to the Disease Diagnose System Using Machine Learning Algorithms, *International Journal on Computer Science and Engineering*, Vol. 02, No.02.2010, 256-258

KANG, F., LI, J. ve XU, Q., 2009, Structural inverseanalysis by hybrid simplex artificial bee colony algorithms, *Computers and Structures* 87(2009) 861-870.

KARABOGA, D. ve AKAY, B., 2009, Artificial Bee Colony (ABC), Harmony Search and Bees Algorithms on Numerical Optimization, *IPROMS 2009 Innovative Production Machines and Systems Virtual Conference*, Cardiff, UK.

KARABOGA, D. ve BASTÜRK, B., 2007, Artificial bee colony (ABC) optimization algorithm for solving constrained optimization problems, *Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing* 4529(2007) 789-798, Springer-Verlag, Berlin

KARABOGA, D. ve BASTÜRK, B., 2007, A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm, *J Global Optim* 2007; 39(3): 459-71.

KARABOGA, D. ve BASTÜRK, B., 2008, On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm *Applied Soft Computing* 2008;8(1): 687-97.

KARABOGA, N ., 2009, A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters, *Journal of the Franklin Institute* 346(2009) 328-348.

KHIAT, M., CHAKER, A., EXPOSITO, A., ve RAMO, J.L.,2003, Reactive power optimization and voltage control in the Western Algerian transmission system: a hybrid approach, *Electric Power Systems Research* 64 (2003) 3-10

KIRAN, M. S., GÜNDÜZ, M. ve ŞAHMAN, M. A., 2009, Arı Kolonisi Optimizasyon Algoritması Kullanarak En Kısa Yol Bulma, *IV. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu*,

KUMAR, S.K., TIWARI, M.K. ve BABICEANU, R.F., 2009, Minimisation of supply chain cost with embedded risk using computational intelligence approaches, *International Journal of Production Research*, 1-23

LARSSON, M., 2000, *Coordinated Voltage Control in Electric Power Systems*, Doctoral, Lund University Department of Industrial Electrical Engineering and Automation

LENIN, K. ve MOHAN, M.R., 2006, Ant Colony Search Algorithm for Optimal Reactive Power Optimization, *Serbian Journal of Electrical Engineering*, Vol. 3, No. 1, 77 – 88

LI, D., GAO, L., ZHANG, J., ve LI, Y., 2006,Power System Reactive Power Optimization Based on Adaptive Particle Swarm Optimization Algorithm, *Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation*, Dalian, China

LI, Y., CAO, Y., LIU, Z., LIU, Y. ve JIANG, Q., 2009, Dynamic optimal reactive power dispatch based on parallel particle swarm optimization algorithm, *Computers and Mathematics with Applications* 57 (2009) , 1835-1842

LIN, W., LI, Y., XU, X. ve LI, M., 2008, Reactive Power Optimization in Area Power Grid Based on Improved Tabu Search Algorithm, *DRPT2008* Nanjing, China

LIN, X., DAVID, A.K. ve YU, C.W., 2003, Reactive power optimisation with voltage stability consideration in power market systems, *IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib.* Vol. 150, No. 3

LIRUI, G., LIMIN, H., LIGUO, Z., WEINA, L. ve JIE H., 2008, Reactive Power Optimization for Distribution Systems Based on Dual Population Ant Colony Optimization, *Proceedings of the 27th Chinese Control Conference*, Kunming, Yunnan, China

LIU, M., MA, L., ve ZHANG, J., 2000, GA/SA/TS Hybrid Algorithms for Reactive Power Optimization, *Power Engineering Society Summer Meeting, IEEE*, Vol. 1, 245-249

LU, Z. ve MA, L., 2008, Power System Reactive Power Optimization Based on Direct Neural Dynamic Programming, *Proceedings of 2008 3rd International Conference on Intelligent System and Knowledge Engineering*

MALA, D. J. ve MOHAN, V., 2009, ABC Tester - Artificial Bee Colony Based Software Test Suite Optimization Approach, *International Journal of Software Engineering* , 15-43.

MANTAWY, A. H. ve AL-GHAMDI, M. S., 2003, A New Reactive Power Optimization Algorithm, *Paper accepted for presentation at 2003 IEEE Bologna PowerTech Conference* Bologna, Italy

MUMYAKMAZ, B., 1998, *Yapay Sinir Ağları Kontrolüne Dayalı Statik Var Kompanzatorünün PSPICE ile simülasyonu*, Doktora, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

OMKAR, S.N. ve SENTHILNATH, J., 2009, Artificial Bee Colony for Classification of Acoustic Emission Signal, *International Journal of Aerospace Innovations*, Volume 1, Number 3, 129-143(15)

ÖZTÜRK, A., 2007, *Güç Sistemlerindeki Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma İle İncelenmesi*, Doktora, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

PAWAR, P.J., RAO, R.V. ve DAVIM, J.P., 2008, Optimization of process parameters of milling process using Particle Swarm Optimization and Artificial Bee Colony algorithm, *Advances in Mechanical Engineering (AME-2008)* , Surat, India

PUTMAN, R. E., HUFF, F. C. ve PAL, J.K.,1999, Optimal Reactive Power Control for Industrial Power Networks, *Industry Applications, IEEE Transactions on*, 35 Issue: 3 May/Jun 1999, 506 – 514

RAO, R.S., NARASIMHAM, S.V.L. ve RAMALINGARAJU, M., Optimization of Distribution Network Configuration for Loss Reduction Using Artificial Bee Colony Algorithm, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 45 2008

QUAN, H. ve SHI, X., 2008, On the Analysis of Performance of the Improved Artificial Bee Colony Algorithm, *Furth International conference on Natural Computation*. ICNC

SABAT, S., UDGATA, S. K. ve ABRAHAM, 2010, A., Artificial Bee Colony Algorithm for Small Signal Model Parameter Extraction of MESFET, *Engineering Applications of Artificial Intelligence, Elsevier Science*, Netherlands

SINGH, A., 2009, An artificial bee colony algoritihm for the leaf-constrained minumum spanning tree problem, *Applied Soft Computing* 2009;9: 625-631

SMALL, S. M., 2007, *Multiple Objective Reactive Power Planning Using Genetic Algorithms*, Master, Faculty of Engineering and Applied Science Memorial University of Newfoundland

TÜRKKAN, Y., 2009, *Bir Fazlı Eviricilerde Selektif Harmonik Eliminasyonunun Genetik Algoritmalar Yöntemiyle Gerçekleştirilmesi*, Yüksek Lisans, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü

VARADARAJAN, M. ve SWARUP, K.S., 2008, Differential evolutionary algorithm for optimal reactive power dispatch, *Electrical Power and Energy Systems* 30 (2008), 435–441

VENKATA R., R. ve Pawar, P.J., 2010, Parameter optimization of a multi-pass milling process using non-traditional optimization algorithms, *Applied Soft Computing Journal* 10 (2), 445-456

WANG, C., CHENG, H.Z. ve YAO, L.Z., 2008 , Reactive Power Optimization by Plant Growth Simulation Algorithm, DRPT2008 Nanjing, China

WEI, H., CHUNLI, X., JIANHUA, Z. ve SHAN'ANG, H., 2003, Study of Reactive Power Optimization Based on Immune Genetic Algorithm, *Transmission and Distribution Conference and Exposition*, Vol.1 , 186 - 190

WEI, H., CONG, Z., JINGYAN, Y., JIANHUA, Z., ZIFA, L., ZHILIAN, W. ve DONGLI, P., 2008, Using Bacterial Chemotaxis Method for Reactive Power Optimization, *Transmission and Distribution Conference and Exposition*

XIANGZHENG, X., 2007, Research on Reactive Power Optimizing Control Based on Immune Algorithms, *The Eighth International Conference on Electronic Measurement and Instruments*

YESURATNAM, G., 2007, *Development of Algorithms for Security Oriented Power System Operation*, Thesis (PhD), Indian Institute of Science

YOSHIDA, H. ve FUKUYAMA, Y., 1999, A Particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control in Electric Power Systems Considering Voltage Security Assessment, *The 1999 IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference (SMC'99) Tokyo International Forum*, Tokyo, Japan Oct.12 - 15

ZHANG, W. ve LIU, Y., 2005, Fuzzy logic controlled particle swarm for reactive power optimization considering voltage stability, *Power Engineering Conference*, 1-5

ZHANG, X., CHEN, W. ve DAI, C., 2008, Application of Oriented Search Algorithm in Reactive Power Optimization of Power System, *DRPT2008* Nanjing, China

ZHANG, X., CHEN, W., DAI, C. ve GUO, A., 2008, Self-adaptive Differential Evolution Algorithm for Reactive Power Optimization, *Fourth International Conference on Natural Computation*

ZHU, J.Z., CHANG, C.S., YAN, W. ve XU, G.Y., 1998, Reactive power optimisation using an analytic hierarchical process and a nonlinear optimisation neural network approach, *IEE Proc., Gener. Transm. Distrib.*, Volume 145, Issue 1, 89–97

EKLER

EK-A

```
%%%%%%%%ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM%%%%%%%%
```

```
clear all  
close all  
clc
```

```
% Set ABC Control Parameters
```

```
ABCOpts = struct( 'ColonySize', 10, ... % Number of Employed Bees+ Number of Onlooker  
Bees
```

```
    'MaxCycles', 2000,... % Maximum cycle number in order to terminate the algorithm
```

```
    'ErrGoal', 1e-20, ... % Error goal in order to terminate the algorithm (not used in the code  
in current version)
```

```
    'Dim', 10 , ... % Number of parameters of the objective function
```

```
    'Limit', 100, ... % Control paramter in order to abandone the food source
```

```
    'lb', -3, ... % Lower bound of the parameters to be optimized
```

```
    'ub', 3, ... %Upper bound of the parameters to be optimized
```

```
    'ObjFun' , 'rosenbrock', ... %Write the name of the objective function you want to minimize
```

```
    'RunTime',3); % Number of the runs
```

```
GlobalMins=zeros(ABCOpts.RunTime,ABCOpts.MaxCycles);
```

```
for r=1:ABCOpts.RunTime
```

```
    % Initialise population
```

```
    Range = repmat((ABCOpts.ub-ABCOpts.lb),[ABCOpts.ColonySize ABCOpts.Dim]);
```

```
    Lower = repmat(ABCOpts.lb, [ABCOpts.ColonySize ABCOpts.Dim]);
```

```
    Colony = rand(ABCOpts.ColonySize,ABCOpts.Dim) .* Range + Lower;
```

```
    Employed=Colony(1:(ABCOpts.ColonySize/2),:);
```

```
    %evaluate and calculate fitness
```

```
    ObjEmp=feval(ABCOpts.ObjFun,Employed);
```

```
    FitEmp=calculateFitness(ObjEmp);
```

```
    %set initial values of Bas
```

```
    Bas=zeros(1,(ABCOpts.ColonySize/2));
```

```
    GlobalMin=ObjEmp(find(ObjEmp==min(ObjEmp),end));
```

```
    GlobalParams=Employed(find(ObjEmp==min(ObjEmp),end),:);
```

```
    Cycle=1;
```

```
    while ((Cycle <= ABCOpts.MaxCycles)),
```

```

%%%%%% Employed phase
Employed2=Employed;
for i=1:ABCOpts.ColonySize/2
    Param2Change=fix(rand*ABCOpts.Dim)+1;
    neighbour=fix(rand*(ABCOpts.ColonySize/2))+1;
    while(neighbour==i)
        neighbour=fix(rand*(ABCOpts.ColonySize/2))+1;
    end;
    Employed2(i,Param2Change)=Employed(i,Param2Change)+(Employed(i,Param2Change)-
Employed(neighbour,Param2Change))*(rand-0.5)*2;
    if (Employed2(i,Param2Change)<ABCOpts.lb)
        Employed2(i,Param2Change)=ABCOpts.lb;
    end;
    if (Employed2(i,Param2Change)>ABCOpts.ub)
        Employed2(i,Param2Change)=ABCOpts.ub;
    end;
end;

end;

ObjEmp2=feval(ABCOpts.ObjFun,Employed2);
FitEmp2=calculateFitness(ObjEmp2);
[Employed ObjEmp FitEmp
Bas]=GreedySelection(Employed,Employed2,ObjEmp,ObjEmp2,FitEmp,FitEmp2,Bas,ABCOpts);

%Normalize
NormFit=FitEmp/sum(FitEmp);

%%%% Onlooker phase
Employed2=Employed;
i=1;
t=0;
while(t<ABCOpts.ColonySize/2)
    if(rand<NormFit(i))
        t=t+1;
        Param2Change=fix(rand*ABCOpts.Dim)+1;
        neighbour=fix(rand*(ABCOpts.ColonySize/2))+1;
        while(neighbour==i)
            neighbour=fix(rand*(ABCOpts.ColonySize/2))+1;
        end;
        Employed2(i,:)=Employed(i,:);

Employed2(i,Param2Change)=Employed(i,Param2Change)+(Employed(i,Param2Change)-
Employed(neighbour,Param2Change))*(rand-0.5)*2;
    if (Employed2(i,Param2Change)<ABCOpts.lb)
        Employed2(i,Param2Change)=ABCOpts.lb;
    end;
    if (Employed2(i,Param2Change)>ABCOpts.ub)
        Employed2(i,Param2Change)=ABCOpts.ub;
    end;
    ObjEmp2=feval(ABCOpts.ObjFun,Employed2);
    FitEmp2=calculateFitness(ObjEmp2);

```

```

    [Employed ObjEmp FitEmp
Bas]=GreedySelection(Employed,Employed2,ObjEmp,ObjEmp2,FitEmp,FitEmp2,Bas,ABCOpts,i);

    end;
    i=i+1;
    if (i==(ABCOpts.ColonySize/2)+1)
        i=1;
    end;
end;
%%%Memorize Best
CycleBestIndex=find(FitEmp==max(FitEmp));
CycleBestIndex=CycleBestIndex(end);
CycleBestParams=Employed(CycleBestIndex,:);
CycleMin=ObjEmp(CycleBestIndex);

if CycleMin<GlobalMin
    GlobalMin=CycleMin;
    GlobalParams=CycleBestParams;
end
GlobalMins(r,Cycle)=GlobalMin;

%% Scout phase
ind=find(Bas==max(Bas));
ind=ind(end);
if (Bas(ind)>ABCOpts.Limit)
    Bas(ind)=0;
    Employed(ind,:)=(ABCOpts.ub-ABCOpts.lb)*(0.5-rand(1,ABCOpts.Dim))*2; %+ABCOpts.lb;
    %message=strcat('burada',num2str(ind))
end;
ObjEmp=feval(ABCOpts.ObjFun,Employed);
FitEmp=calculateFitness(ObjEmp);

    fprintf('Cycle=%d ObjVal=%g\n',Cycle,GlobalMin);

    Cycle=Cycle+1;

end % End of ABC
end; %end of runs

semilogy(mean(GlobalMins))
title('Mean of Best function values');
xlabel('cycles');
ylabel('error');
fprintf('Mean =%g Std=%g\n',mean(GlobalMins(:,end)),std(GlobalMins(:,end)));

function fFitness=calculateFitness(fObjV)
fFitness=zeros(size(fObjV));
ind=find(fObjV>=0);
fFitness(ind)=1./(fObjV(ind)+1);
ind=find(fObjV<0);
fFitness(ind)=1+abs(fObjV(ind));

```

```

function [Colony Obj Fit
oBas]=GreedySelection(Colony1,Colony2,ObjEmp,ObjEmp2,FitEmp,FitEmp2,fbas,ABCOpts,i
)
oBas=fbas;
Obj=ObjEmp;
Fit=FitEmp;
Colony=Colony1;
if (nargin==8)
for ind=1:size(Colony1,1)
if (FitEmp2(ind)>FitEmp(ind))
oBas(ind)=0;
Fit(ind)=FitEmp2(ind);
Obj(ind)=ObjEmp2(ind);
Colony(ind,:)=Colony2(ind,:);
else
oBas(ind)=fbas(ind)+1;
Fit(ind)=FitEmp(ind);
Obj(ind)=ObjEmp(ind);
Colony(ind,:)=Colony1(ind,:);
end;
end; %for
end; %if
if(nargin==9)
ind=i;
if (FitEmp2(ind)>FitEmp(ind))
oBas(ind)=0;
Fit(ind)=FitEmp2(ind);
Obj(ind)=ObjEmp2(ind);
Colony(ind,:)=Colony2(ind,:);
else
oBas(ind)=fbas(ind)+1;
Fit(ind)=FitEmp(ind);
Obj(ind)=ObjEmp(ind);
Colony(ind,:)=Colony1(ind,:);
end;
end;

function ObjVal = rosenbrock(Chrom,swite);
% Dimension of objective function
Dim=size(Chrom,2);

% Compute population parameters
[Nind,Nvar] = size(Chrom);

% function 11, sum of 100* (x(i+1) -xi^2)^2+(1-xi)^2 for i = 1:Dim (Dim=10)
% n = Dim, -10 <= xi <= 10
% global minimum at (xi)=(1) ; fmin=0
Mat1 = Chrom(:,1:Nvar-1);
Mat2 = Chrom(:,2:Nvar);
if Dim == 2
ObjVal = 100*(Mat2-Mat1.^2).^2+(1-Mat1).^2;
else
ObjVal = sum((100*(Mat2-Mat1.^2).^2+(1-Mat1).^2)');
end

```

EK-B

30 Baralı Sistem Bara Verileri					
Bara No	Bara Tipi	Pd (talep edilen aktif güç)	Qd (talep edilen reaktif güç)	V _{MAX}	V _{MIN}
1	salınım	0	0	1.05	0.95
2	generatör	21.7	12.7	1.1	1
3	yük	2.4	1.2	1.05	0.95
4	yük	7.6	1.6	1.05	0.95
5	generatör	0	0	1.1	1
6	yük	0	0	1.05	0.95
7	yük	22.8	10.9	1.05	0.95
8	generatör	30	30	1.1	1
9	yük	0	0	1.05	0.95
10	yük	5.8	2	1.05	0.95
11	generatör	0	0	1.1	1
12	yük	11.2	7.5	1.05	0.95
13	generatör	0	0	1.1	1
14	yük	6.2	1.6	1.05	0.95
15	yük	8.2	2.5	1.05	0.95
16	yük	3.5	1.8	1.05	0.95
17	yük	9	5.8	1.05	0.95
18	yük	3.2	0.9	1.05	0.95
19	yük	9.5	3.4	1.05	0.95
20	yük	2.2	0.7	1.05	0.95
21	yük	17.5	11.2	1.05	0.95
22	yük	0	0	1.05	0.95
23	yük	3.2	1.6	1.05	0.95
24	yük	8.7	6.7	1.05	0.95
25	yük	0	0	1.05	0.95
26	yük	3.5	2.3	1.05	0.95
27	yük	0	0	1.05	0.95
28	yük	0	0	1.05	0.95
29	yük	2.4	0.9	1.05	0.95
30	yük	10.6	1.9	1.05	0.95

30 Baralı Sistem Generatör Verileri				
Bara No	Pg	Qg	Q _{MAX}	Q _{MIN}
1	87.56	0	150	-20
2	40	0	60	-20
5	40	0	62.5	-15
8	40	0	48.7	-15
11	40	0	40	-10
13	40	0	44.7	-15

30 Baralı Sistem Hat Verileri					
	Hat		R	X	B/2
	1	2	0.02	0.06	0.03
	1	3	0.05	0.19	0.02
	2	4	0.06	0.17	0.02
	3	4	0.01	0.04	0
	2	5	0.05	0.2	0.02
	2	6	0.06	0.18	0.02
	4	6	0.01	0.04	0
	5	7	0.05	0.12	0.01
	6	7	0.03	0.08	0.01
	6	8	0.01	0.04	0
	6	9	0	0.21	0
	6	10	0	0.56	0
	9	11	0	0.21	0
	9	10	0	0.11	0
	4	12	0	0.26	0
	12	13	0	0.14	0
	12	14	0.12	0.26	0
	12	15	0.07	0.13	0
	12	16	0.09	0.2	0
	14	15	0.22	0.2	0
	16	17	0.08	0.19	0
	15	18	0.11	0.22	0
	18	19	0.06	0.13	0
	19	20	0.03	0.07	0
	10	20	0.09	0.21	0
	10	17	0.03	0.08	0
	10	21	0.03	0.07	0
	10	22	0.07	0.15	0
	21	22	0.01	0.02	0
	15	23	0.1	0.2	0
	22	24	0.12	0.18	0
	23	24	0.13	0.27	0
	24	25	0.19	0.33	0
	25	26	0.25	0.38	0
	25	27	0.11	0.21	0
	28	27	0	0.4	0
	27	29	0.22	0.42	0
	27	30	0.32	0.6	0
	29	30	0.24	0.45	0
	6	28	0.06	0.2	0.02
	8	28	0.02	0.06	0.01

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÇOBANLI, Serkan
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 30.05.1984, İzmir
Medeni hali : Bekar
Telefon : 0 544 343 80 76
e-mail : serkancobanli@hotmail.com
: serkancobanli20@duzce.edu.tr

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Düzce Üniversitesi /Elektrik Eğitimi ABD	Halen
Lisans	Düzce Üniversitesi/ Elektrik Eğitimi	2008
Lise	Denizli Ş.Öğr. Yusuf Batur And. Teknik Lisesi	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2008-2010	Düzce/ Gölyaka Çok Prog. Lisesi	Elektrik Öğretmeni

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, Basketbol, Voleybol ,Bilardo