

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AA-DA SİSTEMLERİNDE YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASI İLE GEÇİCİ HAL KARARLILIK
KISITLAMALI OPTİMAL GÜÇ AKIŞI**

DOKTORA TEZİ

Elektrik-Elektronik Yüksek Mühendisi Ulaş KILIÇ

**Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK
MÜHENDİSLİĞİ**
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK
Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Kürşat AYAN

Ocak 2013

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AA-DA SİSTEMLERİNDE YAPAY ARI KOLONİ
ALGORİTMASI İLE GEÇİCİ HAL KARARLILIK
KISITLAMALI OPTİMAL GÜÇ AKIŞI


DOKTORA TEZİ

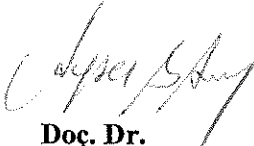
Elektrik Elektronik Yüksek Mühendisi Ulaş KILIÇ

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ

Bu tez 22 / 01 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.


Prof. Dr.
Uğur ARİFOĞLU
Jüri Başkanı


Doç. Dr.
Ali ÖZTÜRK
Üye


Doç. Dr.
Ayşen BASA ARSOY
Üye

Yrd. Doç. Dr.
Kürşat AYAN
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Ali GÜLBAĞ
Üye



TEŞEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince, her zaman vakit ayırarak deęerli fikirleri ile çalıőmalarına yűn veren danıőmanım ve deęerli hocam Yrd. Doç. Dr. Kűrőat AYAN'a, bilgi birikimini ve manevi desteęini hiçbir zaman esirgemeyen deęerli hocam Prof. Dr. Uęur ARİFOęLU'na çok teőekkűr ederim.

Her zaman her konuda bana destek olan Eőim Filiz KILIÇ'a ve motivasyon kaynağım Kızım Ilgın KILIÇ'a sevgilerimle.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
TABLolar LİSTESİ.....	xiii
ÖZET.....	xiv
SUMMARY.....	xv
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜÇ AKIŞI.....	4
2.1. Saf AA Sistemlerde Güç Akışı.....	4
2.1.1. Genel bakış.....	4
2.1.2. Bara admitans matrisi.....	5
2.1.3. Güç akışı eşitlikleri.....	6
2.1.4. Güç akışı algoritmaları.....	8
2.1.4.1. N-R metodu ile güç akışı.....	9
2.1.5. Kademe ayarlı transformatörler.....	14
2.2. AA-DA Sistemlerde Güç Akışı.....	15
2.2.1. Genel bakış.....	16
2.2.1.1. Çeviriciler.....	20
2.2.1.2. Düzleme reaktörleri.....	21
2.2.1.3. Harmonik filtreler.....	22
2.2.1.4. Reaktif güç kaynakları.....	22

2.2.1.5. Elektrotlar.....	22
2.2.1.6. DA hatları.....	22
2.2.1.7. AA devre kesicileri.....	23
2.2.2. AA-DA sisteminin modellenmesi.....	23
2.2.2.1. Doğrultucu denklemleri.....	26
2.2.2.2. Evirici denklemleri.....	27
2.2.2.3. Hat denklemleri.....	28
2.2.3. Birim değer dönüşümleri.....	28
2.2.3.1. AA baz değerine göre birim değer dönüşümleri.....	29
2.2.3.2. DA baz değerine göre birim değer dönüşümleri.....	31
2.2.4. AA-DA sistemleri için güç akışı yaklaşımları.....	32
2.3. Saf AA Sistemlerde OGA.....	35
2.3.1. Amaç fonksiyonu.....	36
2.3.2. Eşitlik kısıtlamaları.....	37
2.3.3. Eşitsizlik kısıtlamaları.....	37
2.3.3.1. Üretim kapasite kısıtlaması.....	37
2.3.3.2. Gerilim kısıtlaması.....	38
2.3.3.3. Transformatör kademe değeri kısıtlaması.....	38
2.3.3.4. Şönt kapasite değeri kısıtlaması.....	38
2.4. AA-DA Sistemlerde OGA.....	38
2.5. AA-DA Sistemlerde GHKKOGA.....	40
2.5.1. Güç sisteminin modellenmesi.....	40
2.5.2. Düzeltilmiş Euler yöntemi ile kararlılık analizi.....	44
2.5.3. Amaç fonksiyonu hesaplaması.....	46

BÖLÜM 3.

YAK ALGORİTMASININ AA-DA SİSTEMLERİNİN GHKKOGA’SINA UYGULANMASI.....	48
3.1. YAK Algoritması.....	49
3.1.1. Başlangıç besin kaynaklarının üretilmesi.....	53
3.1.2. İşçi arıların besin kaynaklarına gönderilmesi.....	53
3.1.3. Gözcü arıların çevresinde arama yapacakları besin kaynaklarının belirlenmesi.....	54

3.1.4. Gözcü arıların belirlenen besin kaynaklarının çevresine gönderilmesi.....	55
3.1.5. Kaynağın terk edilmesi kriteri.....	55
3.2. YAK Algoritmasının Saf AA Sistemlerin OGA'sına Uygulanışı.....	58
3.3. AA-DA Sistemlerinin GHKKOGA'sında Uygunluk Değerinin Hesaplanması.....	63
BÖLÜM 4.	
SİMÜLASYON SONUÇLARI.....	65
4.1. Durum A için Elde Edilen Sonuçlar.....	67
4.2. Durum B için Elde Edilen Sonuçlar.....	70
BÖLÜM 5.	
TARTIŞMA VE ÖNERİLER.....	79
KAYNAKLAR.....	81
EKLER.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	92

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

a_i, b_i, c_i	: i 'nci jeneratör enerji üretim maliyet katsayıları
α, γ	: Doğrultucu ve evirici tetikleme açıları
B_{ij}	: i ve j 'inci baralar arasındaki admitansın sanal kısmı
C_b	: Çevirici çarpım sabiti
δ	: Açı
D	: Jeneratörün sönüm sabiti
ε	: Tolerans değeri
E	: Geçici hal reaktansının gerisindeki gerilim
F	: Amaç fonksiyonu
F_i	: i 'nci besin kaynağının amaç fonksiyonu
ϕ	: Faz farkı
φ	: -1 ile +1 arasında rastgele değişen bir sayı
$F_{maliyet}$: Toplam enerji üretim maliyeti
fit	: Besin kaynağının kalitesi
G_{ij}	: i ve j 'inci baralar arasındaki admitansın gerçel kısmı
I	: Alternatif akım
I_{AAbaz}	: AA sistemi baz akım değeri
I_{DAbaz}	: DA sistemi baz akım değeri
$[I]_{bara}$: Alternatif akım vektörü
I^*	: Akım fazöürün eşleniği
I_d	: DA hattının doğru akım değeri
i_d	: Doğru akımın AA baz değerine göre birim değeri
i'_d	: Doğru akımın DA baz değerine göre birim değeri
ite	: İterasyon sayısı

J	: Jakobien matrisi
k	: Yük uçlarının gerilim değişiminde tam periyottaki tepe sayısı
K	: Penaltı katsayısı
M	: Jeneratörün atalet momenti
N	: Bara sayısı
n	: Seri bağlı çevirici sayısı
N_g	: Jeneratör barası sayısı
N_c	: Şönt kapasite sayısı
$N_{yük}$: Yük barası sayısı
N_{hat}	: AA hat sayısı
P	: Aktif güç
P_{baz}	: AA ve DA sistemi baz güç değeri
P_{AAbaz}	: AA sistemi baz güç değeri
P_{DAbaz}	: DA sistemi baz güç değeri
P_{DA}	: DA iletim hattından aktarılan aktif güç
P_{gi}^{\min}	: i 'nci baraya bağlı jeneratörün minimum aktif gücü
P_{gi}^{\max}	: i 'nci baraya bağlı jeneratörün maksimum aktif gücü
P_{Gi}	: i 'nci baraya bağlı jeneratör aktif gücü
P_{Li}	: i 'nci baraya bağlı yükün aktif bileşeni
P_i	: i 'nci baradan iletim hatlarına aktarılan aktif güç
P_e	: Jeneratörün elektriksel çıkış gücü
P_m	: Jeneratörün mekaniksel giriş gücü
P_{dr}	: Doğrultucu tarafındaki aktif güç
P_{di}	: Evirici tarafındaki aktif güç
P_{da}	: Aktif gücün baz değerine göre birim değeri
Q_{ci}^{\min}	: i 'nci baraya bağlı kontrollü şönt reaktörün minimum gücü
Q_{ci}^{\max}	: i 'nci baraya bağlı kontrollü şönt reaktörün maksimum gücü
Q_{gi}^{\max}	: i 'nci baraya bağlı jeneratörün maksimum reaktif gücü

Q_{gi}^{\min}	: i 'nci baraya bağlı jeneratörün minimum reaktif gücü
Q_{Gi}	: i 'nci baraya bağlı jeneratör reaktif gücü
Q_{Ci}	: i 'nci baraya bağlı kontrollü şönt reaktörün gücü
Q_{Li}	: i 'nci baraya bağlı yükün reaktif bileşeni
Q_i	: i 'nci baradan iletim hatlarına aktarılan reaktif güç
Q	: Reaktif güç
Q_{DA}	: Çeviricilerde harcanan reaktif güç
q_{da}	: Reaktif gücün baz değerine göre birim değeri
Q_{dr}	: Doğrultucu tarafındaki reaktif güç
Q_{di}	: Evirici tarafındaki reaktif güç
R_c	: Çevirici komütasyon direnci
R_{da}	: DA hat direnci
r_c	: Komütasyon direncinin DA baz değerine göre birim değeri
S	: Görünür güç
sp	: Seçilme olasılığı
T	: Transformatör kademesi
T_i^{\min}	: Minimum transformatör kademesi
T_i^{\max}	: Maksimum transformatör kademesi
t	: Zaman (Süre)
u	: Kontrol değişkeni
V	: Alternatif gerilim
V_i^{\min}	: i 'nci baranın minimum gerilim genliğini
V_i^{\max}	: i 'nci baranın maksimum gerilim genliğini
V_{AAbaz}	: AA sistemi baz gerilim genlik değeri
V_{DAbaz}	: DA sistemi baz gerilim genlik değeri
$[V]_{bara}$: Alternatif gerilim vektörü
V_d	: Doğru gerilim
V_{dor}	: Yüksüz durumdaki doğrultucu ideal açık devre doğru gerilimi
V_{doi}	: Yüksüz durumdaki evirici ideal açık devre doğru gerilimi

V_{max}	: Transformatörün sekonder geriliminin maximum değeri
V_{rec}	: Doğrultucu bağlı AA barasının geriliminin etkin değeri
V_{inv}	: Evirici bağlı AA barasının geriliminin etkin değeri
v_d	: Doğru gerilimin AA baz değerine göre birim değeri
v'_d	: Doğru gerilimin DA baz değerine göre birim değeri
v_{do}	: Yüksüz durumdaki doğrultucu ideal açık devre doğru gerilimin AA baz değerine göre birim değeri
v'_{do}	: Yüksüz durumdaki doğrultucu ideal açık devre doğru gerilimin DA baz değerine göre birim değeri
$[Y]_{bara}$: Bara admitans matrisi
$[Y]_{ind}$: İndirgenmiş bara admitans matrisi
y_t	: Nominal dönüştürme oranına göre admitansın birim değeri
Y_{ii}	: Self admitans
Y_{ij}	: Transfer admitansı
Y_{AA}	: AA sistemdeki yüklerin admitans eşdeğeri
Y_{DA}	: DA hattından aktarılan güçlerin admitans eşdeğeri
$Y_{YÜK}$: Sistemdeki yüklerin admitans eşdeğeri
Z_{bara}	: Bara empedans matrisi
Z_{AAbaz}	: AA sistemi baz empedans değeri
Z_{DAbaz}	: DA sistemi baz empedans değeri
x	: Durum değişkeni
X_c	: Komütasyon reaktansı
x_c	: Komütasyon reaktansının AA baz değerine göre birim değeri
ω	: Jeneratörün rotor hızı
$w_{max,j}$: j 'inci parametrenin üst limiti
$w_{min,j}$: j 'inci parametrenin alt limiti
AA	: Alternatif akım
DA	: Doğru akım
DK	: Devre Kesici

GHKKOGA	: Geçici hal kararlılık kısıtlamalı optimal güç akışı
GHKK	: Geçici hal kararlılık kısıtlaması
MCN	: Maksimum iterasyon sayısı
N-R	: Newton-Raphson
OGA	: Optimal güç akışı
PS	: Parametre sayısı
SN	: Besin kaynağı sayısı
YAK	: Yapay arı koloni
YGDA	: Yüksek Gerilimli Doğru Akım

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Genel amaçlı bara gösterimi [43].....	8
Şekil 2.2.	N-R güç akışı diyagramı [43].....	13
Şekil 2.3.	Kademe ayarlı transformatörün genel gösterimi [44].....	14
Şekil 2.4.	Kademe ayarlı transformatörün π eşdeğer devre modeli [44].....	15
Şekil 2.5.	Bir kutuplu YGDA hattı [45].....	18
Şekil 2.6.	İki kutuplu YGDA hattı [45]	18
Şekil 2.7.	Eş kutuplu YGDA hattı [45].....	19
Şekil 2.8	Doğrultucu ve evirici olarak çalışan iki çeviricili istasyon şeması [45].....	19
Şekil 2.9.	6 darbeli çevirici şeması [45].....	20
Şekil 2.10.	12 darbeli çevirici şeması [45].....	21
Şekil 2.11.	Genel AA-DA bara gösterimi [46].....	23
Şekil 2.12.	YGDA iletim hattı [49].....	24
Şekil 2.13.	YGDA eşdeğer devresi [45].....	26
Şekil 3.1.	Yiyecek arama çevrimi [53].....	51
Şekil 3.2.	YAK algoritmasının akış diyagramı.....	57
Şekil 3.3.	5 baralı test sistemi.....	58
Şekil 4.1.	Modifiye New-England 39 baralı test sistemi [57]	65
Şekil 4.2.	Durum A için en iyi, en kötü ve ortalamanın iterasyon sayısına göre değişimleri.....	68
Şekil 4.3.	Durum A için en iyinin maliyet değerinin iterasyon sayısına göre değişimi	68
Şekil 4.4.	Durum A için doğrultucu ve evirici tarafındaki doğru gerilimlerin iterasyon sayısına göre değişimi.....	69
Şekil 4.5.	Durum A için doğrultucu ve evirici tarafındaki transformatör kademelerinin iterasyon sayısına göre değişimi.....	69

Şekil 4.6.	Durum A için doğrultucu ve evirici tarafındaki tetikleme açılarının iterasyon sayısına göre değişimi.....	70
Şekil 4.7.	Durum A için jeneratörlerin bağıl rotor açılarının zamana göre değişimi.....	70
Şekil 4.8.	Durum B için en iyi, en kötü ve ortalamanın iterasyon sayısına göre değişimleri.....	71
Şekil 4.9.	Durum B için maliyetin iterasyon sayısına göre değişimi.....	72
Şekil 4.10.	Durum B için doğrultucu ve evirici tarafındaki doğru gerilimlerin iterasyon sayısına göre değişimi.....	72
Şekil 4.11.	Durum B için doğrultucu ve evirici tarafındaki transformatör kademelerinin iterasyon sayısına göre değişimi.....	73
Şekil 4.12.	Durum B için doğrultucu ve evirici tarafındaki tetikleme açılarının iterasyon sayısına göre değişimi.....	73
Şekil 4.13.	Durum B için jeneratörlerin bağıl rotor açılarının zamana göre değişimi.....	74

TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1.	N-R değerleri.....	9
Tablo 3.1.	Birinci besin kaynağı için N-R sonucunda elde edilen sistem verileri.....	60
Tablo 3.2.	İkinci besin kaynağı için N-R sonucunda elde edilen sistem verileri.....	60
Tablo 4.1.	Popölasyon büyüklükleri.....	66
Tablo 4.2.	Durum A için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri ile hesaplama süresi.....	67
Tablo 4.3.	Durum B için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri ile hesaplama süresi.....	71
Tablo 4.4.	Her iki durum için AA sisteme ait baraların gerilim genlik ve aç değerleri.....	75
Tablo 4.5.	Her iki durum için önerilen algoritma ile bulunan jeneratör güç değerleri.....	76
Tablo 4.6.	Transformatörlerin kademeleri.....	77
Tablo 4.7.	DA iletim hattına ait değişkenlerin birim değerleri.....	77

ÖZET

Anahtar kelimeler: AA-DA sistemler, Geçici hal kararlılık kısıtlaması, Optimal Güç Akışı, Yapay Arı Koloni Algoritması

Artan enerji ihtiyacıyla büyüyen ve genişleyen enerji sistemlerinde, müşteri ihtiyaçlarının kesintisiz ve minimum maliyetiyle sağlanması, her geçen gün zorlaşmakta, verimsiz şekilde planlanan sistemlerin sebep oldukları maliyet kayıpları göz ardı edilemez haldedir. Ayrıca enerji sistemlerinin limit değerlerde çalışması ve herhangi bir ani yük değişiminde veya oluşan arıza sonrasında jeneratörlerden bazılarının senkronizmadan ayrılması neticesinde müşterilerin bir kısmının veya tamamının enerjisiz kalması gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır. Böyle bir durumda enterkonnekte güç sistemlerinde işletmenin sürekliliği zarar görebilir. Bu durum, güç sistem planlayıcılarını enerji sistemlerini yeniden planlamaya yönlendirmiştir. Karşılaşılan problemin çözümü için bilim insanları geçici hal kararlılık kısıtlamalı optimal güç akışı (GHKKOGA) yapılımasını önermişlerdir.

Problemin karmaşıklığı ve doğrusal olmaması göz önüne alındığında, şu ana kadar kullanılagelmiş klasik metotların yerine bu çalışmada daha yeni ve güncel bir sezgisel metot kullanılması tercih edilmiştir. Bunun nedeni, sezgisel metotların sayısal metotlara göre daha kısa bir sürede ve daha az hata ile optimum noktaya ulaşabilme yeteneğidir. Bu nedenle bu çalışmada alternatif akım-doğru akım (AA-DA) sistemlerinde optimal güç akışı (OGA) ve GHKKOGA ilk defa yapay arı koloni (YAK) algoritmasıyla çözülmüştür.

Bu çalışma için önerilen YAK algoritmasının AA-DA sistemlerinin GHKKOGA probleminin çözümündeki geçerliliğini ve etkinliğini değerlendirebilmek için, bu algoritma modifiye New-England 39-baralı test sistemine uygulanmış ve bu test sisteminde oluşan iki farklı arıza durumu için simülasyonlar gerçekleştirilmiştir.

Modifiye New-England 39-baralı test sistemindeki her iki arıza durumu için elde edilen yakıt maliyetleri, hesaplama süreleri ve güç akışı sonuçları tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca simülasyon süresince jeneratörlerin bağıl rotor açılarının değişimi şekillerle verilmek suretiyle, test sistemindeki tüm jeneratörlerin kararlı kaldığı gösterilmiştir. Netice olarak elde edilen tüm simülasyon sonuçlarının gayet iyimser olduğu gözlemlenmiştir. Bu sonuçlardan YAK algoritmasının AA-DA sistemlerinin GHKKOGA için etkin bir biçimde kullanılabileceği görülmüş olup AA-DA sistemlerinin OGA ve GHKKOGA problemlerinin çözümünde de sezgisel metotların güvenli bir biçimde kullanılabilirliği ispatlanmıştır.

TRANSIENT STABILITY CONSTRAINED OPTIMAL POWER FLOW IN AC-DC SYSTEMS USING ARTIFICIAL BEE COLONY ALGORITHM

SUMMARY

Key Words: AC-DC systems, Transient Stability Constrained, Optimal Power Flow, Artificial Bee Colony Algorithm

It is getting harder everyday to provide customer needs with a continuous and minimum cost in growing and expanding energy systems which are in need of increasing energy supplies. The cost losses caused by inefficiently planned systems cannot be ignored. Furthermore by reason of energy systems' working at the limit rates, in case of a sudden load change or after occurring a fault, as a result of the disconnection of some generators from the synchronism, such undesired situations like entire or a part of the customers' left without energy occurs. In a situation like this, in interconnected power systems the persistence of the operation can be harmed. In order to solve the problem, scientists suggested to use the transient stability constrained optimal power flow (TSCOPF).

Due to the complexity and non-linearity of the problem, it is preferred to be used a heuristic one that is a new and up-to-date method rather than the conventional methods used so far. In this study, therefore, the optimal power flow (OPF) and TSCOPF problems in alternating current-direct current (AC-DC) systems is solved by using artificial bee colony (ABC) algorithm for the first time.

In order to able to evaluate validity and effectiveness of ABC algorithm suggested for this study on TSCOPF problem of AC-DC systems, this algorithm is applied to the modified New-England 39-bus test system and the simulation is performed for two distinct fault cases occurred in this test system. Fuel costs, computational times, and power flow results obtained for both fault cases in this test system are given in the related tables. Furthermore, all the generators in the test system are shown to be kept stable by drawing the variations of the relative rotor angles of the generators during the simulation. Consequently, it is seen that all the obtained simulation results are highly optimistic. From these results, it is shown that ABC algorithm is able to use effectively for TSCOPF of AC-DC systems.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik enerjisinin diğer enerji türlerine kolay dönüştürülebilmesi ve diğer enerjilere göre makul maliyetinin olması, yaygın kullanımında etkili olan faktörlerdendir. Dünyamızda artan nüfus, sanayi ve teknolojiye bağlı olarak elektrik enerjisi ihtiyacı artmakta ve artmaya devam edeceği tahmin edilmektedir. Öyle ki günümüzde bir ülkenin enerji ihtiyacı gelişmişlik düzeyini gösteren kriterlerden biri olarak kabul edilmektedir.

Artan enerji ihtiyacıyla büyüyen ve genişleyen enerji sistemlerinde, müşteri ihtiyaçlarının kesintisiz ve minimum maliyetiyle sağlanması, her geçen gün zorlaşmaktadır. Bu nedenle sistemlerin kurulmasında ve işletilmesinde kullanılan güç akışı analizinin önemi artmaktadır.

Verimsiz şekilde planlanan sistemlerin sebep oldukları maliyet kayıpları göz ardı edilemez haldedir. Bu nedenle bilim insanları uzun yıllardır optimal güç akışı (OGA) üzerine çalışmaktadır. OGA ile amaçlanan, müşterilerin enerji ihtiyaçlarını, enerji sistemlerinin fiziksel kısıtlamaları altında, en düşük enerji üretim maliyeti ile karşılamaktır. Enerji sistemlerinin fiziksel kısıtlamaları; jeneratörlerin ürettikleri aktif ve reaktif güçler, güç sistemindeki tüm baraların gerilim genlikleri, transformatör kademeleri ve şönt kapasitanslardır. OGA sonucunda müşteri talepleri minimum enerji üretim maliyeti ile karşılanırken enerji sistemine ait tüm değerlerin de fiziksel kısıtlamaları içerisinde kalması gerekmektedir.

Enerji sistemlerinde işletme sürekliliği önemli bir olgudur. Her ne kadar konvansiyonel metotlar ile enerji üretim maliyetleri minimum yapılabilse de; enerji sistemlerinin limit değerlerde çalışması ve herhangi bir ani yük değişiminde veya

oluşan arıza sonrasında jeneratörlerden bazılarının senkronizmadan ayrılması neticesinde müşterilerin bir kısmının veya tamamının enerjisiz kalması gibi istenmeyen durumlar ortaya çıkmaktadır. Böyle bir durumda enterkonnekte güç sistemlerinde işletmenin sürekliliği zarar görebilir. Bu durum, güç sistem planlayıcılarını enerji sistemlerini yeniden planlamaya yönlendirmiştir. Karşılaşılan problemin çözümü için bilim insanları GHKKOGA'yı önermişlerdir. GHKKOGA'nın çözümüyle, enerji üretim maliyetinin minimizasyonu ile beraber, oluşabilecek arıza sonrasında sistem içerisindeki tüm jeneratörlerin kararlı kalması da sağlanmaktadır [1-7].

Bugüne kadar gerek OGA probleminin gerekse GHKKOGA probleminin çözümünde birçok farklı metot kullanılmıştır. Bu metotları, sayısal metotlar [8-13] ve sezgisel metotlar [14-22] olarak iki ana başlık altında toplayabiliriz. Sayısal metotlara örnek olarak Newton-Raphson (N-R) metodu [11], fast decoupled (FD) [13] ve doğrusal programlama (DP) [9] verilebilir. Sezgisel metotlara örnek olarak ise; genetik algoritma (GA) [14], parçacık sürü algoritması (PSA) [15], karınca koloni algoritması (KKA) [16] ve diferansiyel evrim algoritması (DEA) [17] verilebilir. Bu algoritmaların yanı sıra 2005 yılında Derviş Karaboğa tarafından yapay arı koloni (YAK) algoritması önerilmiştir [23]. YAK algoritması, son yıllarda birçok mühendislik problemine başarıyla uygulanmasının yanı sıra, bu algoritmanın diğer sezgisel metotlara olan üstünlükleri literatürdeki birçok çalışma ile kıyaslama yapmak suretiyle ispatlanmıştır [24-32].

Sayısal metotlar türev tabanlı ve ağır matematiksel denklemler içeren metotlardır. Sezgisel metotların sayısal metotlara göre avantajları; türetilmeyen-sürekli olmayan problemlere uygulanabilmeleri, yerel optimum noktalarına daha az takılmaları ve simülasyon sürelerinin kısalığıdır. Bu avantajlarından dolayı günümüzde birçok sezgisel metot, enerji sistemlerinde karşılaşılan birçok problemin çözümünde tercih edilmektedir.

Sezgisel metotların yukarıda bahsedilen avantajlarına rağmen, AA-DA sistemler üzerine yapılan çalışmaların büyük bir çoğunluğunda sayısal metotlar [33-39], sezgisel metotlardan daha fazla kullanılmıştır [40-42].

Enerji iletim hatlarından aktarılan güçlerin sınır değerlere ulaşması ve güç elektroniğindeki gelişmelerin enerji sistemlerine uygulanması sonucunda doğru akım (DA) hattı ile enerji iletimi günden güne daha yaygın olarak kullanılmaktadır. DA hattı üzerinden enerji iletiminin sağladığı avantajlar arasında, iletim hattından reaktif gücün iletilmemesi, uzun mesafelerde daha az enerji kaybı ile enerji iletimi ve hattın hızlı kontrolü gösterilebilir [43]. DA iletim hatlarının dezavantajı olarak çevirici maliyetleri gösterilebilir. Dünya üzerinde kullanımı gün geçtikçe artan AA-DA sistemleri ile güç akışı, bilim insanlarının üzerinde uzun yıllardır çalışmakta oldukları bir konudur. Bu konu üzerine yapılan çalışmalar son yıllarda pozitif bir ivme kazanmıştır.

Bu girişten sonra Bölüm 2 içerisinde AA-DA enerji sistemlerinde güç akışı ve GHKKOGA detaylı bir biçimde açıklanmış, Bölüm 3'te sezgisel metotlardan ve çeşitlerinden bahsedilmiş, ayrıca bu çalışmada kullanılan yöntemin detayları verilmiş, Bölüm 4'te önerilen yöntemin test sistemleri üzerinde sayısal uygulaması anlatılmış ve bu çalışmadan elde edilen simülasyon sonuçları verilmiştir. Son olarak Bölüm 5'te bu çalışmadan elde edilen sonuçlar tartışılmak suretiyle, metodun geçerliliği, verimliliği ve etkinliği ortaya konmuş ve ileriye dönük yapılması gereken çalışmalar ile ilgili öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2. ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜÇ AKIŞI

Enerji sistemlerindeki güç akışı problemi bilim insanlarının uzun yıllardır üzerinde çalışmakta olduğu bir konudur. Bu bölüm içerisinde saf AA ve AA-DA sistemlerde güç akışı ayrıntılı bir biçimde anlatıldıktan sonra OGA ile AA-DA sistemlerde geçici hal kararlılık kısıtlanmalı OGA geniş bir biçimde açıklanacak ve her bir konuya ilişkin eşitlikler detaylı olarak verilecektir.

2.1. Saf AA Sistemlerde Güç Akışı

Enerji sistemlerinin tasarım ve işletilmeleri oldukça karmaşık olup sistemlerin modellenmesinde kullanılan temel analiz, güç akışı analizidir. Enerji sistemine ait jeneratörlerin üretim sınır değerleri, bara gerilim genlik değerleri, transformatörlerin kademe değerleri, şönt kapasite değerleri gibi fiziksel kısıtlamaları da bu hesaplamalara dahil edilmektedir. Analiz sonucunda tüm baraların gerilim genlik ve açı değerleri ile sistem içerisindeki güç değerleri hesaplanır. Hesaplamalar yapılırken aksi belirtilmedikçe enerji sisteminin dengeli, üç fazlı ve sürekli hal koşulu altında olduğu varsayılacaktır.

2.1.1. Genel bakış

Enerji sistemlerinde baralar salınım barası (slack barası), jeneratör barası (PV barası) ve yük barası (PQ barası) olmak üzere üç gruba ayrılır. Her baranın tüm özellikleri $|V|$ bara gerilim genliği, δ bara gerilim açısı, P bara aktif gücü ve Q bara reaktif gücü olmak üzere dört değişken yardımıyla belirlenir. Bu üç bara grubuna ait özellikler aşağıdaki gibi açıklanabilir.

Salınım Barası: Güç akışı analizi için her sistemde bir tane salınım barası seçilir. Bu barada, gerilim genliği ve açısı bilinir, aktif ve reaktif güç değerleri hesaplanır. Salınım barasının açısı değeri diğer baraların açısı değerleri için referans olarak alınır.

Jeneratör Barası: Bu baralarda, aktif güç ile gerilim genlik değeri bilinir. Bu nedenle bu tip baralar PV barası olarak adlandırılır. Analiz neticesinde bu tip baraların gerilim açıları ve reaktif güçleri hesaplanır.

Yük Barası: Bu baralarda, aktif ve reaktif güç değerleri bilindiğinden bu baralar PQ barası olarak da adlandırılır. Analiz neticesinde bu tip baraların gerilim genlik ve açıları hesaplanır.

2.1.2. Bara admitans matrisi

Bara admitans matrisi şebeke düğümlerine uygulanan akımlar, düğüm gerilimleri ve düğümlere bağlı şebeke elemanlarının admitansları ile ilişkilidir. Matris, enerji sistemlerindeki muhtelif şebeke bileşenlerinin elektriksel davranışlarını karakterize eden basit bir gösterim şeklidir.

N baralı bir güç sistemi için düğüm denklemlerini kullanılmak suretiyle yazılan şebekeye denklemi en genel halde aşağıdaki gibi verilir:

$$[I]_{bara} = [Y]_{bara} [V]_{bara} \quad (2.1)$$

Bu ifadede $[I]_{bara}$ akım vektörünü, $[V]_{bara}$ gerilim vektörünü, $[Y]_{bara}$ ise bara admitans matrisini ifade etmektedir. Bu bağıntı daha açık bir şekilde aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1i} & \cdots & Y_{1N} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2i} & \cdots & Y_{2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \cdots & Y_{ii} & \cdots & Y_{iN} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{N1} & Y_{N2} & \cdots & Y_{Ni} & \cdots & Y_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_N \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

Bara admitans matrisindeki Y_{ii} terimi self admitans, Y_{ij} terimi ise transfer admitansı olarak adlandırılır. i 'nci baranın self admitansı o baraya bağlı tüm şebeke elemanlarının admitanslarının toplamına eşittir ve aşağıdaki eşitlik ile gösterilir:

$$Y_{ii} = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N y_{ij} \quad (2.3)$$

ij 'inci baraların transfer admitansı ise i 'nci ve j 'inci baralar arasındaki ortak şebeke elemanının admitansının negatif değerine eşittir ve aşağıdaki gibi gösterilir:

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (2.4)$$

2.1.3. Güç akışı eşitlikleri

Bir enerji sisteminde i 'nci baradan alternatif akım hattına aktarılan görünür güç birim değer olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.5)$$

Yukarıdaki eşitlikteki akım fazörünün eşlenik değeri, bara gerilimleri ve şebeke elemanlarının admitansları cinsinden yazılacak olursa aşağıdaki ifade elde edilir:

$$I_i^* = \sum_{j=1}^N Y_{ij}^* V_j^* \quad i = 1, \dots, N \quad (2.6)$$

Bu ifadedeki ij 'inci baraların transfer admitansı Y_{ij} , yukarıda da ifade edildiği gibi bara admitans matrisinin (i, j) elemanı olup aşağıdaki gibi yazılır:

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (2.7)$$

Buradaki G_{ij} terimi i 'nci ve j 'inci baralar arasındaki admitansın gerçel kısmını, B_{ij} terimi ise i 'nci ve j 'inci baralar arasındaki admitansın sanal kısmını göstermektedir. Ayrıca (2.5) eşitliğindeki V_i ifadesi aşağıdaki şekilde de ifade edilebilir:

$$V_i = V_i(\cos \delta_i + j \sin \delta_i) \quad (2.8)$$

Bu ifade tekrar düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$S_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) + j V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.9)$$

Bu ifadedeki δ_{ij} i 'nci ve j 'inci baralar arasındaki farz farkını göstermektedir. (2.9) eşitliği gerçel ve sanal kısımlarına ayrılacak olursa, i 'nci baradan alternatif iletim hatlarına aktarılan aktif ve reaktif güç değerleri sırasıyla aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.10)$$

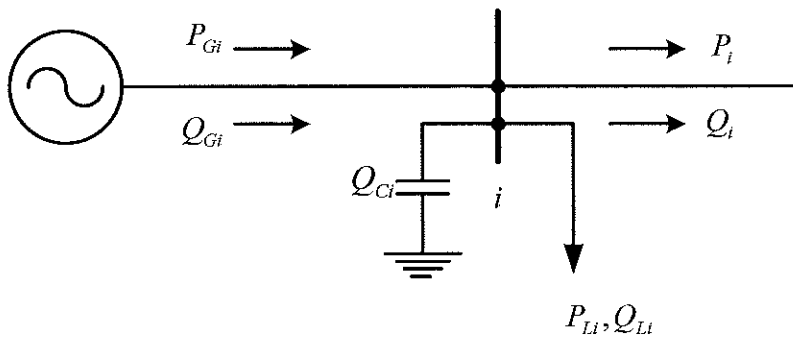
$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^N V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.11)$$

Genel amaçlı bir bara gösterimi Şekil 2.1'de verilmiştir. Burada i 'nci baraya bağlı jeneratör aktif gücü P_{Gi} , yükün aktif bileşeni P_{Li} ve iletim hatlarına aktarılan aktif güç değeri P_i olmak üzere baradaki aktif güç dengesi aşağıdaki gibi verilebilir:

$$P_{Gi} = P_{Li} + P_i \quad (2.12)$$

Yine i 'nci baraaya bağlı jeneratör reaktif gücü Q_{Gi} , kontrollü şönt reaktörün gücü Q_{Ci} , yükün reaktif bileşeni Q_{Li} ve iletim hatlarına aktarılan reaktif güç değeri Q_i olmak üzere bu baradaki reaktif güç dengesi de aşağıdaki gibi verilebilir:

$$Q_{Gi} = Q_{Li} + Q_i - Q_{Ci} \quad (2.13)$$



Şekil 2.1. Genel amaçlı bara gösterimi [43]

2.1.4. Güç akışı algoritmaları

Bütün kontrol problemlerinde olduğu gibi güç akışı probleminde de sistemin durum uzayı kontrol (u) ve durum (x) değişkenlerinden meydana gelir. Güç akışı hesaplamalarında kontrol değişkenleri sabit tutularak, durum değişkenleri aranır. Durum değişkenleri için birinci iterasyonda tahmini başlangıç değerleri atanır. İlk iterasyon sonucunda elde edilen değerler, iterasyon başlangıcında verilen değerler ile karşılaştırılır. Eğer aradaki fark tolerans değerinden küçük ise algoritma sonlandırılır; büyük ise durum değişkenlerinin yeni değerleri ile bir sonraki iterasyona gidilir. Bu durum durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder.

Yukarıda ana hatlarıyla anlatılan güç akış probleminin çözümünde bugüne kadar birçok metot kullanılmıştır. Bu metotların en çok bilinenleri Gauss-Seidel, N-R ve

FD metodudur. Bu çalışmada da literatürdeki birçok çalışmada olduğu gibi N-R metodu kullanılmıştır.

2.1.4.1. N-R metodu ile güç akışı

N-R doğrusal olmayan eşitlik problemlerinin çözümünde kısa sürede ve az iterasyonda sonuca ulaşmasından dolayı, çokça kullanılan bir metottur. Bu nedenle büyük güç sistemlerinde güç akışının çözümü için N-R kullanılır. N-R metodunda sabit tutulan, aranan ve sonunda hesaplanan değerler Tablo 2.1.'de verilmiştir.

Tablo 2.1. N-R değerleri

	Bara tipi		
	Salınım	PV	PQ
N-R boyunca sabit tutulan değerler	V ve δ	P ve V	P ve Q
N-R boyunca aranan değerler	--	δ	V ve δ
N-R bittikten sonra hesaplanan değerler	P ve Q	Q	--

Bu yöntemde:

$$y = f(x) \quad (2.14)$$

denkleminin köklerini bulmak için denklem $x^{(0)}$ noktasında Taylor serisine açılır:

$$y = f(x^{(0)}) + \frac{1}{1!} \frac{df(x^{(0)})}{dx} (x - x^{(0)}) + \frac{1}{2!} \frac{d^2 f(x^{(0)})}{dx^2} (x - x^{(0)})^2 + \dots \quad (2.15)$$

Buradaki ikinci ve daha yüksek terimler ihmal edilerek;

$$y = f(x^{(0)}) + (x - x^{(0)}) f'(x^{(0)}) \quad (2.16)$$

elde edilir. (2.16) eşitliği çözülerek iyileştirilmiş $x^{(1)}$ aşağıdaki gibi bulunur:

$$x^{(i)} = x^{(0)} + \left(\frac{y - f(x^{(0)})}{f'(x^{(0)})} \right) \quad (2.17)$$

Aynı şekilde ilerleyen iterasyonlar için de aşağıdaki genelleştirilmiş ifade elde edilir:

$$x^{(k+1)} = x^{(k)} - \left(\frac{y - f(x^{(k)})}{f'(x^{(k)})} \right) \quad (2.18)$$

Bu durumda n-boyutlu doğrusal olmayan denklem seti için aşağıdaki genel ifade verilebilir:

$$F(X) = Y \quad (2.19)$$

Bu denklem için de en genel halde aşağıdaki ifade elde edilir:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} - \left(\frac{Y - F(X^{(k)})}{F'(X^{(k)})} \right) \quad (2.20)$$

Yukarıdaki eşitlikte $F'(X)$, $F(X)$ 'in Jakobien matrisi olarak adlandırılmakta olup aşağıdaki gibi gösterilir:

$$F'(X) = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.21)$$

Yukarıdaki eşitlikler yardımı ve $J^{(k)} = F'(X^{(k)})$ tanımı ile bir sonraki iterasyondaki değerler aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$X^{(k+1)} = X^{(k)} + [J^{(k)}]^{-1}(Y - F(X^{(k)})) \quad (2.22)$$

Eşitlik (2.22)'i daha açık biçimde yazıldığında aşağıdaki ifadeler bulunur:

$$[X]^T = [\delta_2 \quad \delta_3 \quad \cdots \quad \delta_n \quad V_{ng+1} \quad V_{ng+2} \quad \cdots \quad V_n] \quad (2.23)$$

$$[Y]^T = [P_{hat2} \quad P_{hat3} \quad \cdots \quad P_{hatn} \quad Q_{hat(ng+1)} \quad Q_{hat(ng+2)} \quad \cdots \quad Q_{hat(n)}] \quad (2.24)$$

$$[F(x)]^T = [P_2 \quad P_3 \quad \cdots \quad P_n \quad Q_{(ng+1)} \quad Q_{(ng+2)} \quad \cdots \quad Q_{(n)}] \quad (2.25)$$

Yukarıdaki eşitlikler doğrultusunda (2.21) eşitliği tekrar düzenlenecek olursa aşağıdaki matris elde edilir.

$$[J] = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_2}{\partial V_{NG+1}} & \frac{\partial P_2}{\partial V_{NG+2}} & \cdots & \frac{\partial P_2}{\partial V_n} \\ \frac{\partial P_3}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial P_3}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_3}{\partial V_{NG+1}} & \frac{\partial P_3}{\partial V_{NG+2}} & \cdots & \frac{\partial P_3}{\partial V_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial P_n}{\partial V_{NG+1}} & \frac{\partial P_n}{\partial V_{NG+2}} & \cdots & \frac{\partial P_n}{\partial V_n} \\ \frac{\partial Q_{NG+1}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{NG+1}}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial Q_{NG+1}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{NG+1}}{\partial V_{NG+1}} & \frac{\partial Q_{NG+1}}{\partial V_{NG+2}} & \cdots & \frac{\partial Q_{NG+1}}{\partial V_n} \\ \frac{\partial Q_{NG+2}}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_{NG+2}}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial Q_{NG+2}}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_{NG+2}}{\partial V_{NG+1}} & \frac{\partial Q_{NG+2}}{\partial V_{NG+2}} & \cdots & \frac{\partial Q_{NG+2}}{\partial V_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_2} & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_3} & \cdots & \frac{\partial Q_n}{\partial \delta_n} & \frac{\partial Q_n}{\partial V_{NG+1}} & \frac{\partial Q_n}{\partial V_{NG+2}} & \cdots & \frac{\partial Q_n}{\partial V_n} \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Yukarıdaki eşitliği ise daha sade bir şekilde aşağıdaki gibi ifade edebiliriz.

$$[J] = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

(2.26) içerisindeki ifadelerin açık hali aşağıdaki eşitlikler ile verilebilir.

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = J_1(i,i) = V_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_j (-G_{ij} \sin \delta_{ij} + B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.28)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = J_1(i, j) = V_i V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.29)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_i} = J_2(i, i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) + 2V_i G_{ii} \quad (2.30)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial V_j} = J_2(i, j) = V_i (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = J_3(i, i) = V_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.32)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = J_3(i, j) = -V_i V_j (G_{ij} \cos \delta_{ij} + B_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = J_4(i, i) = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^N V_j (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) - 2V_i B_{ii} \quad (2.34)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = J_4(i, j) = V_i (G_{ij} \sin \delta_{ij} - B_{ij} \cos \delta_{ij}) \quad (2.35)$$

Ayrıca (2.22) eşitliğinin diğer bir gösterimi aşağıda gibi verilebilir.

$$\Delta X^{(k)} = [J^{(k)}]^{-1} \Delta Y^{(k)} \quad (2.36)$$

Her iterasyon için $\Delta X^k = X^{(k+1)} - X^{(k)} < \varepsilon$ kontrolü yapılır ve bu eşitlik sağlanıncaya kadar algoritma devam eder.

N-R metodu ile güç akışı algoritması aşağıdaki şu adımlardan oluşur.

Adım 1. Sistem verileri girilir ve bara admitans matrisi oluşturulur.

Adım 2. Oluşan bara admitans matrisi yardımıyla hatlardan aktarılan aktif ve reaktif güç değerleri hesaplanır.

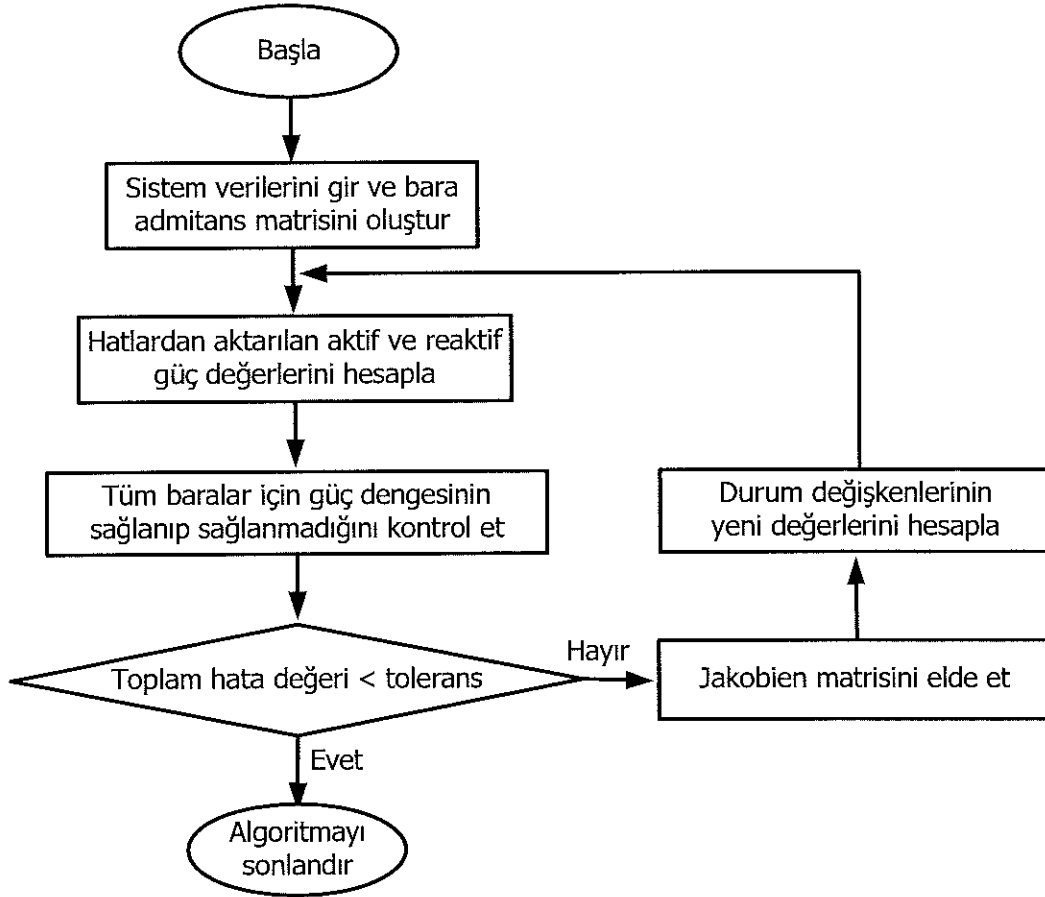
Adım 3. Her bara için güç dengesinin sağlanıp sağlanmadığı kontrol edilir.

Adım 4. Kontrol sonucu toplam hata değeri tolerans değerinden küçük ise algoritma sonlandırılır değilse bir sonraki adıma gidilir.

Adım 5. Sistemin jakobien matris değerleri elde edilir.

Adım 6. Mevcut değerler ve Jakobien matris yardımıyla değişkenlerin yeni değerleri bulunur ve Adım 2'ye gidilir.

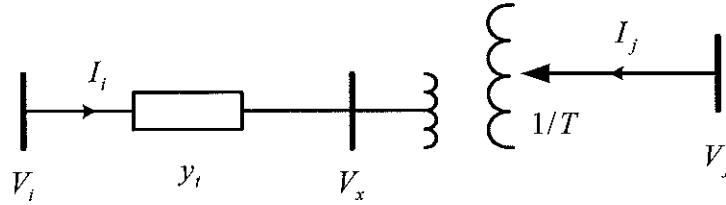
Şekil 2.2'de N-R güç akış diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 2.2. N-R güç akış diyagramı [43]

2.1.5. Kademe ayarlı transformatörler

Bir güç sisteminde iletim hattından aktarılan aktif güç, uç gerilimlerinin açı farkına bağlı iken reaktif güç, uç gerilimlerinin genliklerinin farkına bağlıdır. Böylece hatta bulunan bir kademe ayarlı transformatör ile hattan aktarılan reaktif güç ayarlanabilir. Kademe ayarlı transformatörün genel gösterimi Şekil 2.3'te gösterilmiştir. Buradaki y_i değişkeni nominal dönüştürme oranına göre admitans değerini birim değeri olarak ifade eder ve T ise gerilimde yaklaşık $\mp\%15$ değerinde değişim sağlayan transformatör kademe değerini göstermektedir.



Şekil 2.3. Kademe ayarlı transformatörün genel gösterimi [44]

Kademe ayarlı transformatörün genel gösterimine ait denklemler aşağıdaki gibi çıkartılabilir:

$$V_x = \frac{V_j}{T} \quad (2.37)$$

$$I_i = -TI_j \quad (2.38)$$

$$I_i = y_i(V_i - V_x) \quad (2.39)$$

(2.39) eşitliğindeki V_x büyüklüğü yerine (2.37) yazılırsa, aşağıdaki ifadeye gelinir:

$$I_i = y_i \left(V_i - \frac{V_j}{T} \right) \quad (2.40)$$

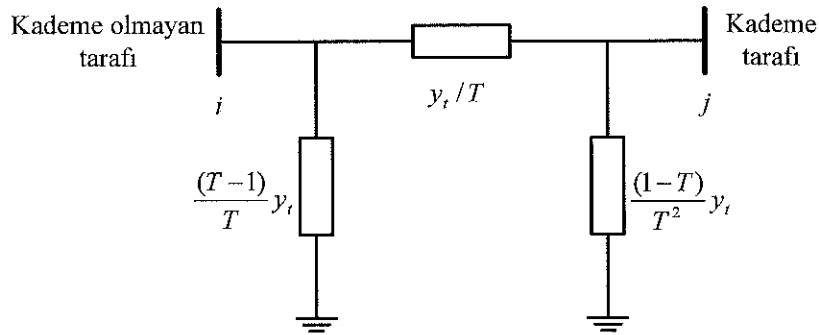
$$I_j = \frac{-I_i}{T} \quad (2.41)$$

(2.41) eşitliğindeki I_i büyüklüğü yerine ise (2.40) yazılırsa, aşağıdaki ifadeye gelinir:

$$I_j = -\frac{y_t}{T} \left(V_i - \frac{V_j}{T} \right) = -\frac{y_t}{T} V_i + \frac{y_t}{T^2} V_j \quad (2.42)$$

(2.40) ve (2.42) eşitlikleri matris olarak düzenlenirse aşağıdaki ifade elde edilir. Bu denklem takımına ait π eşdeğer modeli Şekil 2.4'te gösterilmiştir.

$$\begin{bmatrix} I_i \\ I_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_t & -\frac{y_t}{T} \\ -\frac{y_t}{T} & \frac{y_t}{T^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_i \\ V_j \end{bmatrix} \quad (2.43)$$



Şekil 2.4. Kademe ayarlı transformatörün π eşdeğer devre modeli [44]

2.2. AA-DA Sistemlerde Güç Akışı

Bilim insanları tarafından AA-DA sistemlerdeki güç akışının gerçekleştirilebilmesi için bugüne kadar birleşik ve ayırık olmak üzere iki farklı yöntem önerilmiştir. Bu çalışma içerisinde ise bu yöntemlerden ayırık olanı kullanılmış olup bu yöntemin detayları ilerleyen bölümlerde verilmiştir.

2.2.1. Genel bakış

Günümüzde yüksek gerilimli doğru akım (YGDA) iletim sistemleri AA iletim sistemlerinin alternatifi olarak kabul edilmektedir. YGDA sistemin AA iletim sistemlerine göre hem çok uzun iletim mesafelerinde hem de yer altı, su altı ve farklı frekanstaki sistemleri birbirlerine bağlamada daha ekonomik bir çözüm olduğu kanıtlanmıştır.

Yukarıdaki avantajlara ek olarak, gelişen yarı iletken teknolojileri ve enerji sistemleri içerisinde DA iletim hattının gün geçtikçe daha yaygın kullanımı bilim insanlarını bu konu üzerine çalışmaya sevk etmiştir.

AA-DA sistemleri, Saf AA sistemler içerisine DA iletim hattının eklenmesiyle elde edilmiştir. DA iletim hatlarının AA sistemleri ile birlikte kullanılmasının avantajları şu şekilde özetlenebilir:

- Farklı iletim frekansına sahip güç sistemlerin birleştirilebilmesi,
- Aralarında çok uzun mesafe bulunan üretim ve tüketim bölgelerinin birbirlerine bağlanabilmesi,
- Adalara veya deniz aşırı tüketim bölgelerine güç iletiminin yapılabilmesi,
- AA sistemlere nazaran daha hızlı kontrol edilebilmeleri,
- DA iletim hattından reaktif gücün iletilmemesidir.

Çevirici istasyonlarının yüksek maliyeti bu iletim sisteminin dezavantajıdır. Yaklaşık 400 km'den uzun mesafelere AA-DA sistemleri kullanarak yapılan güç iletiminden elde edilen yarar, bu dezavantajı ortadan kaldırmaktadır.

YGDA sistemi ilk olarak elektromekanik (Thury) sistem ile 1882 yılında Miesbach-Munich güç iletim hattında kullanılmıştır. Bu hattın sadece 2.5 kW enerji iletilmiştir. YGDA, su altı enerji iletimi ise ilk olarak İsveç doğu kıyısı ile Gotland adası

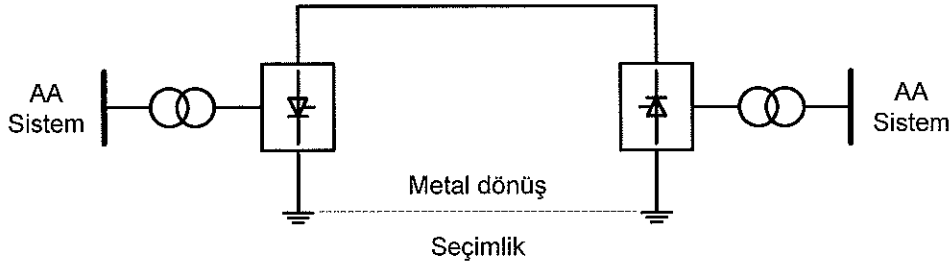
arasında 1954 yılında gerçekleşmiştir. Bu hat 90 km uzunluğundadır ve 20 MW enerji iletimi yapılmıştır. Daha sonrasında 1967 yılında İtalya-Korsika-Sardinia arasında, 1970 yılında da Kuzey Pasifik- Los Angeles arasında su altı enerji iletimi ile daha uzun mesafelerde daha yüksek güçler iletilmiştir. Bu iletim sistemleri civa-yay (mercury-arc) sistemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. YGDA iletim sisteminin önemli adımlarından biri 1972 tarihinde farklı iletim frekansına sahip iki sistemi birbirine bağlamak olmuştur. Bu bağlantı Eel Nehri ile Quebec ve Yeni Brunswick arasında yapılmıştır ve bağlantı esnasında tristörler kullanılmıştır. Küçük YGDA iletim sistemlerinde daha sonraları “Capacitor-Commutated Converter (CCC) - Kapasitör Komütasyonlu Çevirici (KKÇ)” sistemleri kullanılmıştır. Gelişen yarı iletken teknolojiyle birlikte günümüzde Insulated Gate Bipolar Transistors (IGBT) - Yalıtılmış Kapılı İki kutuplu Transistörler (YKİT), Gate Turn-Off (GTO) - Kapıdan Tıkamalı (KT) ve Integrated Gate-Commutated Thyristors (IGCT) - Tümlüşik Kapı Komütasyonlu Tristörler (TKKT) kullanılmaktadır. Voltage Source Converters (VSC) - Gerilim Kaynak Çeviricileri (GKÇ) 1997 yılından günümüze YGDA iletiminde önemli bir yere sahiptir.

YGDA sistemlerinin ilk 25 yılında, 1970’lerin ortalarına kadar çeviriciler civalı-ark’lardan yapılmıştır. Bunu takip eden 25 yıl boyunca 2000 yılına kadar çeviriciler tristörler üzerinden hatlara bağlanmıştır. Günümüzde düşük güçlü çeviriciler için IGBT (insulated gate bipolar transistors) ve GTO (gate turn-off thyristors) kullanılmaktadır. Gelecek 25 yıl boyunca da büyük güçlü çeviricilerin kullanılacağı tahmin edilmektedir.

Günümüzde kullanılan AA-DA sistem yapıları şunlardır:

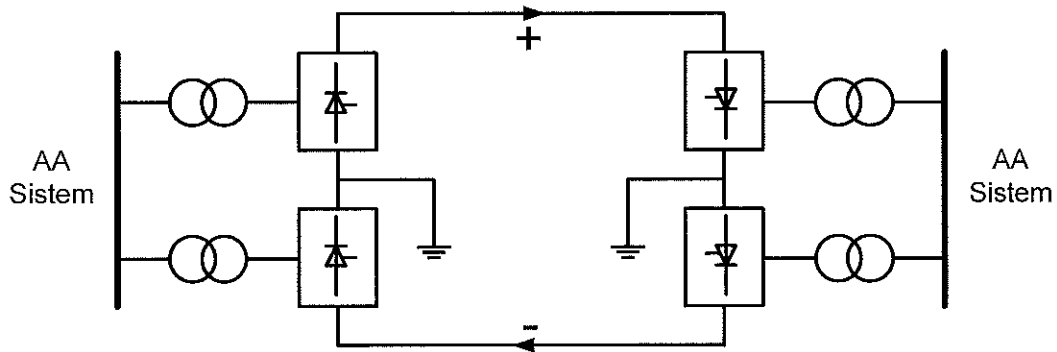
- Bir kutuplu (monopolar) hatlar
- İki kutuplu (bipolar) hatlar
- Eş kutuplu (homopolar) hatlar

Bir kutuplu hatların genel gösterimi Şekil 2.5'te verilmiştir. Burada güç iletim için tek bir iletim hattı kullanılmış olup enerjinin dönüş yolu topraktır. Opsiyonlu olarak alçak gerilimli iletken de kullanılabilir.



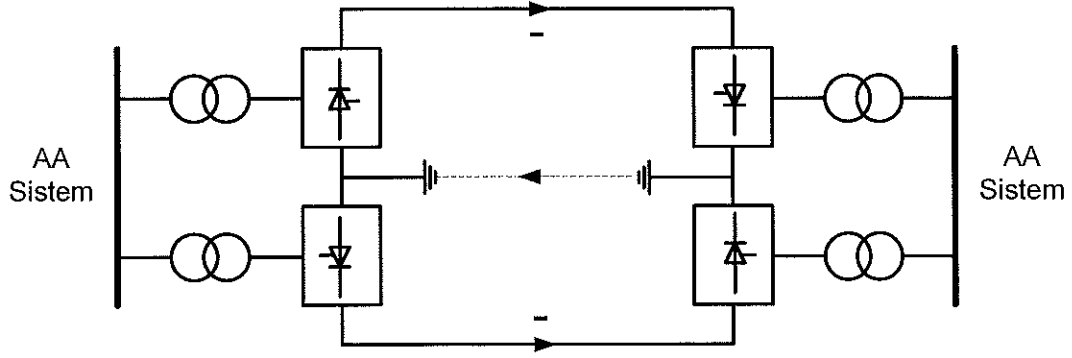
Şekil 2.5. Bir kutuplu YGDA hattı [45]

İki kutuplu YGDA hattının gösterimi Şekil 2.6'da verilmiştir. Bu güç iletim sistemi içerisinde biri pozitif diğeri negatif olan iki iletken hat kullanılır. Her uç DA iletim hattına seri bağlı eşit gerilimli iki çeviriciye sahiptir. İki çeviricinin birleşim noktaları topraklanmış ve toprak akımı ihmal edilebilir bir seviyededir.



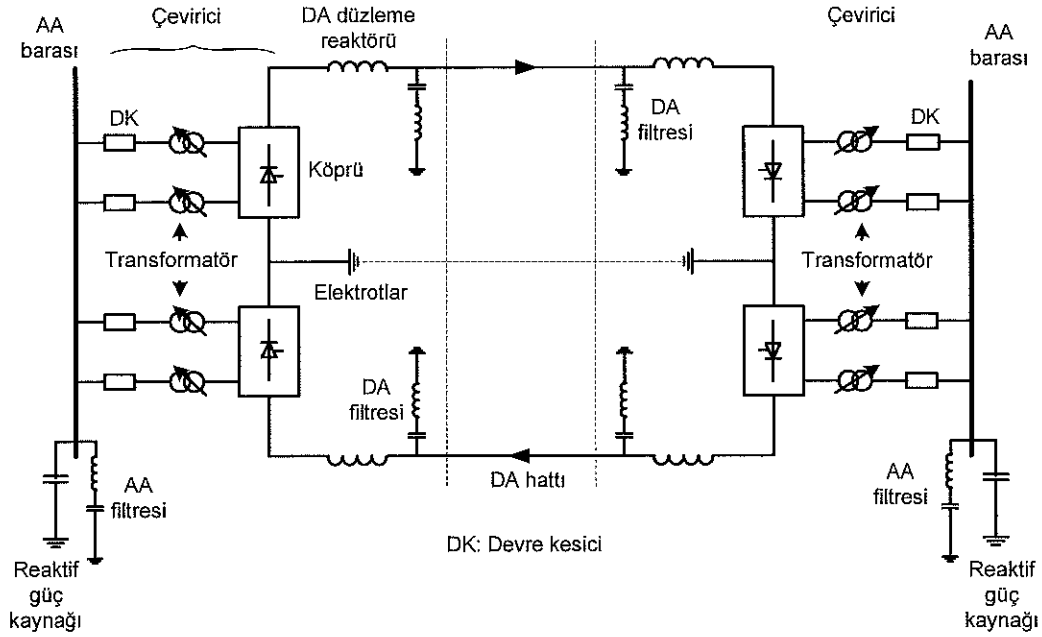
Şekil 2.6. İki kutuplu YGDA hattı [45]

Eş kutuplu YGDA hattının gösterimi Şekil 2.7'de verilmiştir. Bu iletim türünde aynı kutba sahip iki veya daha fazla iletken kullanılır. Genellikle negatif kutup tercih edilir. Böylece daha az radyo paraziti olur. Sistemin dönüş yolu genellikle topraktır. Bazı eş kutuplu YGDA hatlarında dönüş yolu metal iletkenlerdir ve bu durum, metal dönüş iletkeninin kullanıldığı gömülü metal yapılar için sakıncalı olabilir.



Şekil 2.7. Eş kutuplu YGDA hattı [45]

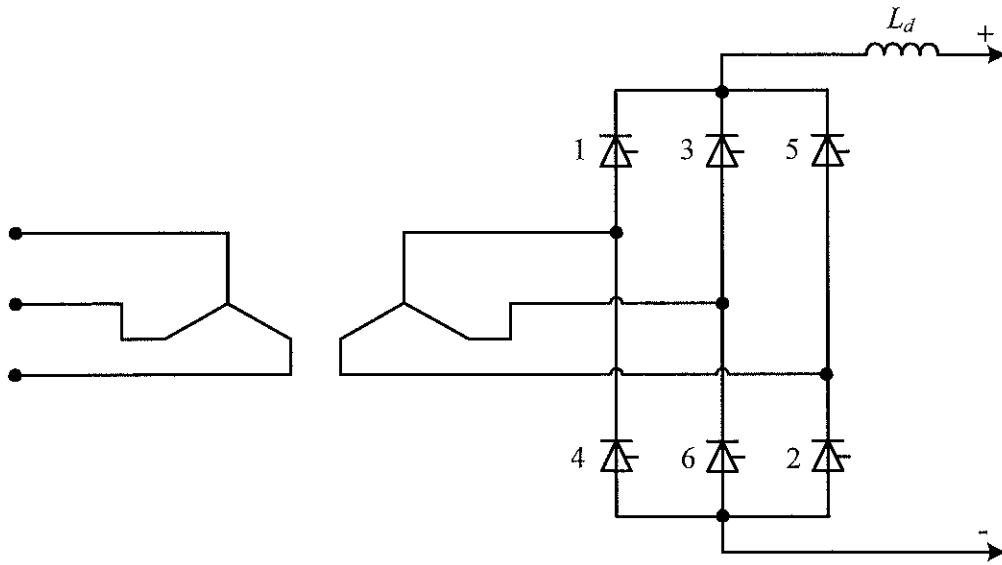
AA-DA sistemlerinin en önemli parçalarından biri çevirici istasyonlarıdır. Çevirici istasyonuna ait şema Şekil 2.8’de gösterilmiştir.



Şekil 2.8. Doğrultucu ve evirici olarak çalışan iki çeviricili istasyon şeması [45]

2.2.1.1. Çeviriciler

Bunlar AA/DA ve DA/AA dönüşümleri için kullanılır ve tristör köprüleri ile kademe ayarlı transformatörlerden oluşurlar. Tristör köprüleri Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'dan görüldüğü üzere 6 veya 12 darbe düzeninde bağlı olan yüksek gerilim tristörlerinden meydana gelebilmektedir. Çevirici transformatörleri tristör köprüsüne uygun topraklanmamış 3-fazlı bir gerilim sağlamaktadır. DA sistemi kendi referans gerilimini topraksız transformatörlerin tristör tarafı ile oluşturabilecektir. Şekil 2.9'da 6 darbeleri çevirici şeması verilmiştir.

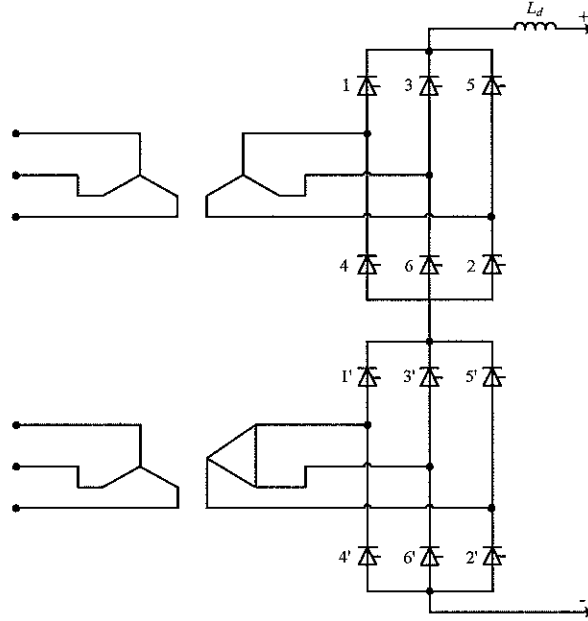


Şekil 2.9. 6 darbeleri çevirici şeması [45]

Daha yüksek bir doğru gerilim elde etmek için ise iki veya daha fazla köprü seri olarak bağlanır. Bu köprüler DA tarafında seri, AA tarafında ise paralel bağlıdır. Transformatör ise AA kaynağı ile köprü bağlı tristörler arasına bağlanır. Transformatörlerin kademe değerleri yük altında ayarlanabilir.

İki veya daha fazla köprülü çeviriciler daha yüksek darbeleri olarak üretilebilirler. Örneğin, 18-darbeleri üç köprülü veya 24-darbeleri dört köprülü gibi. Bu transformatör bağlantıları 12-darbeleri çeviriciden daha karmaşıktır. Bu yüzden günümüzdeki çevirici terminalleri 12-darbeleri olarak imal edilmektedir. 12-darbeleri bir çevirici 6-

darbeli iki çeviricinin birbirine seri olarak bağlanmasıyla elde edilir. Birbiri ile aynı özellikte olan iki köprüyü besleyen transformatörler arasında 30^0 faz farkı vardır. Bu fark Şekil 2.10'dan da görüleceği üzere bir köprünün yıldız-yıldız diğeri ise yıldız-üçgen bağlı transformatörler kullanılması ile sağlanır.



Şekil 2.10. 12 darbeli çevirici şeması [45]

2.2.1.2. Düzleme reaktörleri

Bunlar 1.0 Henry gibi büyük indüktansa sahip, her çevirici istasyonunun her kutbuna seri bağlı büyük reaktörlerdir. Aşağıdaki amaçlar için kullanılırlar:

- DA hattaki gerilim ve akımdaki harmonikleri azaltmak.
- Eviricilerdeki komutasyon hatalarını önlemek.
- Düşük güçlerdeki akım süreksizlikleri engellemek.
- DA hattındaki kısa-devre süresince doğrultucudaki tepe akımını sınırlamak.

2.2.1.3. Harmonik filtreler

Harmonik filtreleri, çeviricilerin hem AA hem de DA tarafta ürettiği harmonik gerilim ve akımlarını filtrelemek için kullanılırlar. Bu harmonikler, kapasitörler ve hemen yakınındaki jeneratörlerin aşırı ısınmasına ve jeneratörlerde ısınmaya ve telekomünikasyon sistemleri ile girişime neden olabilirler.

2.2.1.4. Reaktif güç kaynakları

DA çeviriciler doğal olarak reaktif güç çekerler. Sürekli hal koşulları altında, tüketilen reaktif güç değeri iletilen aktif gücün yaklaşık %50' si kadardır. Geçici hal koşulları altında reaktif güç tüketimi daha yüksek olabilir. Bu yüzden reaktif güç kaynakları çeviricilerin yakınına tesis edilir. Güçlü AA sistemleri için, bu kaynaklar genellikle şönt kapasiteler biçimindedir. DA hattın ve AA sistemin ihtiyaçları doğrultusunda, reaktif güç kaynağının bir kısmı senkron kondansatör veya statik var kompensatörleri biçiminde olabilir. AA filtreler ile ilişkili kapasitörler gerekli olan reaktif gücün bir kısmını da sağlayabilir.

2.2.1.5. Elektrotlar

DA hatların çoğu, zamanın çok kısa bir bölümünde toprağı bir nötr iletkeni olarak kullanacak şekilde tasarlanır. Toprak ile yapılacak bağlantı ise akım yoğunluklarını ve yüzey gerilim değişimlerini azaltmak için büyük yüzeyli iletkene ihtiyaç duyar. Bu iletken bir elektrottur. Toprak üzerinden akım akışını sınırlamak gerekirse, DA hattının bir parçası olarak metal dönüş iletkeni kullanılabilir.

2.2.1.6. DA hatları

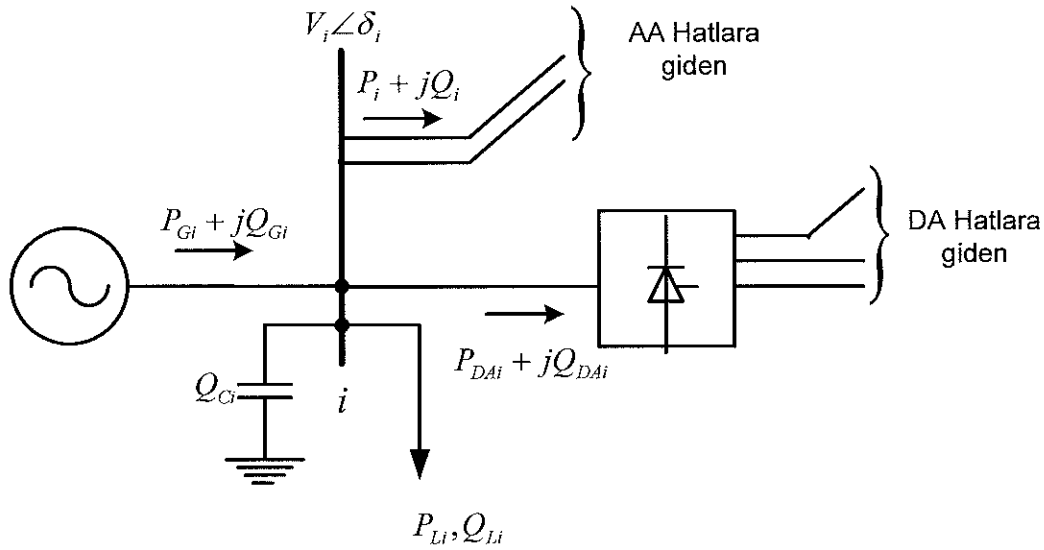
DA hatlar havai hatlar veya kablolar olabilir. DA hatlar, iletken sayısı ve gerekli alan dışında AA hatlarına çok benzerler.

2.2.1.7. AA devre kesicileri

AA tarafında kullanılan devre kesicileri, transformatördeki arızaları temizlemek ve DA hattını servis dışına almak için kullanılır. DA arızaları hızlı bir şekilde çevirici kontrolü yardımıyla çok daha hızlı olarak temizlenebildikleri için, bunlar DA arızalarının temizlenmesi için kullanılmazlar.

2.2.2 AA-DA sisteminin modellenmesi

AA-DA sisteminde bir baraya ait genel gösterim Şekil 2.11’de gösterilmiş ve güç eşitlikleri aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.11. Genel AA-DA bara gösterimi [46]

$$P_{Gi} = P_{Li} + P_i + P_{DAi} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.44)$$

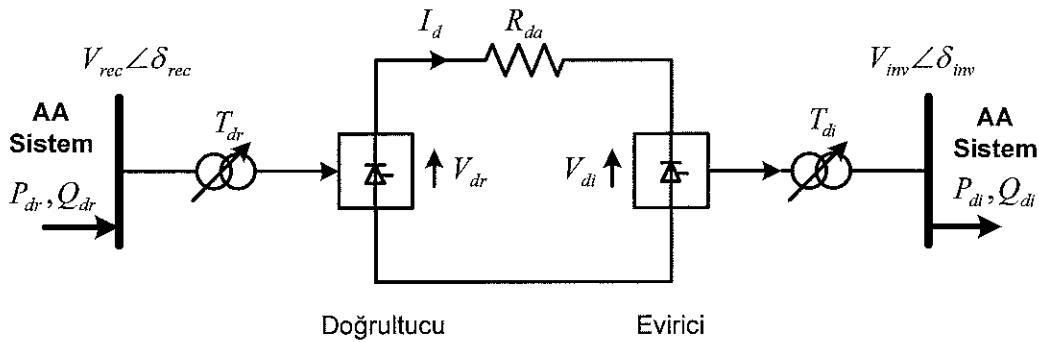
$$Q_{Gi} + Q_{Ci} = Q_{Li} + Q_i + Q_{DAi} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.45)$$

Bu ifadedeki *DA* alt indisi doğru akım iletim hattını göstermektedir.

Doğru akım sistemini analiz etmeden önce, çevirici ve doğru akım iletim hatlarının modellenmesi gerekmektedir. Modelleme, literatürde genel kabul görmüş varsayımlara dayanarak yapılacaktır. Bu varsayımlar aşağıda verilmiştir [34, 47, 48]:

- AA sistemindeki akım ve gerilime ait birinci (ana) harmonik değerleri dengelidir.
- Ana harmonik dışındaki harmonikler ihmal edilecektir.
- DA sistemindeki akım ve gerilim dalga şekillerindeki dalgalanmalar hesaba katılmayacaktır.
- Çeviricilerde kullanılan tristörler ideal anahtar kabul edilecek ve bunların iletim yönünde gerilim düşümlerinin olmadığı, kesim yönünde sonsuz direnç gösterdikleri varsayımı yapılacaktır.
- Çevirici transformatörlerin boşa çalışma akımları ve kayıpları ihmal edilecektir.
- Çevirici dirençleri ihmal edilecektir.
- Çeviricilerde oluşan komutasyon etkisi, tetikleme açısı hesaplamalarında ihmal edilecektir.

Şekil 2.12’de “r” (rectifier-doğrultucu) ve “i” (inverter-evirici) baraları arasında yerleştirilmiş iki uçlu YGDA hattın temel şeması gösterilmiştir.



Şekil 2.12. YGDA iletim hattı [49]

Şemada görünen işaretler aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır:

V = Çevirici transformatörün giriş ucuna ait gerilim

V_d = Çeviricinin doğru akım tarafı gerilimi

I_d = DA hattının doğru akım değeri

P, Q = Aktif ve reaktif güçler

AA ve DA sistemlerinde değişkenler arası ilişkiyi tanımlayan doğrultucu ve evirici için basit denklemler aşağıdaki gibi yazılabilir.

Bölüm 2.2.1'de anlatılan tek kutuplu k -darbeli bir doğrultucunun çıkışındaki ortalama doğru gerilim değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir [43].

$$V_d = nkT \frac{V_{\max}}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) \cos \alpha - \frac{nkX_c}{2\pi} I_d \quad (2.46)$$

Burada X_c komütasyon reaktansı, n seri bağlı çevirici sayısını, V_{\max} transformatörün sekonder geriliminin maximum değerini, α doğrultucu tetikleme açısını, k yük uçlarının gerilim değişiminde tam periyottaki tepe sayısını göstermektedir. Eşitlik (2.46) transformatörün sekonder geriliminin etkin değeri cinsinden yazılırsa aşağıdaki ifadeye gelinir.

$$V_d = nkT \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) \cos \alpha - \frac{nkX_c}{2\pi} I_d \quad (2.47)$$

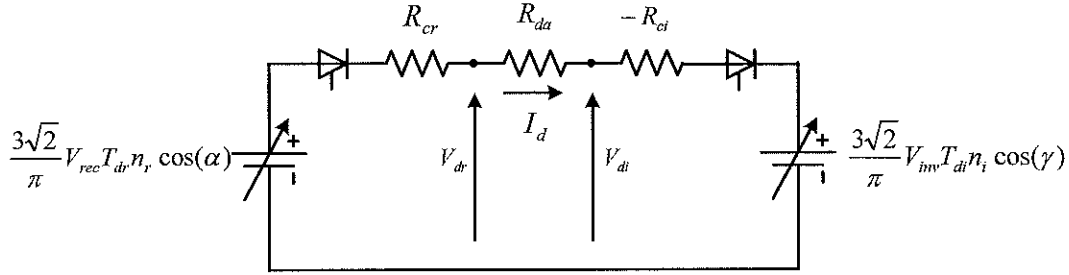
Bu eşitlik $k = 6$ için tekrar düzenlenirse aşağıdaki ifadeye gelinir.

$$V_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} VnT \cos \alpha - \frac{3}{\pi} nX_c I_d \quad (2.48)$$

Bu eşitlikler doğrultusunda doğrultucu, evirici ve hat denklemleri elde edilir.

2.2.2.1. Doğrultucu denklemleri

İki uçlu bir YGDA hattının eşdeğer devresi Şekil 2.13'teki gibi gösterilebilir. Buna göre doğrultucu tarafının yüksüz durumdaki ideal açık devre gerilimi V_{dor} ve DA hattının doğrultucu tarafı gerilimi V_{dr} aşağıdaki gibi ifade edilebilirler:



Şekil 2.13. YGDA eşdeğer devresi [45]

$$V_{dor} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{rec} n_r T_{dr} \quad (2.49)$$

$$V_{dr} = V_{dor} \cos \alpha - R_{cr} I_d \quad (2.50)$$

(2.49) ifadesindeki V_{rec} terimi, doğrultucu bağlı AA barasının geriliminin etkin değerini, n_r doğrultucu tarafındaki seri bağlı çevirici sayısını, T_{dr} doğrultucu taraftaki transformatörün kademe ayarını, R_{cr} çevirici komütasyon direncini ve α doğrultucu tetikleme açısını göstermektedir. Bu değer çeviricinin doğrultucu tarafındaki komütasyon reaktansına bağlı bir değer olup $R_{cr} = \frac{3n_r X_{cr}}{\pi}$ ifadesi ile tanımlanır. DA hattının AA tarafından çektiği aktif güç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{dr} = V_{dr} I_d \quad (2.51)$$

Çevirici ve transformatör kayıpları ihmal edilirse $P_{dr} = P_{DA}$ yazılabilir. Ayrıca doğrultucu tarafına ait faz farkı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\phi_r = \cos^{-1}(V_{dr} / V_{dor}) \quad (2.52)$$

Doğrultucu tarafındaki reaktif güç ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{dr} = |P_{dr} \tan \phi_r| \quad (2.53)$$

2.2.2.2. Evirici denklemleri

Evirici denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$V_{doi} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} V_{inv} n_i T_{di} \quad (2.54)$$

$$V_{di} = V_{doi} \cos \gamma - R_{ci} I_d \quad (2.55)$$

(2.54) ifadesindeki V_{inv} terimi, evirici bağlı AA barasının geriliminin etkin değerini, V_{doi} evirici tarafının yüksüz durumdaki ideal açık devre gerilimini, V_{di} evirici tarafı DA hat gerilimini, n_i evirici tarafındaki seri bağlı çevirici sayısını, T_{di} evirici tarafındaki transformatörün kademe ayarını, R_{ci} evirici tarafındaki çevirici komütasyon direncini ve γ evirici tetikleme açısını göstermektedir. DA hattından AA tarafına aktarılan aktif güç ise aşağıdaki eşitlik ile verilebilir.

$$P_{di} = V_{di} I_d \quad (2.56)$$

Evirici tarafına ait faz farkı ise aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\phi_i = \cos^{-1}(V_{di} / V_{doi}) \quad (2.57)$$

Evirici tarafındaki reaktif güç aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$Q_{di} = |P_{di} \tan \phi_i| \quad (2.58)$$

2.2.2.3. Hat denklemleri

DA hattına ilişkin denklem ise aşağıdaki gibi verilebilir:

$$V_{dr} = V_{di} + R_{da} I_d \quad (2.59)$$

Buradaki R_{da} DA hat direncidir.

2.2.3. Birim değer dönüşümleri

Güç sistemlerindeki hesaplamalarda, farklı yük durumları için sistemin daha kolay izlenmesi ve transformatörün sisteme kolay bir şekilde ilave edilebilmesi gibi faydalarından dolayı birim değerler kullanılmaktadır.

Literatürdeki çalışmalarda iki farklı birim değer ile hesaplamalar yapılmıştır [33, 34, 38, 46]. Bu birim değerler, gerçek değerlerin aşağıdaki baz değerlerine bölünmesiyle elde edilmiştir:

- AA baz değeri
- DA baz değeri

AA ve DA baz değerlerine ait genel eşitlikler şöyledir:

P_{AAbaz} ve V_{AAbaz} değerleri belirlendikten sonra aşağıdaki eşitlikler yazılabilir:

$$P_{AAbaz} = P_{DAbaz} = P_{baz} \quad (2.60)$$

$$I_{AAbaz} = \frac{P_{AAbaz}}{\sqrt{3}V_{AAbaz}} \quad (2.61)$$

$$Z_{AAbaz} = \frac{V_{AAbaz}}{\sqrt{3}I_{AAbaz}} \quad (2.62)$$

Bu ifadelerdeki P_{AAbaz} , V_{AAbaz} , I_{AAbaz} ve Z_{AAbaz} büyüklükleri sırasıyla, AA tarafına ait aktif gücün, gerilimin, akımın ve empedansın baz değerlerini göstermektedir.

P_{DAbaz} değeri belirlendikten sonra V_{DAbaz} aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$C_b = \frac{\sqrt{2}nk \sin\left(\frac{\pi}{k}\right)}{\pi} \quad (2.63)$$

$$V_{DAbaz} = C_b V_{AAbaz} \quad (2.64)$$

$$I_{DAbaz} = \frac{\sqrt{3}I_{AAbaz}}{C_b} \quad (2.65)$$

$$Z_{DAbaz} = C_b^2 Z_{AAbaz} \quad (2.66)$$

Bu ifadelerdeki P_{DAbaz} , V_{DAbaz} , I_{DAbaz} ve Z_{DAbaz} büyüklükleri sırasıyla, DA tarafa ait aktif gücün, gerilimin, akımın ve empedansın baz değerlerini göstermektedir.

Bu çalışma içerisinde, AA sisteme ait baz değerleri: $P_{AAbaz} = P_{DAbaz} = 100 \text{ MW}$, $V_{AAbaz} = 220 \text{ kV}$, $I_{AAbaz} = 262,4319 \text{ A}$ ve $Z_{AAbaz} = 484 \Omega$, $k = 6$ ve $n = 1$ olmak üzere DA sisteme ait baz değerleri ise $V_{DAbaz} = 297,1043 \text{ kV}$, $I_{DAbaz} = 336,5820 \text{ A}$ ve $Z_{DAbaz} = 882,7101 \Omega$ olarak alınmıştır.

2.2.3.1. AA baz değerine göre birim değer dönüşümleri

Bu dönüşüm ile gerçek değerlerin tümü AA baz değerlerine bölünmek suretiyle birim değerler aşağıdaki eşitliklerle elde edilir:

$$v = \frac{V}{V_{AAbaz}} \quad (2.67)$$

$$v_d = \frac{V_d}{V_{AAbaz}} \quad (2.68)$$

$$i_d = \frac{I_d}{I_{AAbaz}} \quad (2.69)$$

$$x_c = \frac{X_c}{Z_{AAbaz}} \quad (2.70)$$

Bu ifadelerdeki v , v_d , i_d ve x_c değişkenleri sırasıyla AA geriliminin, DA geriliminin, DA hat akımının ve AA hattının self endüktansının AA baz değerlerine bölünmesiyle elde edilen birim değerleri göstermektedir.

Eşitlik (2.47) ile verilen DA gerilimin gerçek değerini V_{AAbaz} 'a bölmek suretiyle aşağıdaki birim değerler elde edilir:

$$\frac{V_d}{V_{AAbaz}} = \frac{nkT \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) \cos \alpha}{V_{AAbaz}} - \frac{\frac{nkX_c}{2\pi} I_d}{V_{AAbaz}} \quad (2.71)$$

$$\frac{V_d}{V_{AAbaz}} = \frac{nkT \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) \cos \alpha}{V_{AAbaz}} - \frac{\frac{nkX_c}{2\pi} I_d}{\sqrt{3}Z_{AAbaz} I_{AAbaz}} \quad (2.72)$$

$$v_d = \frac{\sqrt{2}}{\pi} vkT \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) \cos \alpha - \frac{nkx_c}{2\sqrt{3}\pi} i_d \quad (2.73)$$

Yukarıdaki eşitlik $k = 6$ ve $n = 1$ için yeniden düzenlenirse aşağıdaki ifadeye gelinir.

$$v_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} vT \cos \alpha - \frac{\sqrt{3}}{\pi} x_c i_d \quad (2.74)$$

DA hattının çektiği/aktardığı güç de aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{da} = v_d i_d \quad (2.75)$$

Yüksüz durumdaki ideal açık devre gerilimi ise aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$v_{do} = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} vT \quad (2.76)$$

DA gerilimi ile yüksüz durumdaki ideal açık devre gerilimi arasındaki faz farkı da aşağıdaki eşitlik ile verilebilir.

$$\phi_d = \cos^{-1}(v_d / v_{do}) \quad (2.77)$$

Çeviriciler tarafından çekilen reaktif güç değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$q_{da} = |p_{da} \tan \phi_d| \quad (2.78)$$

2.2.3.2. DA baz değerine göre birim değer dönüşümleri

Bu dönüşüm içerisinde tüm değişkenler DA baz değerlerine bölünmek suretiyle birim değerleri elde edilmiştir.

$$v'_d = \frac{V_d}{V_{DAbaz}} \quad (2.79)$$

$$i'_d = \frac{I_d}{I_{DAbaz}} \quad (2.80)$$

$$r_c = \frac{\frac{nkX_c}{2\pi}}{Z_{DAbaz}} = \frac{\frac{nkX_c}{2\pi}}{K_b^2 Z_{AAbaz}} = \frac{\pi x_c}{4np \sin^2\left(\frac{\pi}{k}\right)} \quad (2.81)$$

Bu ifadelerde geçen v'_d , i'_d ve r_c değişkenleri sırasıyla, DA geriliminin, akımının ve komütasyon direncinin DA baz değerlerine bölünmesiyle elde edilen birim değerlerini göstermektedir.

$$\frac{V_d}{V_{DAbaz}} = \frac{nkT \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) \cos \alpha}{V_{DAbaz}} - \frac{\frac{nkX_c}{2\pi} I_d}{V_{DAbaz}} \quad (2.82)$$

$$\frac{V_d}{V_{DAbaz}} = \frac{nkT \frac{\sqrt{2}V}{\pi} \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) \cos \alpha}{\frac{\sqrt{2}nk \sin\left(\frac{\pi}{k}\right) V_{AAbaz}}{\pi}} - \frac{\frac{nkX_c}{2\pi} I_d}{Z_{DAbaz} I_{DAbaz}} \quad (2.83)$$

$$v'_d = vT \cos \alpha - r_c i'_d \quad (2.84)$$

$$p_{da} = v'_d i'_d \quad (2.85)$$

$$v'_{do} = vT \quad (2.86)$$

$$\phi_d = \cos^{-1}(v'_d / v'_{do}) \quad (2.87)$$

$$q_{da} = |p_{da} \tan \phi_d| \quad (2.88)$$

2.2.4. AA-DA sistemleri için güç akışı yaklaşımları

Bilim adamları, AA-DA sistemlerinde güç akışı için bugüne kadar iki farklı yöntem önermişlerdir. Bu yöntemler birleşik yöntem ve ayrık yöntemdir. Birleşik yöntemde, DA sistemine ait değişkenler jakobien matrisin içerisine dahil edilir ve AA-DA sistemlerine ait değerler birlikte hesaplanır. Ayrık yöntemde ise DA hattının çektiği/aktardığı, aktif ve reaktif güçler AA sistemi için birer yük olarak kabul edilir. DA hattının bağlı olduğu baralarda yük güncellemesi yapılır. Güncellemeden sonra AA sistemi için güç akışı yapılır. AA güç akışı sonlandıktan sonra DA güç akışı işlemleri başlar ve algoritma bu şekilde devam eder.

Ayrık yöntem ile güç akışı içerisinde, saf AA sistemler için yazılmış olan güç akışı programı, AA-DA sistemler için de kullanılabilir. DA sistemine ait değişkenlerin Jakobien matrisine dahil edilmediği için de matrisin boyutu büyümmez. Jakobien matrisin boyutunun büyümemesi daha kısa sürede çözüm imkanını sağlayacaktır. Bu sebeplerden dolayı tez çalışması içerisinde ayrık yöntem ile güç akışı çözümü tercih edilmiştir.

Ayrık yöntem ile AA-DA sistemleri için güç akışı algoritması aşağıdaki adımlardan oluşmaktadır:

Adım 1: AA ve DA sistemlere ait hat parametreleri girilir.

Adım 2: AA sisteme ait bara admitans matrisi oluşturulur.

Adım 3: N-R başlangıcında salınım barası hariç diğer tüm jeneratörlerin aktif gücü, tüm jeneratör baralarının gerilim genlik değerleri, kademe ayarlı transformatörlerin kademe ayar değerleri, şönt kapasite değerleri, DA hattından iletilecek aktif ve reaktif güç değerleri ve DA hattı akım değerleri belirlenir.

Adım 4: DA hattının bağlı olduğu AA barasındaki yük değerleri aşağıdaki gibi güncellenir:

$$\begin{aligned} P_L^{Güncel} &= P_L + P_{DA} \\ Q_L^{Güncel} &= Q_L + Q_{DA} \end{aligned} \quad (2.89)$$

Doğrultucu barası için:

$$\begin{aligned} P_{DA} &= P_{dr} \\ Q_{DA} &= Q_{dr} \end{aligned} \quad (2.90)$$

Evirici barası için:

$$\begin{aligned} P_{DA} &= -P_{di} \\ Q_{DA} &= Q_{di} \end{aligned} \quad (2.91)$$

Adım 5: Başlangıç değerleri belirlenmiş N-R güç akışı programı çalıştırılır.

Adım 6: Saf AA sisteme ait sonuçlar neticesinde DA iletim sistemine ait değişkenler aşağıdaki gibi hesaplanır:

Faz farkı:

$$\phi = \arctan\left(\frac{Q_{DA}}{P_{DA}}\right) \quad (2.92)$$

Doğru gerilim:

$$V_d = \frac{P_{DA}}{I_{DA}} \quad (2.93)$$

Yüksüz durumdaki ideal doğru gerilim:

$$V_{do} = \frac{V_d}{\cos\phi} \quad (2.94)$$

Transformatör kademesi:

$$T = \frac{V_{do}}{n \frac{3\sqrt{2}V}{\pi}} \quad (2.95)$$

Doğrultucu ve evirici tetikleme açıları:

$$\alpha, \gamma = \arccos\left(\frac{V_d + R_c I_{DA}}{V_{do}}\right) \quad (2.96)$$

Adım 7: Algoritmayı sonlandır.

AA-DA sistemlerde ayırık metot ile güç akışının başlangıç değerlerinin bulunmasında sezgisel metot kullanılacağından her arı için yukarıdaki işlemler bir kez yapılacaktır. Sezgisel metotlar hakkında detaylı bilgi bölüm 3'te verilecektir.

2.3. Saf AA Sistemlerde OGA

OGA, elektrik sistemlerinin belirlenen amaç içerisinde en iyiye ulaşmasında, sistemlerin daha verimli çalışmasında ve gelecek yıllarda kurulması muhtemel sistemlerin planlanmasında önemli bir yere sahiptir. Bununla birlikte OGA tüketiciler için daha güvenli ve ekonomik koşulların belirlenmesi anlamına da gelmektedir.

Literatürde OGA, sınırlı ve doğrusal olmayan bir problem olarak tanımlanmıştır. OGA içerisinde bir dizi eşitlik ve eşitsizlik denklemleri sağlanarak, amaç fonksiyonu minimize edilmektedir. Matematiksel olarak OGA,

$g(x,u) = 0$ eşitlik ve $h(x,u) \leq 0$ eşitsizlik kısıtlamaları altında

$$f(x,u) \quad (2.97)$$

amaç fonksiyonunu minimize etmek şeklinde tanımlanır. Burada $f(x,u)$, toplam üretim maliyetini ve çeşitli kısıtlamaları içeren amaç fonksiyonudur. $g(x,u)$, belirtilen çalışma koşullarında aktif ve reaktif güç akışı kısıtlamalarıdır. $h(x,u)$, kontrol ve durum değişkenlerinin fiziksel kısıtlamalarıdır.

Burada u problemin kontrol değişkeni olup bunlar, salınım bara hariç tüm jeneratörlerin aktif güç değerleri P_G , jeneratör gerilim genlikleri V_G , transformatör kademe değerleri T ve paralel kapasite değerleri Q_C dir.

$$u^T = [P_{G2} \cdots P_{GNG}, V_{G1} \cdots V_{GNG}, T_1 \cdots T_{NT}, Q_{C1} \cdots Q_{CNC}] \quad (2.98)$$

x ise problemin durum değişkeni olup bunlar, salınım bara aktif gücü P_{G1} , yük baralarının gerilim genlik değerleri V_L , baraların gerilim açısı değerleri δ_N ve tüm jeneratörlerin reaktif güç değerleri Q_G dir.

$$x^T = [P_{G1}, V_{L1} \cdots V_{LNyuk}, \delta_2 \cdots \delta_N, Q_{G1} \cdots Q_{GNG}] \quad (2.99)$$

2.3.1. Amaç fonksiyonu

Amaç fonksiyonu, optimizasyon metodu tarafından minimize edilecek olan fonksiyondur. Bu fonksiyon, sistemin toplam enerji üretim maliyeti ve durum değişken değerlerindeki taşmalarından oluşmaktadır.

$$f(x, u) = F_{maliyet} + K_p (P_{G1} - P_{G1}^{lim})^2 + K_Q \sum_{i=1}^{N_g} (Q_{Gi} - Q_{Gi}^{lim})^2 + K_V \sum_{i=1}^{N_{yuk}} (V_{Li} - V_{Li}^{lim})^2 \quad (2.100)$$

Yukarıdaki formülde K_p, K_Q ve K_V penaltı katsayılarını; $F_{maliyet}$ toplam enerji üretim maliyetini; N_g ve N_{yuk} sırasıyla jeneratör bara ve yük bara sayılarını göstermektedir. x^{lim} durum değişkenlerinin sınır değerlerini göstermektedir ve aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$x^{lim} = \begin{cases} x^{max} & x > x^{max} \\ x & x^{max} > x > x^{min} \\ x^{min} & x^{min} > x \end{cases} \quad (2.101)$$

Sistemin toplam enerji üretim maliyeti, jeneratör aktif güç çıkışının karesel fonksiyonu ile aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$F_{maliyet} = \sum_{i=1}^{N_g} (a_i + b_i P_{Gi} + c_i P_{Gi}^2) \quad (2.102)$$

Bu ifadedeki P_{Gi} i 'nci jeneratörün ürettiği aktif güç miktarını; a_i, b_i ve c_i büyüklükleri i 'nci jeneratör enerji üretim maliyet katsayılarını ifade etmektedir.

2.3.2. Eşitlik kısıtlamaları

Optimizasyon içerisindeki eşitlik kısıtlamaları, güç eşitlik kısıtlamalarıdır. Herhangi i 'nci baradaki güç akışı eşitlikleri aşağıdaki şekilde ifade edilir.

Aktif Güç:

$$P_{Gi} - P_{Li} - P_i = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad (2.103)$$

Reaktif güç:

$$Q_{Gi} + Q_{Ci} - Q_{Li} - Q_i = 0 \quad i = 1, \dots, N \quad (2.104)$$

Bu ifadedeki P_{Li} ve Q_{Li} i 'nci baradaki aktif ve reaktif yük değerlerini; P_i ve Q_i i 'nci baradaki enerji iletim hatlarından aktarılan toplam aktif ve reaktif güç değerlerini göstermektedir.

2.3.3. Eşitsizlik kısıtlamaları

Üretim kapasite kısıtlamaları: sistemin kararlı çalışabilmesi için jeneratörün ürettiği aktif ve reaktif güç değeri, bara gerilim genlik değeri, transformatör kademe ayarı ve paralel bağlı kapasitenin değeri minimum ve maksimum değerler arasında kalmalıdır. Yük akışı kısıtlamaları olarak; üretim kapasite, gerilim, transformatör kademe değeri ve şönt kapasite değeri kısıtlamaları dikkate alınmıştır.

2.3.3.1. Üretim kapasite kısıtlaması

Bu kısıtlama içerisinde jeneratörlerin üretecekleri aktif ve reaktif güç değerlerinin sınır değerler içerisinde kalması sağlanmaktadır.

$$P_{gi}^{\min} \leq P_{gi} \leq P_{gi}^{\max} \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.105)$$

$$Q_{gi}^{\min} \leq Q_{gi} \leq Q_{gi}^{\max} \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.106)$$

2.3.3.2. Gerilim kısıtlaması

Sistemde bulunan tüm bara gerilim genlik değerlerinin sınır değerler içerisinde kalması sağlanmaktadır.

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.107)$$

2.3.3.3. Transformatör kademe değeri kısıtlaması

Sistem içerisinde bulunan transformatörlerin kademe değerleri sınır değerler içerisinde kalmalıdır. Transformatörün kademe değerine bağlı olarak sistemin bara admitans matrisi oluşturulmak suretiyle bu değer hesaplamalara dahil edilmektedir.

$$T_i^{\min} \leq T_i \leq T_i^{\max} \quad i = 1, \dots, N_T \quad (2.108)$$

Burada N_T sistemdeki transformatör sayısını göstermektedir.

2.3.3.4. Şönt kapasite değeri kısıtlaması

Çeşitli baralarda bulunan şönt kapasiteler fiziksel sınır değerler içerisinde üretim yapma durumundadırlar.

$$Q_{ci}^{\min} \leq Q_{ci} \leq Q_{ci}^{\max} \quad i = 1, \dots, N_c \quad (2.109)$$

Yukarıdaki formüllerde geçen P_{gi}^{\min} , P_{gi}^{\max} , Q_{gi}^{\min} , Q_{gi}^{\max} , V_i^{\min} , V_i^{\max} , T_i^{\min} , T_i^{\max} , Q_{ci}^{\min} ve Q_{ci}^{\max} büyüklükleri ilgili değişkenin minimum ve maksimum değerlerini göstermektedir.

2.4. AA-DA Sistemlerde OGA

AA-DA sistemlerde OGA, hem sistemin enerji üretim maliyeti açısından hem de sağlıklı bir şekilde planlanabilmesi için önemlidir. AA-DA sistemlerde OGA, saf AA

sistemlerde OGA eşitliklerine DA sistemine ait eşitlik ve eşitsizliklerin eklenmesiyle elde edilir. Dolayısıyla gerek kontrol değişkenleri gerekse durum değişkenleri hem AA hem de DA sistemlerine ait değişkenler içermektedir.

Problem içerisinde kontrol değişkenleri:

$$u = [u_{AA}, u_{DA}] \quad (2.110)$$

$$u_{AA}^T = [P_{G2} \cdots P_{GNG}, V_{G1} \cdots V_{GNG}, T_1 \cdots T_{NT}, Q_{C1} \cdots Q_{CNC}] \quad (2.111)$$

$$u_{DA}^T = [P_{dr}, P_{di}, Q_{dr}, Q_{di}, I_d] \quad (2.112)$$

olarak ve durum değişkenleri de:

$$x = [x_{AA}, x_{DA}] \quad (2.113)$$

$$x_{AA}^T = [P_{G1}, V_{L1} \cdots V_{LNyük}, \delta_2 \cdots \delta_N, Q_{G1} \cdots Q_{GNG}] \quad (2.114)$$

$$x_{DA}^T = [T_{dr}, T_{di}, \alpha, \gamma, V_{dr}, V_{di}] \quad (2.115)$$

olarak seçilmiştir. AA-DA sistemlerde OGA'nın işlem basamakları aşağıdaki gibidir:

Adım 1: Eşitlik (2.110) ile verilen kontrol değişkenlerinin değerleri belirlenir.

Adım 2: Doğrultucu ve evirici baralarındaki aktif ve reaktif yük değerleri eşitlik (2.89) kullanılarak güncellenir.

Adım 3: N-R güç akışı programı koşturulur.

Adım 4: N-R güç akışı sonucunda AA sisteme ait durum değişkenleri hesaplanır.

Adım 5: (2.92)-(2.96) eşitlikleri kullanılarak DA sistemine ait durum değişken değerleri hesaplanır.

Adım 6: Minimizasyonu yapılacak olan uygunluk değeri aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$\begin{aligned}
f(x, u) = & F_{\text{maliyet}} + K_p (P_{Gi} - P_{Gi}^{\text{lim}})^2 + K_Q \sum_{i=1}^{N_g} (Q_{Gi} - Q_{Gi}^{\text{lim}})^2 + K_V \sum_{i=1}^{N_{\text{yük}}} (V_{Li} - V_{Li}^{\text{lim}})^2 \\
& + K_{\text{rec}} (T_{dr} - T_{dr}^{\text{lim}})^2 + K_{\text{inv}} (T_{di} - T_{di}^{\text{lim}})^2 \\
& + K_{\text{rec}} (\alpha - \alpha^{\text{lim}})^2 + K_{\text{inv}} (\gamma - \gamma^{\text{lim}})^2 \\
& + K_{\text{rec}} (V_{dr} - V_{dr}^{\text{lim}})^2 + K_{\text{inv}} (V_{di} - V_{di}^{\text{lim}})^2
\end{aligned} \tag{2.116}$$

Buradaki T_{dr}^{lim} , T_{di}^{lim} , α^{lim} , γ^{lim} , V_{dr}^{lim} ve V_{di}^{lim} büyüklükleri ilgili değişkenin minimum ve maksimum değerlerini göstermekte olup bunların açık ifadeleri (2.101) eşitliği ile verilmiş idi.

2.5. AA-DA Sistemlerde GHKKOGA

AA-DA sistemlerde GHKKOGA'nın çözümü, AA-DA sistemlerde OGA'nın çözümünün bağıl rotor açı değerleriyle genişletilmesiyle elde edilir. Problemin kontrol değişkenleri bölüm 2.5'te verilen (2.110) eşitliği ile aynı olup, (2.113) eşitliğindeki durum değişkenlerinde jeneratör bağıl rotor açı kısıtlaması eklenmektedir.

Saf AA sistemlerde gerek OGA'nın gerekse GHKKOGA'nın çözümü diferansiyel ve cebirsel denklemler içeren doğrusal olmayan bir optimizasyon problemidir. Enerji sistemine DA iletim hattının da eklenmesi bu problemin çözümünü bir kat daha zorlaştırırken kararlılığa olan pozitif etkisi de göz ardı edilmemelidir.

Problem çözümü ile amaçlanan, AA-DA sistemlerinde oluşan arıza öncesinde, esnasında ve sonrasında jeneratörlerin rotor açılarının kararsızlığa gitmelerinin önlenmesinin yanı sıra enerji üretim maliyetinin de minimizasyonudur.

2.5.1. Güç sisteminin modellenmesi

N_g jeneratörlü bir enerji sistemi için her bir jeneratörün salınım denklemi aşağıdaki eşitlik ile verilir.

$$M_i \dot{\omega}_i = \omega_0 (P_{mi} - P_{ei} - D_i \omega_i) \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.117)$$

Burada, ω_i i 'nci jeneratörün rotor hızını; M_i i 'nci jeneratörün atalet momentini; D_i i 'nci jeneratörün sönüm sabitini; P_{ei} i 'nci jeneratörün elektriksel çıkış gücünü; P_{mi} i 'nci jeneratörün mekaniksel giriş gücünü ve ω_0 senkron hızı göstermektedir. Bu ifadeyi basitleştirmek için aşağıdaki kabuller yapılır:

- Şebeke geriliminin sürekli sinüzoidal halde olduğu varsayılır. Böylece, iletim şebekesinin zaman sabitleri, elektromekanik osilasyon frekansına kıyasla ihmal edilebilir.
- Senkron makine, arıza öncesindeki sürekli hal koşullarından elde edilen sabit genlikli bir gerilim kaynağı ve ona seri bağlı, boyuna eksen geçici hal reaktansı adı verilen bir reaktans ile gösterilir.
- Geçici hal reaktansının gerisindeki gerilimin faz açısı δ_k , rotor açısına karşı düşer.
- Yükler güç akışından elde edilen arıza öncesinde gerilimlere bağlı olarak, sabit admitanslar olarak gösterilmiştir.
- Mekanik güç girişi P_m nin, ilgili zaman aralığı süresince arıza öncesi değerlere eşit ve sabit olduğu kabul edilir.

N baralı bir güç sistemi için düğüm denklemlerini kullanılmak suretiyle yazılan şebekeye denklemleri (2.1) ve (2.2) ile verilmiş idi. Bu eşitliklerde yer alan $[Y]_{bara}$ en genel halde aşağıdaki gibi verilir:

$$[Y]_{bara} = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 \\ Y_3 & Y_4 \end{bmatrix} \quad (2.118)$$

Burada Y_1 , jeneratör baralarına bağlı iletim hatlarının admitans değerlerini, Y_2 ve Y_3 jeneratör baraları ile diğer baralar arasındaki iletim hatlarının admitans değerlerini ve Y_4 de jeneratör baraları dışındaki baralara bağlı iletim hatlarının admitans değerlerini göstermektedir.

Her jeneratördeki geçici hal reaktansının gerisinde bir bara olduğu kabul edilir ve bu baranın gerilim değeri aşağıdaki eşitlikler ile hesaplanır:

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.119)$$

$$E_i = V_i + x_d' I_i \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.120)$$

$$E_i = |E_i| \angle \delta_i \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.121)$$

Böylece bu yeni baraların da dahil edildiği bara admitans matrisi:

$$[Y] = \begin{bmatrix} [Y_{LL}]_{N \times N} & [Y_{LG}]_{N \times N_g} \\ [Y_{GL}]_{N_g \times N} & [Y_{GG}]_{N_g \times N_g} \end{bmatrix} \quad (2.122)$$

eşitliği ile gösterilir. Burada Y_{LL} jeneratör iç baraları dışındaki baralara bağlı sistem yükleri ve DA iletim hattı dışındaki şebeke bileşenlerinin admitanslarını, Y_{LG} ve Y_{GL} jeneratör iç baraları ile diğer baralar arasındaki şebeke bileşenlerinin admitanslarını ve Y_{GG} jeneratör iç baralarına bağlı şebeke bileşenlerinin admitanslarını göstermektedir.

Bu çalışmada AA-DA sistemi içerisindeki DA iletim hattından aktarılan güçler birer yük olarak kabul edilmiştir. Bu güçler arıza öncesi gerilimlere bağlı olarak (2.123) eşitliği ile admitanslara dönüştürülürler. Aynı şekilde AA sistemine ait güncelleştirme öncesindeki bara yükleri de (2.124) eşitliği ile admitanslara dönüştürülürler. Böylece tüm sistemindeki toplam güç, arıza öncesi gerilimlere bağlı olarak (2.125) eşitliği ile gösterildiği gibi admitans olarak ifade edilir.

$$Y_{DAi} = \frac{P_{DAi} - j(Q_{DAi})}{|V_i|^2} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.123)$$

$$Y_{AAi} = \frac{P_{Li} - j(Q_{Li} - Q_{Ci})}{|V_i|^2} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.124)$$

$$Y_{YÜKi} = Y_{AAi} + Y_{DAi} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.125)$$

Bu değerler genişletilmiş bara admitans matrisine aşağıdaki eşitlik ile dahil edilir.

$$Y_{LL} = Y_{LLi} + Y_{YÜKi} \quad i = 1, \dots, N \quad (2.126)$$

Böylece tüm şebeke bileşenlerini içeren bara admitans matrisi ile birlikte güç sistemine ait şebeke denklemleri aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ I_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{LL} & Y_{LG} \\ Y_{GL} & Y_{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_L \\ E_G \end{bmatrix} \quad (2.127)$$

Burada jeneratörlerin bağlı olmadığı V_L bara gerilimleri yok edilerek indirgeme yapılır. Yapılan indirgeme ile sistemin iç bara admitans matrisi hesaplanır. İndirmeye ait eşitlikler aşağıdaki gibi verilebilir.

$$[Y]_{ind} = [Y_{GG}] - [Y_{GL}] [Y_{LL}]^{-1} [Y_{LG}] \quad (2.128)$$

$$[Y]_{ind} = |[Y]_{ind}| \angle \delta \quad (2.129)$$

$$I_G = [Y]_{ind} E_G \quad (2.130)$$

İndirgenmiş bara admitans matrisi kullanılarak P_{ei} değeri aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_{ei} = \sum_{j=1}^{N_g} |E_i| |E_j| |[Y]_{ind}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.131)$$

2.5.2. Düzeltilmiş Euler yöntemi ile kararlılık analizi

Düzeltilmiş Euler yöntemi ile $t = 0$ anından $t = t_{\max}$ anına kadar geçen süre içerisindeki δ_i ve ω_i değerleri aşağıdaki adımlar izlenerek hesaplanır:

Adım 1: Güç akışı sonucunda enerji sistemi içerisindeki tüm baraların gerilim genlik ve açı değerleri hesaplanır.

Adım 2: (2.119)-(2.121) eşitlikleri kullanılarak jeneratör iç bara gerilim değerleri hesaplanır.

Adım 3: Jeneratör iç baraları, bara numarası $N + 1$ değerinden başlayarak, enerji sistemi içerisine yüksüz baralar olarak ilave edilir. Böylece enerji sisteminin bara sayısı $N + N_g$ olur.

Adım 4: Sistem yükleri (2.126) eşitliği kullanılarak sabit admitans gibi hesaplamalara dahil edilir. Bu değerler bara admitans matrisine eklenmek suretiyle arıza öncesi bara admitans matrisi elde edilir.

Adım 5: Jeneratörlerden çekilen gücün hesabında jeneratörlerden çekilen akım değerleri kullanılır. Bu yüzden sistemin iç bara admitans matrisinin hesaplanması gerekmektedir. Sistemin iç bara admitans matrisi (2.127)-(2.129) eşitlikleri kullanılarak, jeneratörlerden çekilen akım değerleri (2.130) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

Adım 6: (2.131) eşitliği kullanılarak P_{ei} değeri hesaplanır.

Adım 7: Arızalı hattın, arızanın meydana geldiği noktaya yakın olduğu bara, bara admitans matrisinden yok edilmek suretiyle arıza anı için elde edilen bara admitans matrisi aşağıdaki gibi verilir.

$$[Y]^f = \begin{bmatrix} [Y_{LL}]_{(N-1) \times (N-1)} & [Y_{LG}]_{(N-1) \times N_g} \\ [Y_{GL}]_{N_g \times (N-1)} & [Y_{GG}]_{N_g \times N_g} \end{bmatrix} \quad (2.132)$$

Adım 8: Arızalı sistem için oluşturulan bara admitans matrisinden indirgenmiş bara admitans matrisi (2.128) eşitliği kullanılarak oluşturulur.

Adım 9: $t = 0$ anında arıza olduğu varsayılırsa arıza giderme süresine (t_c) kadar Δt zaman aralığıyla jeneratörlerin rotor açıları ve rotor hızları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\delta_i(0) = \delta_i \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.133)$$

$$\omega_i(0) = 2\pi f \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.134)$$

$$\left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{t=t_0=0} = \omega_i(0) - 2\pi f = 0 \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.135)$$

$t = 0$ anındaki P_{ei} değeri (2.131) denklemi kullanılarak hesaplanır. Hesaplanan bu değer ile Δt anındaki açı ve jeneratör rotor hızları aşağıdaki gibi elde edilirler.

$$\left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{t=t_0=0} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}) \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.136)$$

$$\delta_i(\Delta t) = \delta_i(0) + \left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{t=0} \Delta t \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.137)$$

$$\omega_i(\Delta t) = \omega_i(0) + \left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{t=0} \Delta t \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.138)$$

$$\left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{t=\Delta t} = \omega_i(\Delta t) - 2\pi f \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.139)$$

Elde edilen bu yeni açı değerleriyle güncel P_{ei} değeri aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanır.

$$P_{ei}(t_k) = \sum_{j=1}^{N_g} |E_i| |E_j| | [Y]_{ind} | \cos(\theta_{ij} - \delta_i(t_k) + \delta_j(t_k)) \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.140)$$

Bu P_{ei} değeri kullanılarak düzeltilmiş açı ve jeneratör rotor hızları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanır.

$$\left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{t=\Delta t} = \frac{\pi f}{H_i} (P_{mi} - P_{ei}(\Delta t)) \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.141)$$

$$\delta_i(\Delta t) = \delta_i(0) + \left(\frac{\left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{t=0} + \left. \frac{d\delta_i}{dt} \right|_{t=\Delta t}}{2} \right) \Delta t \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.142)$$

$$\omega_i(\Delta t) = \omega_i(0) + \left(\frac{\left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{t=0} + \left. \frac{d\omega_i}{dt} \right|_{t=\Delta t}}{2} \right) \Delta t \quad i = 1, \dots, N_g \quad (2.143)$$

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan $t = 0$ yerine $t = \Delta t$ ve $t = \Delta t$ yerine $t = 2\Delta t$ yazılarak $t = t_c$ değerine kadar işlemler devam ettirilir.

Adım 10: Yapılan kabullerde arıza temizleme süresinden sonra arıza öncesi duruma dönüldüğü kabulü yapılmasından dolayı, arıza temizleme süresi sonunda sistemden çıkartılan bara, sisteme tekrar dahil edilir ve arızalı hat sistemden çıkartılarak yeni bara admitans matrisi oluşturulur. Arıza temizleme sonrası oluşan yeni bara admitans matrisinden indirgenmiş bara admitans matrisi elde edilir. $t = t_c$ anında Adım 9'da elde edilen açı değerleri bu andan itibaren başlangıç değeri olarak kabul edilmek suretiyle $t = t_{max}$ değerine kadar Adım 9'daki işlemler tekrar edilir.

2.5.3. Amaç fonksiyonunun hesaplanması

Bölüm 2.5.2.'deki hesaplamalar ile $t = 0$ anından $t = t_{max}$ anına kadar sistemdeki tüm jeneratörlerin rotor açı değerleri hesaplanmıştır. Salınım barasına bağlı jeneratörün rotor açısına göre diğer jeneratörlerin bağıl rotor açı değerleri tekrar

hesaplanır ve elde edilen sonuç neticesinde arıza anında ve sonrasında tüm enerji sisteminin kararlı kalıp kalmadığı belirlenir. İncelenen süre içerisinde tüm jeneratörlerin bağlı rotor açı değerleri, algoritmanın başlangıcında belirlenen açı değerinden küçük ise sistem kararludur; en az bir tanesi veya daha fazlası bu açı değerinden daha büyük bir değere sahip ise sistem kararsızdır.

$$\delta_i^{bagil} = \delta_{i+1} - \delta_1 \quad i = 1, \dots, (N_g - 1) \quad (2.144)$$

Amaç fonksiyonu içerisinde enerji üretim maliyetine ek olarak, AA ve DA sistemlerine ait durum değişkenlerindeki taşmalar penaltı katsayıları ile çarpıldıktan sonra eklenmektedir. Formülün genel hali aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned} f(x, u) = & F_{maliyet} + K_p (P_{G1} - P_{G1}^{lim})^2 + K_Q \sum_{i=1}^{N_g} (Q_{Gi} - Q_{Gi}^{lim})^2 \\ & + K_V \sum_{i=1}^{N_{yak}} (V_{Li} - V_{Li}^{lim})^2 + K_D \sum_{i=1}^{N_g-1} (|\delta_i^{bagil}|^{max} - \delta_i^{max})^2 \\ & + K_{rec} (T_{dr} - T_{dr}^{lim})^2 + K_{inv} (T_{di} - T_{di}^{lim})^2 \\ & + K_{rec} (\alpha - \alpha^{lim})^2 + K_{inv} (\gamma - \gamma^{lim})^2 \\ & + K_{rec} (V_{dr} - V_{dr}^{lim})^2 + K_{inv} (V_{di} - V_{di}^{lim})^2 \end{aligned} \quad (2.145)$$

Burada K_D geçici kararlılık limitinin penaltı katsayısını; $|\delta_i^{bagil}|^{max}$ jeneratör bağlı rotor açı değerlerinin maksimum değerini; δ^{max} maksimum bağlı rotor açısını göstermektedir.

BÖLÜM 3. YAK ALGORİTMASININ AA-DA SİSTEMLERİNİN GHKOGA'SINA UYGULANMASI

OGA probleminin çözümünde birçok optimizasyon metodu kullanılmıştır. Kullanılan metotlar sayısal ve sezgisel metotlar olarak iki ana başlıkta toplanabilir. Sayısal metotlara örnek olarak DP, türevelere dayalı metotlar ve dinamik programlama; sezgisel metotlara örnek olarak deterministik ve olasılık temelli metotlar verilebilir. Metotların avantaj ve dezavantajları şunlardır:

Sayısal metotların avantajı kesin çözüm üretmesi, dezavantajları ise; yakınsamama tehlikesi, karmaşık matematiksel denklemler içermesi ve global minimumu elde edememesidir. Sezgisel metotların avantajları, ağır matematiksel formüller içermemeleri, kısa program çalışma süreleri; dezavantajı ise optimum sonuca yakın sonuç elde etmesidir.

Problemlerin çözümünde kullanılacak olan metoda karar verilirken, problemin özellikleri iyi tanımlanarak, bahsedilen metotlardan en uygunu seçilmelidir. Bölüm 2'de bahsedilen optimizasyon problemi, doğrusal-konveks olmayan kısıtlı bir optimizasyon problemi olarak tanımlanmaktadır. Optimizasyon probleminin çözümünde yukarıda belirtilen sebeplerden dolayı sezgisel metot kullanılmıştır. Ayrıca modern sezgisel metotların bu tür problemlerin çözümünde başarılı uygulamaları literatürdeki birçok çalışma ile ispatlanmıştır [14-22, 50-52].

Sezgisel metotlar kendi içerisinde ikiye ayrılmaktadır. Bunlar: deterministik metotlar ve olasılık tabanlı metotlardır. Deterministik metotlara örnek olarak tabu araştırma (TA) algoritması verilebilir. Olasılık tabanlı metotlar da kendi içerisinde tek çözümün geliştirildiği metotlar ve popülasyon tabanlı metotlar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Tek çözümün geliştirildiği metotlara örnek olarak ısı işlem verilebilir. Popülasyon tabanlı metotlar kendi içerisinde gelişime dayalı algoritmalar ve sürü

zekası temelli algoritmalar olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Gelişime dayalı algoritmalara örnek olarak GA, diferansiyel gelişim algoritması (DGA), yapay bağışıklık algoritması (YBA) ve evrimsel algoritma (EA) verilebilir, sürü zekasına örnek olarak ise KKA, PSA ve YAK algoritması verilebilir [53].

Bu çalışmada güncel bir sezgisel metot olan YAK algoritması kullanılmıştır.

3.1. YAK Algoritması

YAK algoritması, arı kolonilerinin sürü zekası mantığıyla besinlere ulaşmasını modelleyen, 2005 yılında Derviş Karaboğa tarafından önerilmiş popülasyon tabanlı sezgisel bir algoritmadır.

Popülasyon tabanlı algoritmalarda, doğadaki herhangi bir sürünün karşılaştığı probleme bulmuş olduğu çözüm yöntemleri modellenmektedir. Örnek olarak, YAK algoritmasına ek olarak karıncaların besine ulaşmasını modelleyen karınca koloni algoritması, kuşların veya balıkların birlikte hareket etmelerini modelleyen parçacık sürü algoritması verilebilir. Ayrıca popülasyon tabanlı algoritmalar sürü zekası mantığıyla çalışmaktadır. Sürü zekası mantığı içerisinde bir otorite yoktur, sürü içerisindeki tüm canlılar görevleriyle ilgili bilgi alışverişinde bulunurlar ve sürü içerisindeki her canlı kendi işinden sorumludur, canlılar arası iş paylaşımı kusursuz işler. Sürü zekasının bu özelliklerinden faydalanarak hazırlanan algoritmalarda mikro seviyeli bölgesel etkileşimlerle makro seviyede cevaplar oluşmaktadır [53].

Kendi kendine organize olabilmeyi Bonabeau dört özellikte açıklamaktadır [54]:

- Pozitif geri besleme: Elverişli ve uygun durumların oluşması desteklenen davranışsal kurallarla gerçekleşir. Koloni içerisindeki birçok arının daha zengin kaynaklara yönelmesi pozitif geri besleme ile oluşmaktadır.
- Negatif geri besleme: Pozitif geri beslemenin dengelenmesiyle koloninin daha kolektif ve kararlı çalışabilmesi sağlanmaktadır. Nektar miktarı olmayan veya

çevresinde arama yapılmaya değer görülmeyen besin kaynaklarının terk edilmesi negatif geri beslemeyi oluşturmaktadır.

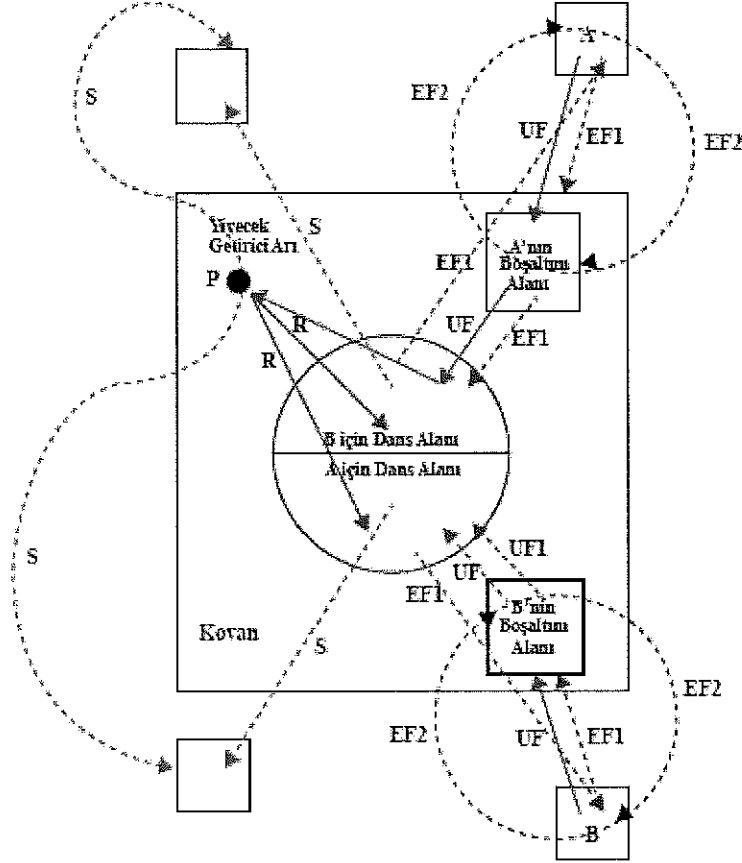
- Dalgalanmalar: En iyi besin kaynağının aranması sürecinde, rastgele besin kaynağı keşifleri veya hatalar gibi yeni besin kaynaklarının bulunması yaratıcılık ve yenilik olarak görülmektedir. Yeni besin kaynaklarının rastgele bulunması ile dalgalanmalar oluşturulmaktadır.
- Çoklu etkileşimler: Koloni içerisindeki bireyler arası bilgi paylaşımıyla bilgi dağılımı sağlanır. Bu sayede arılar arası haberleşme sağlanmıştır.

Arılar, arama bölgesi içerisinde dolaşarak besin kaynaklarındaki nektar miktarlarını belirlemektedir ve bu besin kaynaklarına ait bilgileri kovan içerisindeki diğer arılara belirli danslarla aktarmaktadır.

Önerilen algoritmada, arılar iş bölümüne göre ikiye ayrılmıştır: işçi ve işçi olmayan arılar. İşçi olmayan arılar da gözcü arı ve kaşif arı olmak üzere ikiye ayrılır. Kolonideki arılar uzmanlaştıkları farklı işleri yaparlar ve arılar arası iş bölümü bulunmaktadır. YAK algoritmasındaki farklı bir özellikte arıların kendi içlerinde iş paylaşımı konusunda organize olabilme yetenekleri vardır [54, 55].

YAK algoritmasının başlangıcında rastgele besin kaynakları belirlenir ve bu kaynaklardaki nektar miktarı hesaplanır. Her bir besin kaynağının komşuluğundaki besin kaynağındaki nektar miktarı işçi arılar ile belirlenir. Bu yüzden başlangıçta rastgele belirlenen besin kaynaklarının sayısı işçi arı sayısına eşittir. Genellikle işçi olmayan arı sayısı işçi arı sayısına eşittir. Her bir işçi arı, bir besin kaynağına gider ve o kaynağı işaretlemek için bir koku bırakır. Bu koku sayesinde diğer arılar o besin kaynağına daha önceden bir arının geldiğini anlamaktadır. İşçi arılar besin kaynağına ait elde ettiği bilgiyi dans ederek diğer arılar ile paylaşır. Bu bilgiler besin kaynağındaki nektar miktarı ve besin kaynağının pozisyonudur. İşçi arılardan gelen bilgiler ışığında gözcü arılar, komşuluğunda arama yapacakları besin kaynağını seçerler. Gözcü arılar ilgili besin kaynağındaki nektar miktarını tespit edip yuvaya dönerler. Bir işçi arının gittiği besin kaynağının etrafındaki besin kaynaklarının

nektar miktarlarının tükendiği gözcü arılar ile tespit edildikten sonra, işçi arı kaşif arıya dönüşür ve arama bölgesi içerisindeki rastgele bir besin kaynağına yönelir. Arıların besin kaynaklarını arama döngüsü sonlandırma kriteri sağlanıncaya kadar bu şekilde devam etmektedir. Yiyecek arama çevrimi Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Yiyecek arama çevrimi [53]

Yiyecek arama çevrimi içerisindeki ifadeleri Akay [53] şöyle tanımlamaktadır:

A ve B noktaları besin kaynaklarını, S ve R ifadeleri sırasıyla kaşif ve gözcü arıları göstermektedir. Algoritmanın başlangıcında rasgele seçilmiş olan A ve B besin kaynaklarına, görevi belli olmayan iki işçi arı gönderilir. Bu işçi arılar için iki olası seçenek vardır. Bunlar: kaşif arı (S) ve gözcü arıdır (R). Arılar, besin kaynaklarına gittikten sonra besin kaynağının pozisyon bilgisini hafızada tutar ve nektar toplamaya başlar. Bu sayede başlangıçta görevi belli olmayan işçi arı artık görevli bir işçi arı haline gelir. Besin kaynağındaki nektarı aldıktan sonra üç seçenek vardır. Bunlar:

- Gittiği kaynağı bırakarak kaşif arı olabilir. (Şekil 3.1.'de UF ile gösterilmektedir.
- Gittiği kaynağa dönmeden önce kaynak hakkında elde ettiği bilgileri dans ile diğer arılara aktarır, başka arıları da aynı kaynağa yönlendirebilir. (Şekil 3.1.'de EF1 ile gösterilmektedir.)
- Diğer arıları yönlendirmeden kaynağına gidebilir. (Şekil 3.1.'de EF2 ile gösterilmiştir.)

Bu şekilde bir yiyecek arama çevrimi sonlanmış olur. Bu aşamalar ilerleyen bölümlerde daha ayrıntılı bir şekilde açıklanmaktadır. YAK algoritmasının temel adımları aşağıdaki gibidir:

- Başlangıç besin kaynaklarının tespiti ve nektar miktarı hesaplanması
- Tekrarla
- İşçi arıların besin kaynaklarına gönderilmesi ve nektar miktarı hesaplanması
- İşçi arılardan gelen bilgiye göre, çevresinde arama yapılacak besin kaynaklarının tespiti
- Gözcü arıların belirlenen besin kaynaklarının çevresine gönderilmesi ve nektar miktarı hesaplanması
- Eğer işçi arının gittiği ve çevresinde gözcü arılarla arama yapılan besin kaynağı etrafında nektar tükenmiş ise kaynağın terk edilmesi ve işçi arının kaşif arı olarak rastgele yeni bir besin kaynağına gönderilmesi ve nektar miktarı hesaplanması
- En iyi besin kaynaklarının hafızada tutulması
- Buraya kadar

3.1.1. Başlangıç besin kaynaklarının üretilmesi

Bütün besin kaynaklarını içeren arama bölgesi içerisinde rastgele besin kaynakları belirlenir. Besin kaynağının belirlenmesi için parametrelerin alt ve üst sınır değerleri arasında rastgele değer üretilir [32, 56].

$$w_{ij} = w_{\min,j} + rand(0,1) \times (w_{\max,j} - w_{\min,j}) \quad i = 1, \dots, SN \quad j = 1, \dots, PS \quad (3.1)$$

Burada SN besin kaynağı sayısını, PS ise optimize edilecek problemdeki parametre sayısını göstermektedir. $w_{\max,j}$ ve $w_{\min,j}$ sırasıyla j 'inci parametrenin sınır değerlerini göstermektedir. Aynı zamanda başlangıç aşamasından başlamak üzere i 'nci besin kaynağının geliştirilmeme sayısını gösteren $sayaç_i$ de döngü içerisinde kullanılacaktır [32, 56].

Başlangıç aşamasından sonra besin kaynaklarına işçi, gözcü ve kaşif arılar gönderilmek suretiyle daha iyi besin kaynakları araştırılacaktır. YAK algoritması içerisindeki durdurma kriteri sağlanıncaya kadar işlemler devam etmektedir. Durdurma kriteri olarak maksimum iterasyon sayısı (MCN) kabul edilmiştir.

3.1.2. İşçi arıların besin kaynaklarına gönderilmesi

Her besin kaynağına sadece bir arının gittiği daha önceden bahsedilmişti. Bundan dolayı başlangıçta belirlenen besin kaynağı sayısı işçi arı sayısına eşittir. İşçi arılar çalıştığı besin kaynağının komşuluğunda yeni bir besin kaynağı belirler ve bu kaynaktaki nektar miktarı daha fazla ise bu yeni kaynağı hafızasına alır. İşçi arı iki kaynak arasından en iyisi hakkındaki bilgiyi kovandaki diğer arılarla paylaşır. Yeni besin kaynağının belirlenmesinin benzetimi eşitlik (3.2)'te verilmiştir [32, 56].

$$w_{ij}^{new} = w_{ij}^{old} + \varphi_{ij} (w_{ij}^{old} - w_{kj}^{old}) \quad i = 1, \dots, SN \quad k = 1, \dots, SN \quad j = 1, 2, \dots, PS \quad i \neq k \quad (3.2)$$

Burada w_i ile gösterilen her bir besin kaynağı için rastgele seçilen w_j komşuluğunda yeni besin kaynağı bulunur. φ_{ij} sayısı $[-1,1]$ arasında rastgele değişen bir sayıdır.

Eşitlik (3.2)'den görüleceği üzere w_{ij}^{old} ile w_{ij}^{new} arasındaki fark azaldıkça, türetilen w_{ij}^{new} değerleri w_{ij}^{old} değerlerine çok yakın olacaktır. Bu durum bölgesel optimal çözüme yaklaşılmaması durumunda değişimin adaptif olarak azalmasını sağlayacaktır.

w_{ij}^{new} parametre değerlerinden herhangi biri sınır değerlerini aşacak olursa yakın olan sınır değerlerine eşitlenmektedir. Bu eşitleme eşitlik (3.3)'te verilmiştir [5].

$$w_{ij}^{new} = \begin{cases} W_{\min,j} & w_{ij}^{new} < W_{\min,j} \\ w_{ij}^{new} & W_{\min,j} < w_{ij}^{new} < W_{\max,j} \\ W_{\max,j} & W_{\max,j} < w_{ij}^{new} \end{cases} \quad (3.3)$$

Sınırlar içerisinde üretilen w_{ij}^{new} yeni besin kaynağının nektar değeri hesaplandıktan sonra eski nokta ile karşılaştırma yapılması gerekmektedir. Eğer yeni noktanın nektar miktarı daha iyi ise $sayac_i$ sıfırlanmalı, değil ise sayacın değeri bir artırılmalıdır.

3.1.3. Gözcü arıların çevresinde arama yapacakları besin kaynaklarının belirlenmesi

Kovadaki tüm işçi arılar gittikleri besin kaynağı hakkındaki tüm bilgileri kovanda dans ederek gözcü arılara aktarırlar. Gözcü arılar nektar miktarları ile orantılı bir olasılıkla bir besin kaynağı seçerler. Bu durum kovan içerisinde çoklu iletişimin uygulandığını göstermektedir. Bir besin kaynağının seçilme olasılığı, besin kaynağındaki nektar miktarının tüm kaynaklardaki nektar miktarına oranı ile belirlenmektedir. Bu oran eşitlik (3.4) ile hesaplanmaktadır. Bu işleme rulet tekerleği adı verilmektedir. Böylece tüm besin kaynaklarına seçilme olanağı tanınmakla beraber, daha fazla nektar miktarı olan besin kaynağının da seçilme şansı artırılmıştır [32, 56].

$$sp_i = \frac{fit_i}{\sum_{j=1}^{SN} fit_j} \quad i=1, \dots, SN \quad (3.4)$$

Burada fit_i , i 'nci besin kaynağının kalitesini göstermektedir. Optimizasyon probleminin minimizasyon olmasından dolayı fit_i değerinin uygunluk değerine bağlı olan ifadesi eşitlik (3.5)'te verilmiştir [32, 56].

$$fit_i = \frac{1}{F_i} \quad i=1, \dots, SN \quad (3.5)$$

Eşitlik (3.5)'te geçen F_i , amaç fonksiyonunun uygunluk değerini göstermektedir. Amaç fonksiyonunun değeri azaldıkça besin kaynağındaki nektar miktarı artar. Nektar miktarının artması ile o bölgeyi seçecek gözcü arı sayısı artmaktadır. Bu özellik pozitif geri besleme özelliğine karşılık gelmektedir.

3.1.4. Gözcü arıların belirlenen besin kaynaklarının çevresine gönderilmesi

Her bir besin kaynağının olasılık değeri eşitlik (3.4) ile hesaplandıktan sonra rulet tekerleğine göre seçim işlemi uygulanır. Bu işlem esnasında her bir besin kaynağı için $[0,1]$ aralığında rastgele sayı üretilir ve sp_i değeri üretilen sayıdan büyükse gözcü arılar da işçi arılar gibi eşitlik (3.2)'yi kullanarak besin kaynağı etrafında yeni kaynaklar arar. Yeni besin kaynağındaki nektar miktarı hesaplanır. Her iki kaynak arasında iyi olan belirlenir. Yeni bulunan kaynağın nektar miktarı daha iyi ise $sayaç_i$ sıfırlanır; değilse değeri bir artırılır. Bu süreç tüm gözcü arılar yeni besin kaynaklarına gidinceye kadar devam eder.

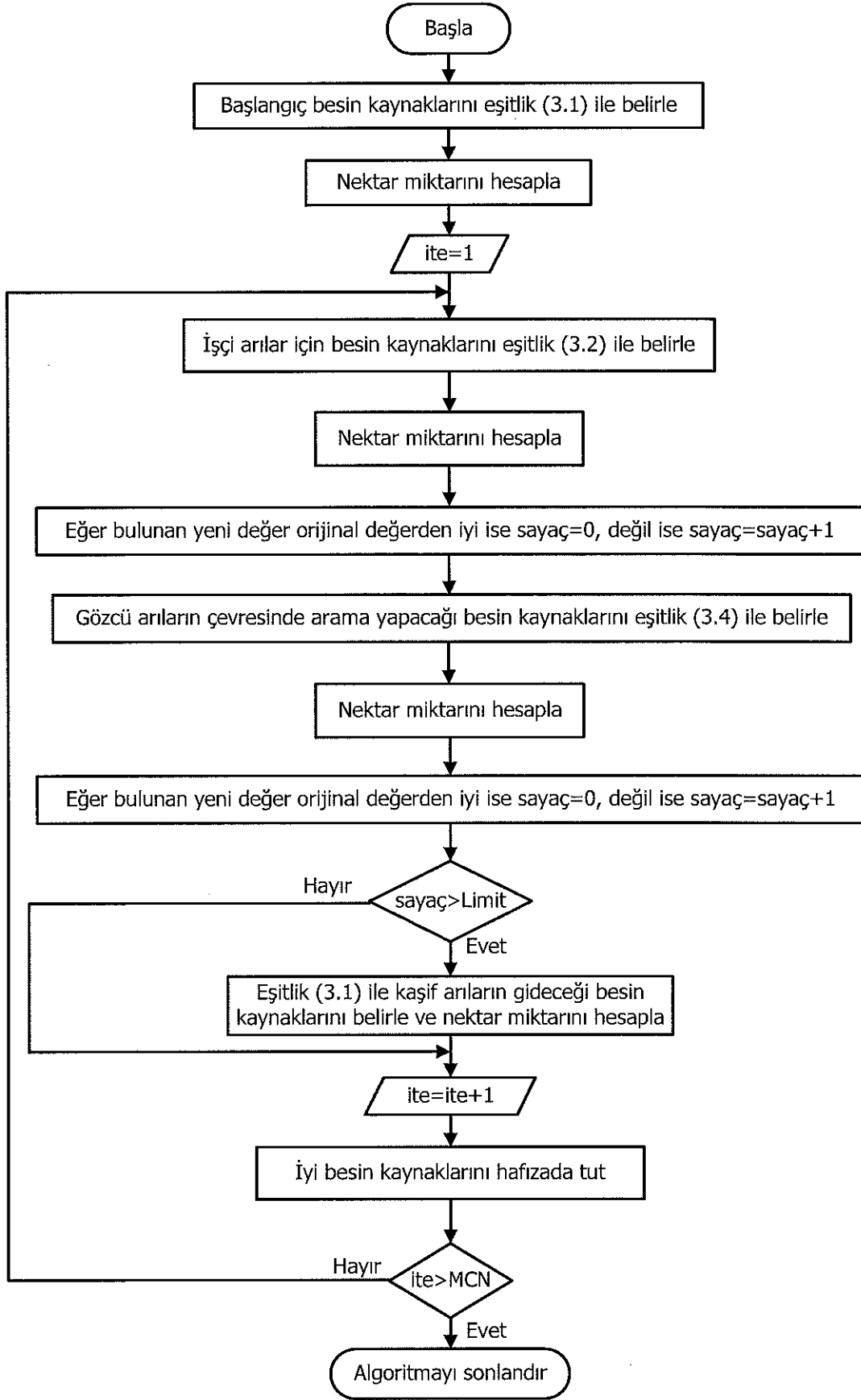
3.1.5. Kaynağın terk edilmesi kriteri

Her çevrim sonunda tüm işçi ve gözcü arılar aramaları bitirdikten sonra kovan içerisinde besin kaynaklarına ait bilgiler paylaşılır. Bu paylaşım içerisinde her besin kaynağına ait $sayaç_i$ değeri bulunmaktadır. Bu sayaç, bir kaynak ve etrafında daha

iyi nektar miktarına sahip bir besin kaynağının tükenip tükenmediğini göstermektedir. Eğer bir besin kaynağı etrafında daha iyi nektar miktarına sahip bir besin kaynağı tükenmişse, o besin kaynağı etrafında daha fazla arama yapılmaz. Bu durumda o besin kaynağı işçi arı tarafından terk edilir ve gözcü arılar ile kaynak etrafında arama yapılmaz. İşçi arının bir kaynağı terk etmesi, işçi arının kaşif arı haline gelmesi anlamına gelmektedir. Her bir döngüde kovan içerisindeki işçi arılardan sadece bir tanesi kaşif arıya dönüşebilir. Kaşif arı haline geldikten sonra arama bölgesi içerisinde yeniden rastgele bir kaynak eşitlik (3.1) ile belirlenir. Kaynağın tükendiğinin belirlenmesinde kullanılan eşik değeri “limit” olarak adlandırılır. Bu değer YAK algoritması için öneme sahiptir. Yapılan bu işlem negatif geri besleme olarak karşımıza çıkmaktadır.

YAK algoritmasının adımları detaylı olarak aşağıda verilmiştir. Eşitlik (3.1) kullanılarak başlangıç için besin kaynakları belirlenir. Bu besin kaynak miktarı işçi arı sayısına eşittir. Her bir besin için $sayaç_i$ değeri sıfırdır.

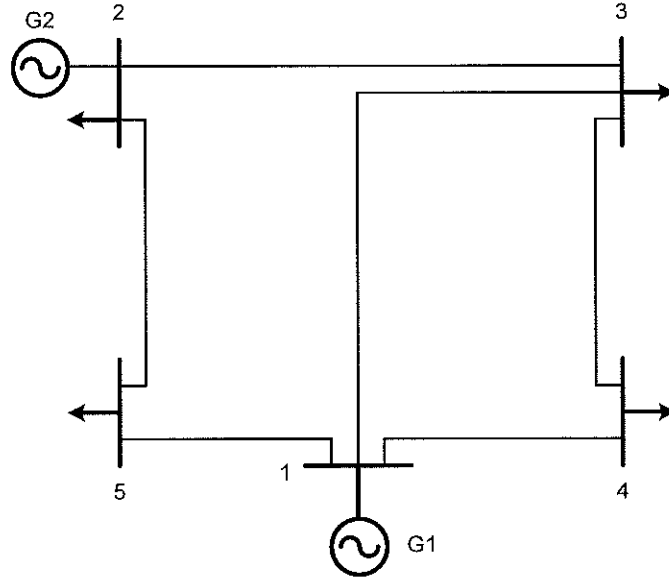
Her bir besin kaynağı için uygunluk değeri ve nektar miktarları hesaplanır. Uygunluk değeri ile nektar miktarı arasındaki bağıntı eşitlik (3.5)'te tanımlanmış olup, YAK algoritmasının akış diyagramı ise Şekil 3.2'de verilmiştir.



Şekil 3.2. YAK algoritmasının akış diyagramı

3.2. YAK Algoritmasının Saf AA Sistemlerin OGA'sına Uygulanışı

Burada YAK algoritmasının saf AA sistemlerin OGA'sına uygulanması Şekil 3.3'te gösterilen 5 baralı test sistemi üzerinde detaylı bir biçimde anlatılacaktır. Test sistemi verileri ekler bölümünde verilmiştir.



Şekil 3.3. 5 baralı test sistemi

Test sistemi içerisinde jeneratörlerin bağlı olduğu baralarda gerilim sınır değerleri sırasıyla 0,90 ile 1,10 birim değer, yük baralarında sırasıyla 0,95 ile 1,05 değer olarak seçilmiştir. N-R'nın başlangıcında aksi belirtilmedikçe yük baralarının gerilim genlikleri 1,0 birim, tüm baraların gerilim açısı değerleri 0 (sıfır) derece olarak alınacaktır. Yapılan denemeler sonucunda, amaç fonksiyonunun hesaplamasında kullanılan K_p , K_Q ve K_V değerleri birbirine eşit ve 10^4 olarak belirlenmiştir.

Bu test sistemine ait bara admitans matrisi, sisteme ait veriler kullanılmak suretiyle Bölüm 2.1.2.'de anlatıldığı gibi aşağıdaki biçimde oluşturulur.

$$y_{bara} = \begin{bmatrix} 2,1569-j8,5705 & 0 & -0,5882+j2,3529 & -0,3922+j1,5686 & -1,1765+j4,7059 \\ 0 & 2,3529-j9,3818 & -1,1765+j4,7059 & 0 & -1,1765+j4,7059 \\ -0,5882+j2,3529 & -1,1765+j4,7059 & 2,3529-j9,3748 & -0,5882+j2,3529 & 0 \\ -0,3922+j1,5686 & 0 & -0,5882+j2,3529 & 0,9804-j3,8866 & 0 \\ -1,1765+j4,7059 & -1,1765+j4,7059 & 0 & 0 & 2,3529-j9,3668 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Uygulama içerisinde besin kaynakları elektriksel olarak kontrol değişkenlerine, uygunluk değeri ise amaç fonksiyon değerine karşılık gelmektedir. Algoritma mantığı içerisinde N-R'nin yakınsamaması durumunda ilgili besin kaynağına çok kötü bir uygunluk değeri atanmalıdır.

Bu test sistemi içerisindeki kontrol ve durum değişkenleri sırasıyla (3.7) ve (3.8) eşitlikleri ile verilmiştir.

$$u^T = [p_{G2}, v_1, v_2] \quad (3.7)$$

$$x^T = [p_{G1}, v_3, v_4, v_5, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5, q_{G1}, q_{G2}] \quad (3.8)$$

Kontrol değişkenlerinin sayısı PS olarak belirlenmiştir. Başlangıç besin kaynaklarının oluşturulması adımında $PS=3$ ve $SN=2$ belirlenmiştir. Denklem (3.1) ile kontrol değişkenleri, sınır değerler içerisinde rastgele üretilerek başlangıç besin kaynakları üretilmiştir. Ayrıca algoritma içerisinde limit parametresi 50 olarak belirlenmiştir. Başlangıç besin kaynakları (3.9) eşitliği ile verilmiştir.

$$\text{Besin kaynakları} = \begin{bmatrix} 0,8 & 1,08 & 1,08 \\ 0,4 & 0,95 & 1,10 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

Yukarıdaki birinci besin kaynağının test sistemindeki karşılığı: $p_{G2} = 0,8$, $v_1 = 1,08$ ve $v_2 = 1,08$ birim değerleridir. Bu başlangıç değerleri ile N-R programı koşturulur. N-R sonucunda elde edilen sistem verileri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1. Birinci besin kaynağı için N-R sonucunda elde edilen sistem verileri

Bara numarası	v	δ (derece)	p_G	q_G
1	1,080	0,000	1,14699	0,20058
2	1,080	-3,734	0,80000	0,36354
3	1,015	-6,908	--	--
4	0,995	-9,149	--	--
5	1,049	-4,713	--	--

Eşitlik (2.102) ile toplam enerji üretim maliyeti hesaplanır. Tablo 3.1’te verilen sonuçların hiçbirinde taşma meydana gelmemiştir. Bundan dolayı uygunluk değeri toplam enerji üretim maliyetine eşit olmalıdır. Eşitlik (2.100) ile birinci besin kaynağının uygunluk değeri 860,2 olarak hesaplanır.

İkinci besin kaynağının test sistemindeki karşılığı: $p_{G2} = 0,4$, $v_1 = 0,95$ ve $v_2 = 1,10$ birim değerleridir. Bu başlangıç değerleri ile N-R programı koşturulur. N-R sonucunda elde edilen sistem verileri Tablo 3.2’de verilmiştir.

Tablo 3.2. İkinci besin kaynağı için N-R sonucunda elde edilen sistem verileri

Bara numarası	v	δ (derece)	p_G	q_G
1	0,950	0,000	1,61365	-0,174488
2	1,050	-12,597	0,40000	1,043959
3	0,931	-13,310	--	--
4	0,879	-14,341	--	--
5	0,960	-9,981	--	--

Eşitlik (2.102) ile toplam enerji üretim maliyeti hesaplanır. Tablo 3.2’de verilen sonuçlarda v_3 , v_4 , q_{G1} ve q_{G2} değerleri sınır değerleri aşmıştır. Bu aşmalardan dolayı uygunluk değeri toplam enerji üretim maliyetine göre daha büyük bir değer alacaktır. Eşitlik (2.100) ile ikinci besin kaynağının uygunluk değeri 1043,31 olarak hesaplanır.

Her iki besin kaynağı için uygunluk değerleri (3.10) eşitliği ile verilmiştir.

$$\text{Uygunluk değerleri} = \begin{bmatrix} 860,2 \\ 1043,31 \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

1. İşçi arı: İşçi arının gideceği besin kaynağı (3.2) eşitliği ile tespit edilmektedir. Bu eşitlik içerisinde $\varphi_{ij} = 0,5$ olduğu varsayılmaktadır. Besin kaynaklarından rasgele seçilen 1,08 ile bu kaynağın komşuluğundaki 1,00 değeri, (3.2) eşitliğine göre işleme tabi tutulmuştur.

$1,08 + 0,5 * (1,08 - 0,95) = 1,145$ olarak hesaplanmıştır. İlgili değişkenin st limiti 1,10 olduğu için bu değer 1,10 olarak alınacaktır.

$$\text{İşçi arının besin kaynağı} = [0,8 \quad 1,10 \quad 1,08] \quad (3.11)$$

İşçi arının besin kaynağının test sistemindeki karşılığı: $p_{G2} = 0,8$, $v_1 = 1,10$ ve $v_2 = 1,08$ birim değerleridir. Bu başlangıç değerleri ile N-R programı koşturulur ve N-R sonucunda uygunluk değeri (2.100) eşitliği ile hesaplanır. İşçi arının besin kaynağının uygunluk değeri 861,381 olarak hesaplanmıştır. Bu değer bir önceki besin kaynağının uygunluk değerinden kötü olduğu için sayaç değeri 1 arttırılır (saya=saya+1). Besin kaynaklarında değişim yoktur.

$$\text{Besin kaynakları} = \begin{bmatrix} 0,8 & 1,08 & 1,08 \\ 0,4 & 0,95 & 1,10 \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

1. Gözcü arı: Rulet tekerleğine göre uygulanan seçim işleminde birinci besin kaynağının seçildiği varsayılmaktadır. Bu kaynak için 0,8 ile kaynağın komşuluğundaki 0,4 değeri, (3.2) eşitliğine göre işleme tabi tutulacaktır. $\varphi_{ij} = 0,128$ olduğu varsayılmaktadır.

$0,8 + 0,128 * (0,8 - 0,4) = 0,8512$ olarak hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçta taşma yoktur.

$$\text{Gözcü arının besin kaynağı} = [0,8512 \quad 1,08 \quad 1,08] \quad (3.13)$$

Gözcü arının besin kaynağının test sistemindeki karşılığı: $p_{G2} = 0,8512$, $v_1 = 1,08$ ve $v_2 = 1,08$ birim değerleridir. Başlangıç değeri belirlenmiş N-R programı koşturulur ve N-R sonucunda (2.100) eşitliği ile ilgili besin kaynağına ait uygunluk değeri elde edilir. Bu besin kaynağı için uygunluk değeri 858.297 olarak hesaplanmıştır. Bu değer bir önceki değerden daha iyi olduğu için besin kaynağına ait sayaç değeri sıfırlanır, ayrıca yeni kaynak besin kaynakları arasında yerini alır. Yeni besin kaynakları eşitlik (3.14)'te verilmiştir.

$$\text{Besin kaynakları} = \begin{bmatrix} 0,8512 & 1,08 & 1,08 \\ 0,4 & 0,95 & 1,10 \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

1. Kaşif Arı: Sayaç < limit olduğu için herhangi bir kaşif arı üretilmeyecektir.

2. İşçi Arı: Besin kaynaklarından rastgele seçilen 1,08 ile kaynağın komşuluğundaki 1,10 değeri, (3.2) eşitliği ile işleme tabi tutulacaktır.

Besin kaynağının yeni pozisyonu $1,08 + 0,264 * (1,08 - 1,10) = 1,07472$ olarak hesaplanmıştır.

$$\text{İşçi arının besin kaynağı} = [0,8512 \quad 1,08 \quad 1,07472] \quad (3.15)$$

Yeni besin kaynağı için elde edilen uygunluk değeri 858.324 olarak hesaplanmıştır. Bu değer bir önceki uygunluk değerinden kötü olduğu için sayaç bir arttırılır.

2. Gözcü Arı: Rulet tekerleği ile seçme işlemi sonucunda ikinci besin kaynağının seçildiği varsayılmaktadır. Bu besin kaynağında rastgele seçilen 0,4 ile kaynağın komşuluğundaki 0,8512 değeri (3.2) eşitliği ile işleme tabi tutulacaktır. İşlem sonucunda besin kaynağının yeni pozisyonu $0,4 + (-0,879) * (0,4 - 0,8512) = 1,1966048$ olarak elde edilmiştir. Gözcü arının gittiği yeni besin kaynağının uygunluk değeri yapılan hesaplamalar sonucunda 1234,061 olarak hesaplanmış bu değer bir önceki değerden daha kötü olduğu için sayaç değeri bir arttırılmıştır.

2. Kaşif Arı: Sayaç<limit olduğu için herhangi bir kaşif arı üretilmeyecektir.

Algoritmanın adımları durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder.

3.3. AA-DA Sistemlerinin GHKKOGA'sında Uygunluk Değerinin Hesaplanması

Burada YAK algoritmasının AA-DA sistemlerinin GHKKOGA'sına uygulanma aşamalarından uygunluk değerinin nasıl hesaplandığı detaylandırılacaktır.

Adım 1: Problemin kontrol değişkenleri arasında yer alan DA iletim hattından aktarılan güçler birer yük olarak kabul edilmiştir. DA iletim hattının bağlı olduğu baralardaki yükler değerleri eşitlik (2.89) kullanılarak güncellenir.

Adım 2: N-R güç akışı programı koşturulur.

Adım 3: Problemin durum değişkenleri N-R güç akışı programı sonucunda (2.113) eşitliği ile hesaplanır.

Adım 4: Her bir jeneratörün geçici hal kararlılık reaktansının gerisinde olduğu kabul edilmiş baranın gerilim genlik ve açıları (2.119)-(2.121) eşitlikleri ile hesaplanır.

Adım 5: Bu jeneratör iç baralarının ilavesi ile genişletilmiş bara admitans matrisi (2.122) eşitliği ile hesaplanır.

Adım 6: AA sistemine ait güncelleme önceki sistem yükleri ve DA sistemine ait güçler (2.123) ve (2.124) eşitlikleri kullanılarak admitans değerine dönüştürülür.

Adım 7: Adım 6'da elde edilen admitans değerleri adım 5'te elde edilen genişletilmiş bara admitans matrisine dahil edilir.

Adım 8: Eşitlik (2.128) kullanılarak indirgenmiş bara admitans matrisi elde edilir.

Adım 9: İndirgenmiş bara admitans matrisi yardımıyla jeneratörlerden çekilen akımlar (2.130) eşitliği ile hesaplanır.

Adım 10: Jeneratörlerden çekilen elektriksel güçler (2.131) eşitliği ile hesaplanır.

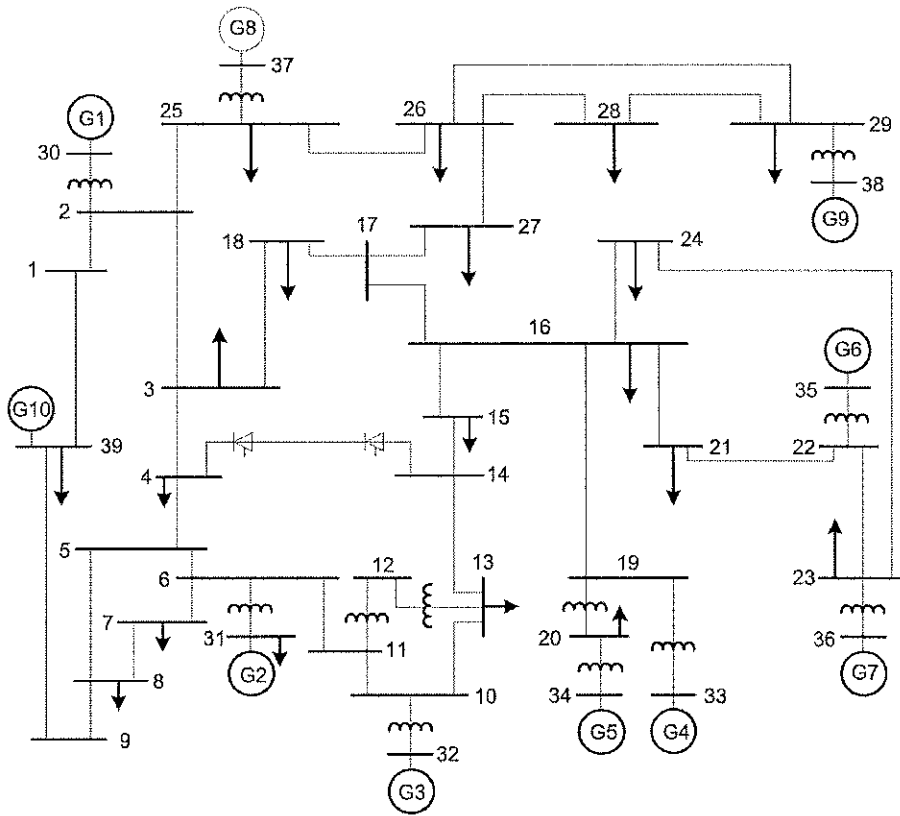
Adım 11: Arıza başlangıç anından belirlenen süreye kadar tüm jeneratörlerin rotor açıları Bölüm 2.5.2’de anlatılan Düzeltilmiş Euler yöntemiyle hesaplanır.

Adım 12: Eşitlik (2.144) ile salınım barası dışındaki jeneratörlerin salınım barasına göre bağıl açıları hesaplanır.

Adım 13: Besin kaynağının uygunluk değeri (2.145) eşitliği ile hesaplanır.

BÖLÜM 4. SİMÜLASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, bir önceki bölümde anlatılan YAK algoritmasının Şekil 4.1’de gösterilen modifiye New-England 39-baral test sistemi için iki farklı arıza durumundaki GHKKOGA problemine uygulanışına ait simülasyon detayları ayrıntılı bir biçimde verilerek elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı bir biçimde irdelenmiş ve bu sonuçlara ait değerlendirmeler yapılmıştır.



Şekil 4.1. Modifiye New-England 39 baralı test sistemi [57]

Önerilen algoritmayla, farklı iterasyon sayısı ve popülasyon büyüklüklerinde çok sayıda deneme yapılmıştır. İterasyon sayısı $\gg 1000$ veya popülasyon büyüklüğü $\gg 200$ için önerilen algoritma her çalıştırılmasında, uzun çalışma sürelerinde optimum sonuca ulaşmakta olduğundan dolayı bu durumlar tercih edilmemiştir.

Denemeler sonucunda birçok çalışmada olduğu gibi, iterasyon sayısı 100 olarak belirlenmiştir. Belirlenen iterasyon sayısında, Tablo 4.1'de verilen, popülasyon büyüklükleri ile problem çözülmüştür. Her popülasyon büyüklüğü için 20 farklı deneme sonucunda elde edilen sonuçlar verilmiştir. Geliştirilen yazılım I3 CPU 2.4 GHz, 2 GB RAM özelliklerine sahip bir bilgisayarda çalıştırılmıştır.

Tablo 4.1. Popülasyon büyüklükleri

Durumlar	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Popülasyon büyüklüğü	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
İşçi arı sayısı	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
İşçi olmayan arı sayısı	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50

Şekil 4.1'de gösterilen modifiye test sistemi içerisinde iki adet çeviricili bir iki uçlu DA iletim hattı, 12 adet kademeli transformatör ve 10 adet jeneratör bulunmaktadır. Modifiye test sistemine ait veriler eklerde verilmiştir [4, 43, 58].

Test sisteminde oluşan iki farklı arıza durumu incelenmiştir. Oluşan arıza durumları için simülasyon zaman aralığı $\Delta t = 0,01$ saniye, maksimum simülasyon süresi $t_{\max} = 5$ saniye, yapılan denemeler sonucunda maksimum bağıl rotor açısı değeri $\delta^{\max} = 200^\circ$ olarak belirlenmiştir.

Durum A: 6 numaralı ve 11 numaralı baralar arasında 6 numaralı baraya yakın üç faz-toprak arızası meydana geldiği düşünülmektedir. Arıza temizleme süresi $t_c = 0,1960$ saniye olup [57], çalışma içerisinde $t_c = 0,2000$ saniye alınmıştır.

Durum B: 3 numaralı ve 4 numaralı baralar arasında 3 numaralı baraya yakın üç faz-toprak arızası meydana geldiği düşünülmektedir. Arıza temizleme süresi $t_c = 0,2349$ saniye olup [57], çalışma içerisinde $t_c = 0,2500$ saniye alınmıştır.

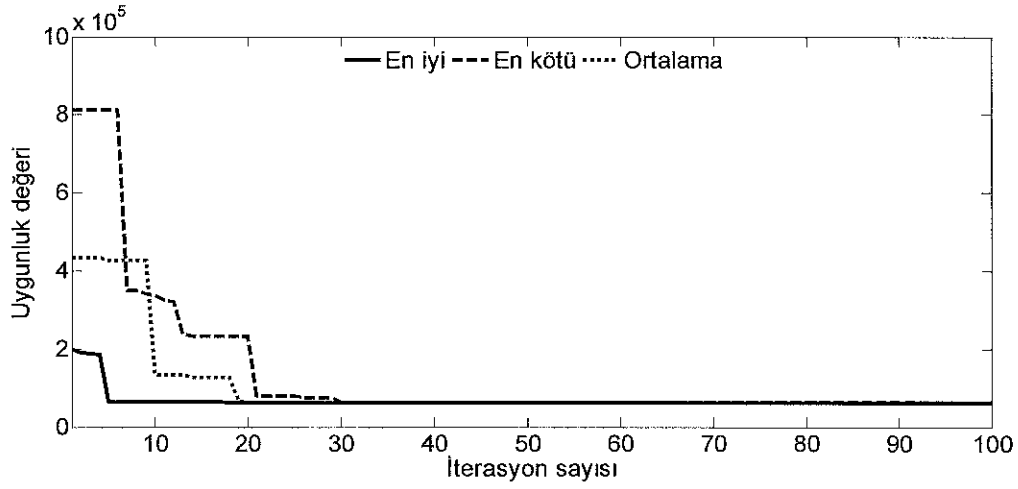
4.1. Durum A için Elde Edilen Sonuçlar

Durum A için, yapılan denemeler sonucunda Tablo 4.1’de tanımlanan durumlara göre elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri ile hesaplama süreleri Tablo 4.2’de verilmiştir. Optimum durumun belirlenmesinde, ortalama uygunluk değeri ve hesaplama süresi kriter olarak belirlenmiştir. Burada, ilk iki durumda artan süreye karşılık ortalama uygunluk değerlerinde önemli azalma olurken; durum 3’ten sonraki durumlarda artan süreye karşılık ortalama uygunluk değerinde önemli bir azalma söz konusu değildir. Bu sebepten dolayı durum 3 optimum durum olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.2. Durum A için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri ile hesaplama süresi

Durumlar	Durum A			Hesaplama Süresi (Saniye)
	Minimum uygunluk değeri	Maksimum uygunluk değeri	Ortalama uygunluk değeri	
1	62914,6	89311,1	76112,85	63
2	62897	63727,6	63312,3	126
3	62565,7	63165,1	62865,4	189
4	62556,3	63149,3	62852,8	252
5	62525,5	63105,6	62830,95	315
6	62510,6	63035,8	62773,2	378
7	62478,5	63031,7	62755,1	441
8	62462,4	62962	62712,2	504
9	62429,7	62941,2	62685,45	567
10	62429,3	62869,9	62649,6	630

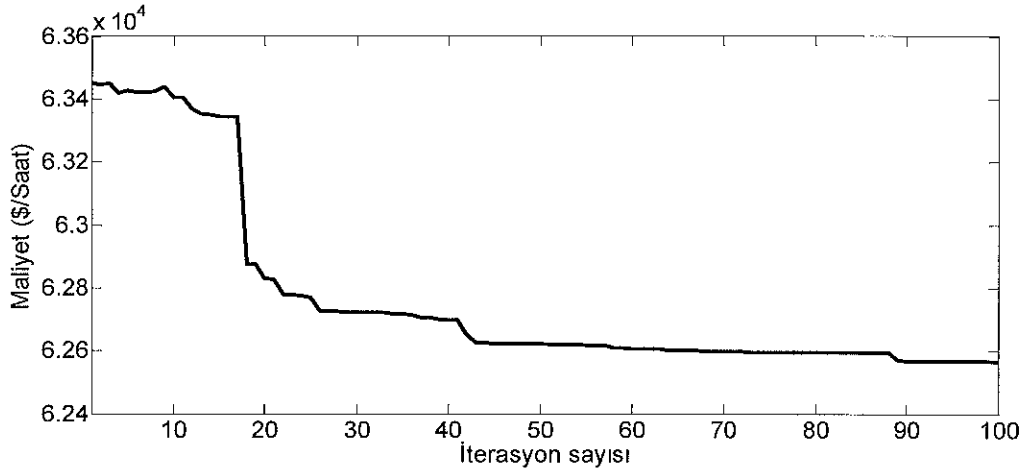
Önerilen algoritma ile elde edilen minimum uygunluk değeri, en iyi; maksimum uygunluk değeri, en kötü ve ortalama uygunluk değeri, ortalama olarak tanımlanmıştır. Durum A için elde edilen en iyi, en kötü ve ortalamanın iterasyon sayısına göre değişimleri Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Durum A için en iyi, en kötü ve ortalamanın iterasyon sayısına göre değişimleri

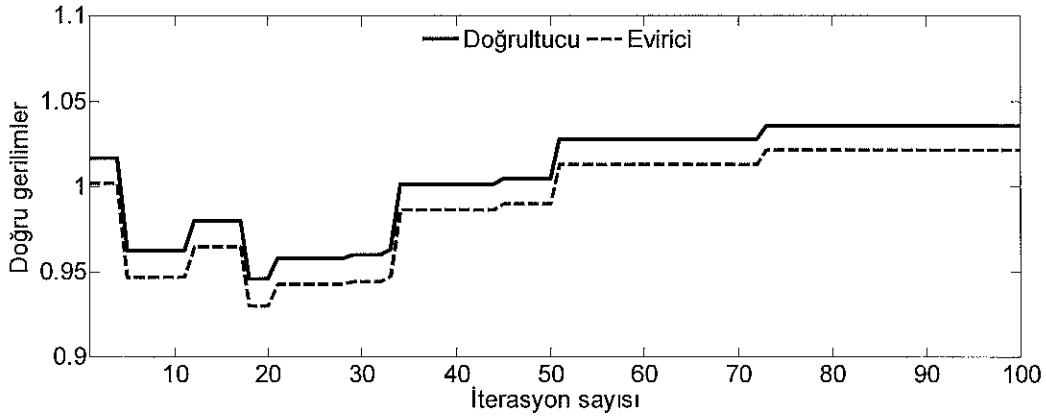
Şekilden en iyinin 5'inci iterasyonda optimum noktaya ulaştığı; ortalamanın, yaklaşık 19'uncu iterasyonda; en kötünün, yaklaşık 30'uncu iterasyonda sonuca ulaştığı gözlemlenmektedir.

En iyinin, enerji üretim maliyetinin iterasyona göre değişimi Şekil 4.3'te verilmiştir. Optimizasyon problemi içerisinde minimizasyonu yapılacak olan değer uygunluk değeri olduğundan, enerji üretim maliyetinde artışlar olabilmektedir.



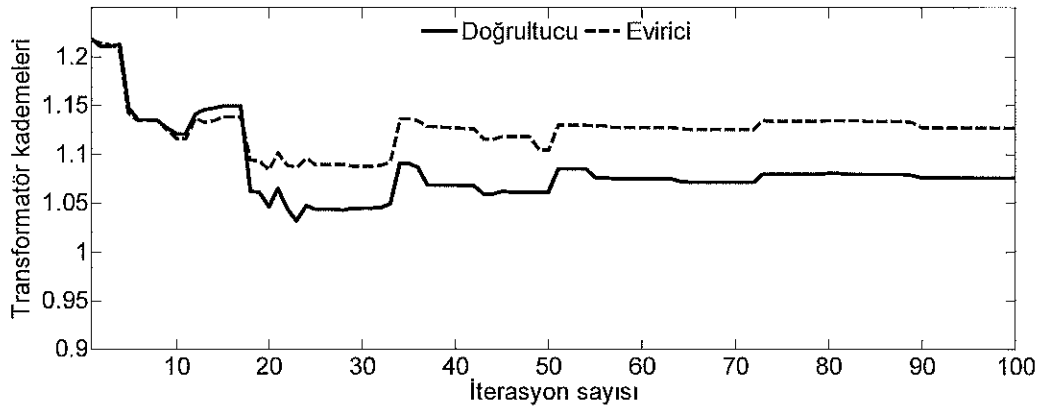
Şekil 4.3. Durum A için en iyinin maliyet değerinin iterasyon sayısına göre değişimi

Şekil 4.4'te doğrultucu ve eviriciye ait doğru gerilimlerin iterasyon sayısına göre değişimi gösterilmiştir. Bu gerilimlerin sınır değerleri 0,9 ve 1,1 birim olarak alınmıştır.



Şekil 4.4. Durum A için doğrultucu ve evirici tarafındaki doğru gerilimlerin iterasyon sayısına göre değişimi

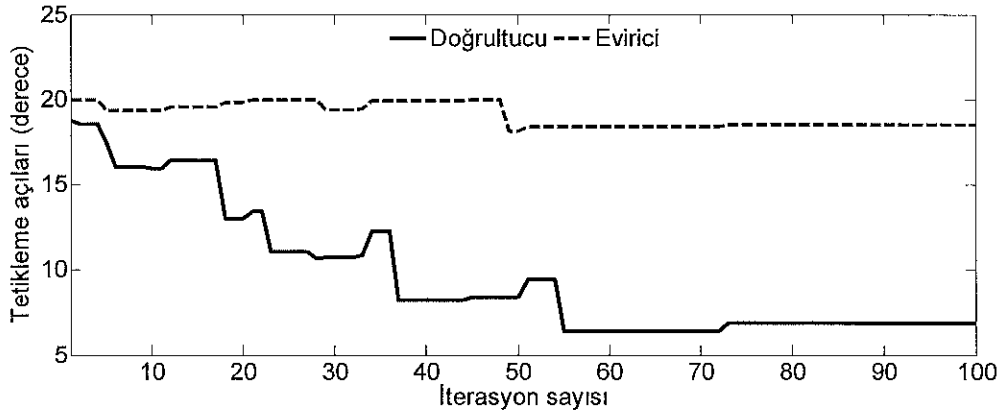
Doğrultucu ve evirici taraflarındaki transformatör kademelerinin iterasyon sayısına göre değişimleri Şekil 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Durum A için doğrultucu ve evirici tarafındaki transformatör kademelerinin iterasyon sayısına göre değişimi

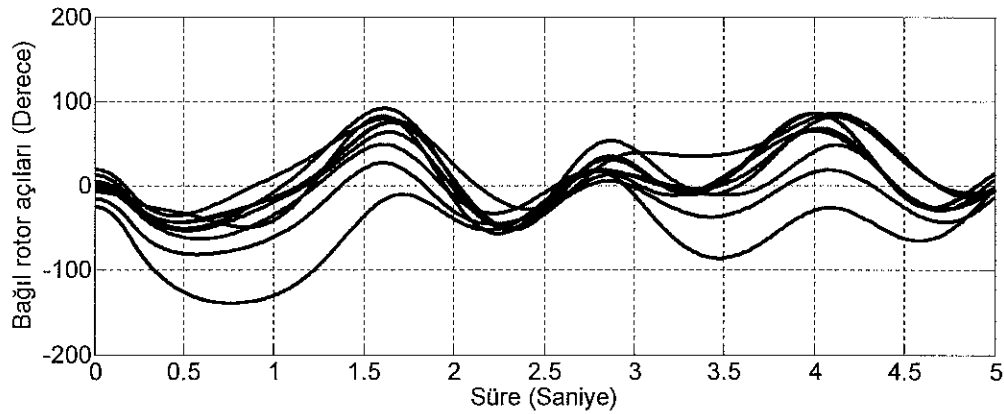
Transformatör kademelerinin sınır değerleri sırasıyla 0,85 ve 1,15 birim olarak alınmış olup Şekil 4.5'ten her iki taraftaki transformatör kademelerinde, ilk iterasyonlarda taşma meydana geldiği; sonraki iterasyonlarda ise taşma olmadığı gözlemlenmiştir.

Doğrultucu ve evirici taraflara ait tetikleme açılarının iterasyon sayısına göre değişimi Şekil 4.6'da verilmiştir. Şekilden her iki açının simülasyon süresince sınır değerler içerisinde kaldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4.6. Durum A için doğrultucu ve evirici tarafındaki tetikleme açılarının iterasyon sayısına göre değişimi

Durum A için jeneratörlerin bağıl rotor açılarının zamana göre değişimi Şekil 4.7’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere arıza sonrasında sistemdeki tüm jeneratörler simülasyon süresince kararlı kalmaktadır.



Şekil 4.7. Durum A için jeneratörlerin bağıl rotor açılarının zamana göre değişimi

4.2. Durum B İçin Elde Edilen Sonuçlar

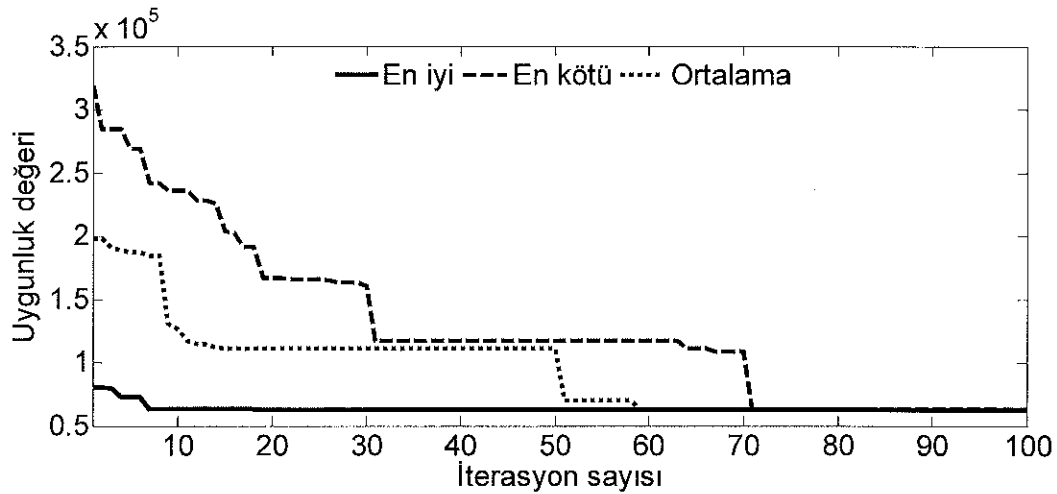
Durum B için, yapılan denemeler sonucunda farklı popülasyon büyüklüklerine göre elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri ile hesaplama süreleri Tablo 4.3’de verilmiştir. Burada, ilk 4 durumda artan süreye karşılık ortalama uygunluk değerlerinde önemli azalma olurken; durum 5’ten sonraki

durumlarda artan süreye karşılık ortalama uygunluk değerinde önemli bir azalma söz konusu değildir. Bu sebepten dolayı durum 5 optimum durum olarak belirlenmiştir.

Tablo 4.3. Durum B için elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri ile hesaplama süresi

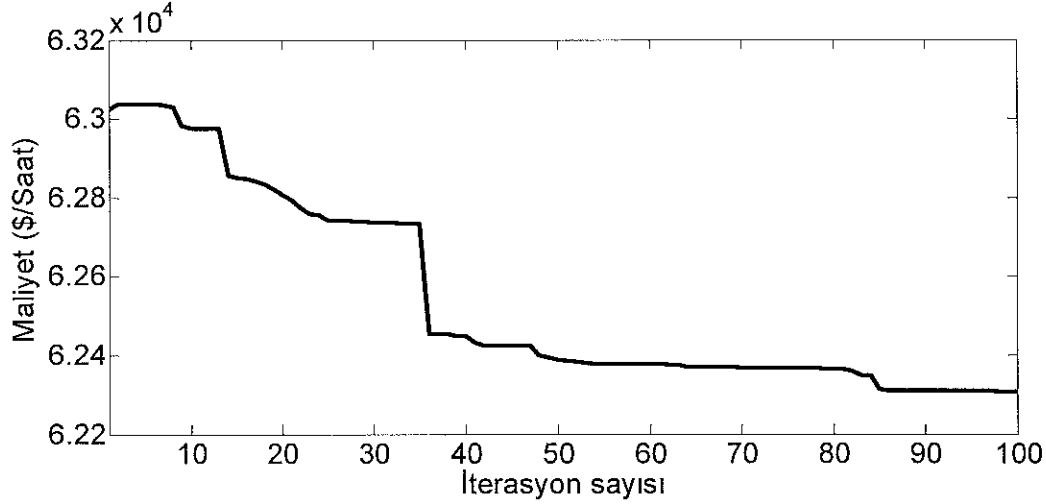
Durumlar	Durum B			Hesaplama Süresi (Saniye)
	Minimum uygunluk değeri	Maksimum uygunluk değeri	Ortalama uygunluk değeri	
1	62634,7	473154	267894,4	63
2	62529,1	305046	183787,6	126
3	62490,3	109417	85953,65	189
4	62345,5	75221,6	68783,55	252
5	62306,2	62910,8	62608,5	315
6	62286,6	62883,8	62585,2	378
7	62240,3	62840,5	62540,4	441
8	62220,9	62721,0	62470,95	504
9	62188,6	62710,8	62449,7	567
10	62177,4	62634,7	62406,05	630

Şekil 4.8’de en iyi, en kötü ve ortalamanın iterasyon sayısına göre değişimi gösterilmiştir. Şekilden en iyinin 7’inci iterasyonda optimum noktaya ulaştığı; ortalamanın, yaklaşık 62’inci iterasyonda; en kötünün, yaklaşık 72’nci iterasyonda sonuca ulaştığı gözlemlenmektedir.



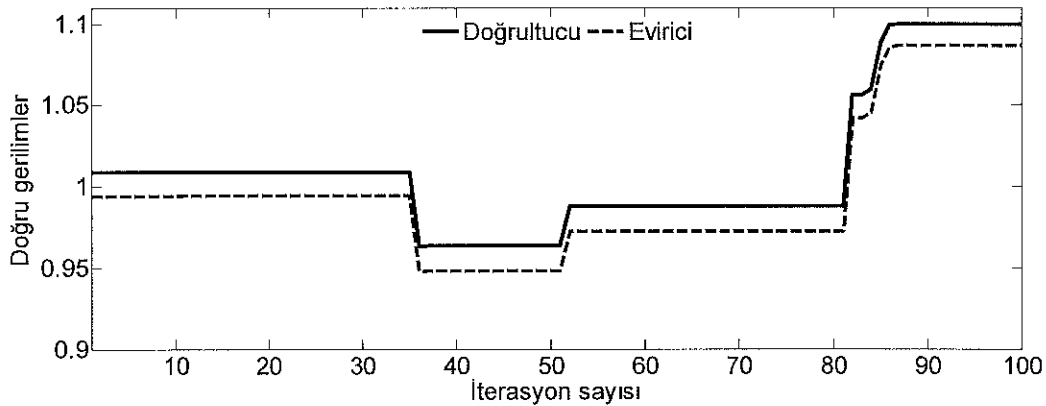
Şekil 4.8. Durum B için en iyi, en kötü ve ortalamanın iterasyon sayısına göre değişimleri

En iyi elde edilirken; enerji üretim maliyetinin, doğrultucu ve evirici taraflardaki doğru gerilimlerin, transformatörün kademe değerlerinin ve tetikleme açılarının iterasyon sayısına göre değişimleri sırasıyla Şekil 4.9, Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de gösterilmiştir. Şekil 4.9’da enerji üretim maliyeti, ilk iterasyonlarda artarken daha sonraki iterasyonlarda azaldığı gözlemlenmiştir.

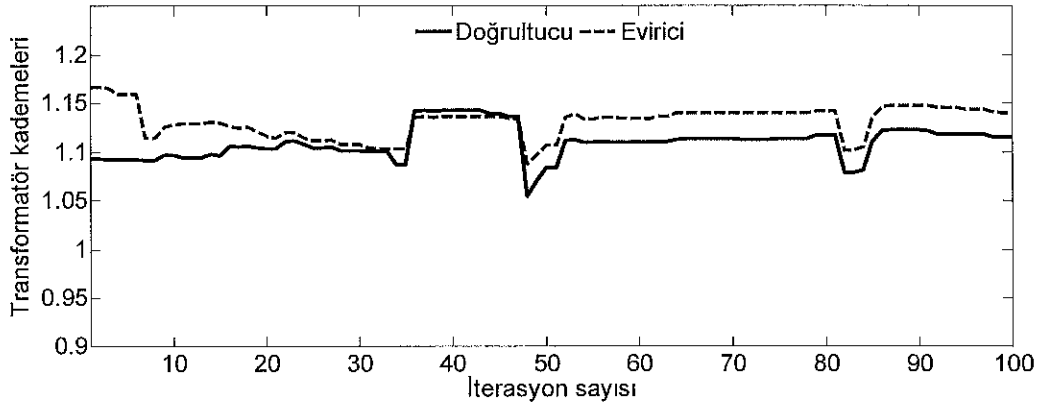


Şekil 4.9. Durum B için maliyetin iterasyon sayısına göre değişimi

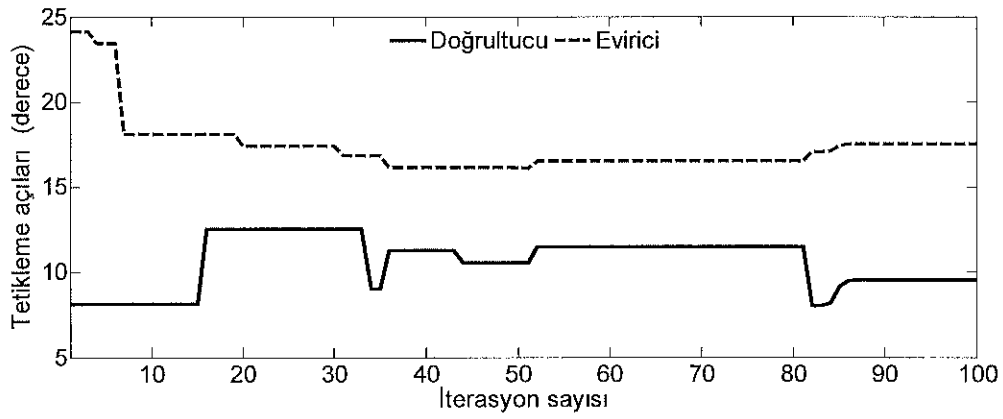
Şekil 4.10’da ve Şekil 4.12’de doğrultucu ve evirici taraftaki doğru gerilimlerin ve tetikleme açılarının simülasyon süresince sınır değerler içerisinde kaldıkları gözlemlenmiştir. Şekil 4.11’den evirici tarafa ait transformatör kademe değerinde ilk iterasyonlarda taşmalar meydana geldiği ilerleyen iterasyonlarda ise taşma meydana gelmediği gözlemlenmiştir.



Şekil 4.10. Durum B için doğrultucu ve evirici taraftaki doğru gerilimlerin iterasyon sayısına göre değişimi

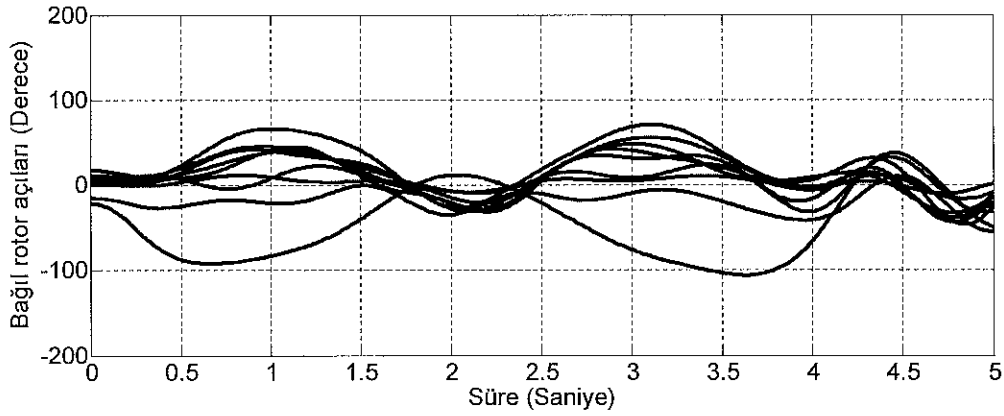


Şekil 4.11. Durum B için doğrultucu ve evirici tarafındaki transformatör kademelerinin iterasyon sayısına göre değişimi



Şekil 4.12. Durum B için doğrultucu ve evirici tarafındaki tetikleme açılarının iterasyon sayısına göre değişimi

Durum B için jeneratörlerin bağıl rotor açılarının zamana göre değişimi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere arıza sonrasında sistemdeki tüm jeneratörler simülasyon süresince kararlı kalmaktadır.



Şekil 4.13. Durum B için jeneratörlerin bağıl rotor açılarının zamana göre değişimi

YAK algoritması ile elde edilen sonuçlar neticesinde optimum popülasyon büyüklükleri belirlenmiş, bu popülasyon büyüklükleri için elde edilen sonuçlara ait grafikler yukarıda verilmiştir. Tablo 4.4.'de optimum popülasyon büyüklüğü içinde elde edilen en iyi sonuçlara ait AA sistem bara gerilim genlik ve açı değerleri verilmiştir.

Tablo 4.4. Her iki durum için AA sisteme ait baraların gerilim genlik ve açı değerleri

Bara numarası	Durum A		Durum B	
	v	δ	v	δ
1	1,0589	-4,8358	1,0636	-5,9827
2	1,0487	-3,8682	1,0441	-5,4819
3	1,0371	-7,1681	1,0466	-8,5765
4	0,9913	-8,3224	1,0325	-9,1994
5	1,0000	-7,3739	1,0577	-8,0558
6	1,0024	-6,7836	1,0637	-7,4799
7	0,9948	-8,7297	1,0529	-9,2424
8	0,9949	-9,0995	1,051	-9,5855
9	1,0383	-6,9172	1,0677	-7,6387
10	1,0332	-5,1359	1,074	-5,6337
11	1,0221	-5,6939	1,0695	-6,2674
12	0,9934	-5,7692	0,9944	-6,3367
13	1,0313	-5,7176	1,0682	-6,2892
14	1,0303	-7,0799	1,0557	-7,843
15	1,0427	-6,9828	1,0429	-8,3479
16	1,0598	-5,4300	1,0489	-7,0334
17	1,0615	-6,4376	1,0578	-8,0044
18	1,0519	-7,1281	1,0532	-8,6365
19	1,0648	-0,7488	1,0617	-2,0176
20	1,0084	-1,3977	0,9458	-3,0425
21	1,0616	-2,9766	1,0259	-4,915
22	1,0771	1,4291	1,016	-0,5647
23	1,0675	1,2382	1,0348	-0,8092
24	1,0656	-5,2732	1,0518	-6,9798
25	1,0612	-3,1512	1,0582	-4,7576
26	1,0912	-5,2628	1,0939	-6,8952
27	1,0746	-6,8888	1,0744	-8,4886
28	1,0862	-2,8596	1,0977	-4,5781
29	1,0754	-0,4921	1,0895	-2,2815
30	1,0315	-1,0775	1,0500	-3,4336
31	1,0367	0,0000	1,0500	0,0000
32	1,0500	0,5324	1,0159	1,6019
33	1,0142	3,7226	1,0028	3,0632
34	1,0049	4,7677	1,0296	2,5388
35	0,9808	7,4135	0,9962	4,1493
36	1,0334	9,5499	1,0256	7,7812
37	0,9859	3,8782	0,994	2,2767
38	0,9880	6,3017	1,0372	3,8921
39	1,0273	-5,3330	1,0372	-6,1737

Jeneratör baralarının gerilim genliklerinin sınır değerleri sırasıyla 0,95 ve 1,05 birim ve yük baralarının gerilim genliklerinin sınır değeri ise sırasıyla 0,90 ve 1,10 birim olarak alınmıştır.

Tablo 4.5'te her iki arıza durumu için önerilen algoritmayla elde edilen jeneratör güç değerleriyle aktif gücün sınır değerleri verilmiştir. Elde edilen güç değerlerinin sınır değerlerini aşmadığı tablodan görülmektedir. Tüm jeneratörlerin reaktif gücünün sınır değerleri sırasıyla -400 MW ve 400 MW olarak alınmıştır.

Tablo 4.5. Her iki durum için önerilen algoritma ile bulunan jeneratör güç değerleri

Bara numarası	Minimum Aktif Güç	Maksimum Aktif Güç	Durum A		Durum B	
			P_G	Q_G	P_G	Q_G
30	100	350	290,992	-90,348	225,618	-217,301
31	200	650	527,356	-52,048	544,539	337,243
32	300	800	515,608	317,822	619,771	278,381
33	300	750	562,158	74,522	623,387	89,399
34	250	650	596,337	113,368	565,762	145,418
35	300	750	680,139	239,271	594,248	-266,746
36	250	750	571,431	4,936	546,244	274,171
37	250	700	520,634	-57,321	529,958	-62,799
38	400	900	751,813	-159,615	749,567	-137,830
39	600	1200	1177,172	-131,591	1193,004	-198,211
	Kayıp Güç (MW)		39,492	--	38,364	--

AA sistem içerisindeki transformatörlerin kademeleri Tablo 4.6'da verilmiştir. Transformatör kademelerinin sınır değerleri sırasıyla 0,85 ve 1,15 birim olarak alınmış olup bu değerlerde de taşma olmadığı yine tablodan gözlemlenmiştir.

Tablo 4.6. Transformatörlerin kademeleri

Transformatör	Durum A	Durum B
T ₂₋₃₀	1,0000	0,9596
T ₆₋₃₁	0,9476	1,0864
T ₁₀₋₃₂	1,0391	1,1087
T ₁₂₋₁₁	0,9856	0,9502
T ₁₂₋₁₃	0,9861	0,943
T ₁₉₋₂₀	1,0473	1,1186
T ₁₉₋₃₃	1,0616	1,0727
T ₂₀₋₃₄	1,0237	0,9421
T ₂₂₋₃₅	1,1325	0,9789
T ₂₃₋₃₆	1,0262	1,0768
T ₂₅₋₃₇	1,0571	1,0445
T ₂₉₋₃₈	1,0603	1,0295

Tablo 4.7’de önerilen algoritmayla elde edilen DA iletim hattına ait değişkenlerin birim değerleri verilmiştir. Tablodan tüm değerlerin sınır değerler içerisinde kaldığı gözlemlenmektedir. Birim değerler gerçek değerlerin DA baz değerine bölünmesiyle elde edilmiştir.

Tablo 4.7. DA iletim hattına ait değişkenlerin birim değerleri

Değişken	Minimum	Maksimum	Durum A	Durum B
p_{dr}	2,6200	2,6200	2,6200	2,6200
p_{di}	2,5717	2,5877	2,5835	2,5877
q_{dr}	1,0000	1,5000	1,0000	1,0000
q_{di}	1,0000	1,5000	1,1495	1,0823
α	6,0000	40,0000	6,8494	9,5259
γ	16,0000	40,0000	18,4993	17,5294
T_{dr}	0,8500	1,1500	1,07595	1,1153
T_{di}	0,8500	1,1500	1,1276	1,14056
v'_{dr}	0,9000	1,1000	1,0356	1,1000
v'_{di}	0,9000	1,1000	1,0212	1,0864
i_d	2,3818	2,9111	2,5297	2,3818

Bu çalışmada ayrıca, aynı test sisteminin iki farklı arıza durumundaki GHKKOGA probleminin çözümü, detayları Ek B’de verilmiş olan GA ile gerçekleştirilmiştir.

Buna göre Durum A için GA kullanılarak elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri sırasıyla 63868, 95134 ve 79501 olarak elde edilmiştir. Burada GA’nın popülasyon büyüklüğü 30 olarak alınmış olup, program çalışma süresi yaklaşık 360 saniye olarak belirlenmiştir.

Durum B için ise GA kullanılarak elde edilen minimum, maksimum ve ortalama uygunluk değerleri sırasıyla 63630, 160438 ve 112034 olarak elde edilmiştir. Burada GA’nın popülasyon büyüklüğü 50 olarak alınmış olup, program çalışma süresi yaklaşık 600 saniye olarak belirlenmiştir.

Her iki durum için, daha önce tablolarda verilen YAK algoritması ve yukarıda verilen GA sonuçları kıyaslandığında, YAK algoritması ile elde edilen sonuçların GA’ya göre daha iyi olduğu ve daha kısa zamanda elde edildiği gözlemlenmektedir.

BÖLÜM 5. TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Literatürde yer alan saf AA güç sistemleri üzerine yapılmış olan çalışmalar incelendiğinde, son 10 yılda, güç sistemlerindeki birçok problemin çözümünde sezgisel metotların başarılı uygulamaları dikkat çekmektedir. Sezgisel metotlar kullanılarak çözülen güç sistemlerindeki problemlere;

- Optimal güç akışı,
- Optimal reaktif güç akışı,
- Çok-amaçlı optimal güç akışı
- Çeşitli kısıtlamalar ile optimal güç akışı

örnek olarak verilebilir. Bu kısıtlamalara örnek olarak, güvenlik kısıtlaması, geçici hal kararlılık kısıtlaması ve emisyon kısıtlaması verilebilir.

Yukarıda tanımlanan problemlerin çözümünde kullanılan başlıca sezgisel metotlar; GA, PSA, DEA, KKA ve YAK algoritmasıdır.

Sezgisel metotların, günden güne yaygın bir biçimde kullanılmaya başlayan AA-DA sistemlerdeki problemlerin çözümünde şu ana kadar yeterince kullanılmaması büyük bir eksilik olarak karşımıza çıkmıştır.

Bu çalışma ile ilk defa, bir AA-DA sisteminin GHKKOGA problemi, sezgisel bir metot olan ve literatürdeki çalışmalar ile kısa sürede optimum sonuca ulaşabilirliği ispatlanmış olan YAK algoritması kullanılarak çözülmüştür. Bu çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar ile önerilen algoritmanın bu tip güç sistem problemlerinin

çözümünde geçerliliği gösterilmiş ve yine elde edilen sonuçlar ile YAK algoritmasının bu probleme etkin ve verimli bir biçimde uygulanabilirliği ispatlanmıştır.

Ayrıca çalışma içerisinde verilen bağıntılar genel olup, birden fazla iki uçlu DA iletim hattının bulunduğu AA-DA sistemlerindeki muhtelif problemlerin çözümlerinde de kullanılabilir.

Bu tez çalışmasıyla elde edilen sonuçlar neticesinde, bundan sonraki aşamalarda aşağıdaki çalışmaların yapılabileceği öngörülmektedir:

- DA iletim hattından aktarılan güç değerine bağlı olarak arıza temizleme süresi değişmektedir, DA iletim hattından aktarılan güç değişken alınarak önce hat temizleme süresi hesaplanıp sonrasında problem çözümü yapılabilir.
- DA sisteme ait gerçek transformatör modeli kullanılarak çözüm yapılabilir.
- Çok uçlu AA-DA sistemlerindeki diğer problemlerin çözümünde de bu metod kullanılabilir.
- AA sistemi içerisinde iletim hatlarından aktarılan görünür güç değerleri hesaplanarak güvenlik kısıtlaması eklenebilir.
- YAK algoritması daha önce adı geçen diğer sezgisel metotlar ile birlikte hibrit olarak kullanılmak suretiyle saf AA ve AA-DA sistemlerinin birçok problemine uygulanabilir.

KAYNAKLAR

- [1] MO, N., ZOU, ZY., CHAN, KW., PONG, TYG., Transient stability constrained optimal power flow using particle swarm optimization. *Generation, Transmission and Distribution IET*. 2007; 1(3):476-483.
- [2] ZARATE-MINANO, R., CUTSEM, TV., MILANO, F., CONEJO, AJ., Securing Transient Stability Using Time-Domain Simulations within an Optimal Power Flow. *IEEE Transactions on Power Systems*. 2010; 25(1):243-253.
- [3] CAI, HR., CHUNG, CY., WONG, KP., Application of Differential Evolution Algorithm for Transient Stability Constrained Optimal Power Flow. *IEEE Trans. on Power Systems*. 2008; 23(2):719-728.
- [4] NGUYEN, TB., PAI, MA., Dynamic security-constrained rescheduling of power systems using trajectory sensitivities. *IEEE Trans. Power Syst.* 2003; 18(2):848-854.
- [5] TANGPATIPHAN, K., YOKOYAMA, A., Evolutionary Programming Incorporating Neural Network for Transient Stability Constrained Optimal Power Flow. *Power system technology and IEEE power India conference*. pp. 1-8, 2008. doi: 10.1109/ICPST.2008.4745318
- [6] HOBALLAH, A., ERLICH, I., PSO-ANN Approach for Transient Stability Constrained Economic Power Generation. *IEEE Bucharest Power Tech Conference*, pp. 1-6, 2009. doi: 10.1109/PTC.2009.5281926
- [7] AYAN, K., KILIÇ, U., Solution of transient stability constrained optimal power flow using artificial bee colony algorithm. *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, doi: 10.3906/elk-1112-14.
- [8] DOMMEL, HW., TINNEY, WF., Optimal Power Flow Solutions. *IEEE Transactions on power apparatus and systems*. 1968; PAS-87(10):1866-1876.
- [9] ALSAC, O., BRIGHT, J., PRAIS, M., STOTT, B., Further developments in LP-based optimal power flow. *IEEE Transactions on Power Systems*. 1990; 5(3):697-711.

- [10] NANDA, J., KOTHARI, DP., SRIVATAVA, SC., New optimal power-dispatch algorithm using Fletcher's quadratic programming method. in Proceedings of the IEE., 1989; 136(3):153-161.
- [11] SUN, DI., ASHLEY, B, BREWER, B, HUGHES, A., TINNEY, WF., Optimal power flow by Newton approach. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems. 1984; PAS-103(10):2864-2880.
- [12] WEI, H., SASAKI, H., KUBOKAWA, J., YOKOYAMA, R., An interior point nonlinear programming for optimal power flow problems with a novel data structure. IEEE Transactions on Power Systems. 1998; 13(3): 870-877.
- [13] WHEI-MIN, L., JEN-HAO, T., Three-phase distribution network fast-decoupled power flow solutions. International Journal of Electrical Power and Energy Systems. 2000; 22(5):375-380.
- [14] OSMAN, MS., ABO-SINNA, MA., MOUSA, AA., A solution to the optimal power flow using genetic algorithm. Applied Mathematics and Computation. 2004; 155(2):291-405.
- [15] HE, S., WEN, J.Y., PREMPAIN, E., WU, Q.H., FITCH, J., MANN, S., An improved particle swarm optimization for optimal power flow. International Conference on Power System Technology, pp. 1633-1637, 2004. doi: 10.1109/ICPST.2004.1460265
- [16] VLACHOGIANNIS, JG., HATZIARGYRIOU, N.D., LEE, K.Y., Ant colony system-based algorithm for constrained load flow problem. IEEE Transactions on Power Systems. 2005; 20(3):1241-1249.
- [17] SAYAH, S., ZECHAR, K., Modified differential evolution algorithm for optimal power flow with non-smooth cost functions. Energy Conversion and Management. 2008; 49(11):3036-3042.
- [18] YOG RAJ SOOD, Evolutionary programming based optimal power flow and its validation for deregulated power system analysis. International Journal of Electrical Power & Energy Systems. 2007; 29(1):65-75, 2007.
- [19] SOMASUNDARAM, P., KUPPUSAMY, K., KUMUDINI DEVI, RP., Evolutionary programming based security constrained optimal power flow. Electric Power Systems Research. 2004; 72(2):137-145.
- [20] VAHEDI, H., HOSSEINI, SH., NOROOZIAN, R., Bacterial Foraging Algorithm for Security Constrained Optimal Power Flow. 7th International Conference on the European Energy Market (EEM), pp. 1-6, 2010. doi: 10.1109/EEM.2010.5558709

- [21] AYAN, K., KILIÇ, U., Optimal Güç Akışı Probleminin Çözümü İçin GA, MA ve YAK Algoritmalarının Karşılaştırılması, The 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS), Elazığ, pp.13-18, 2011.
- [22] AYAN, K., KILIÇ, U., Artificial bee colony algorithm solution for optimal reactive power flow. *Applied Soft Computing*. 2012; 12(5):1477-1482.
- [23] KARABOGA, D., An idea based on honey bee swarm for numerical optimization, Technical report -TR06, Erciyes University, Engineering Faculty, Computer Engineering Department 2005.
- [24] ŞAHİN, AŞ., KILIÇ, B., KILIÇ, U., Design and Economic Optimization of Shell and Tube Heat Exchangers Using Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. *Energy Conversion and Management*. 2011; 52(11):3356-3362.
- [25] KANG, F., LI, JJ., XU, Q., Hybrid simplex artificial bee colony algorithm and its application in material dynamic parameter back analysis of concrete dams. *Journal of Hydraulic Engineering*. 2009; 40(6):736-742.
- [26] KARABOGA, N., A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters. *Journal of the Franklin Institute*. 2009; 346(4):328-348.
- [27] MARINAKIS, Y., MARINAKI, M., MATSATSINIS, N., A Hybrid discrete artificial bee colony-GRASP algorithm for clustering. *Int. Conference on Computers and Industrial Engineering*. pp. 548-553, 2009. doi: 10.1109/ICCIE.2009.5223810
- [28] OZTURK, A., ÇOBANLI, S., ERDOĞMUŞ, P., TOSUN, S., Reactive power optimization with artificial bee colony algorithm. *Sci. Res. Essays (ISI)*. 2010; 5(19):2848-2857.
- [29] SHUKRAN, MAM., CHUNG, YY., WEI-CHANG, Y., WAHID, N., ZAIDI AMA., Artificial Bee Colony based Data Mining Algorithms for Classification Tasks. *Modern Applied Science*. 2011; 5(4):217-231.
- [30] ZHANG, C., OUYANG, D., NING, J., An artificial bee colony approach for clustering. *Expert Systems with Applications*. 2010; 37(7):4761-4767.
- [31] OMKAR, S.N., SENTHILNATH, J., KHANDELWAL, R, NAIK, GN, GOPALAKRISHNAN, S., Artificial Bee Colony (ABC) for multi-objective design optimization of composite structures. *Applied Soft Computing*. 2011; 11(1):489-499.
- [32] SONMEZ, M., Artificial Bee Colony algorithm for optimization of truss structures. *Applied Soft Computing*. 2011; 11(2):2406-2418.

- [33] AMBRIZ-PÉREZ, H., ACHA, E., FUERTE-ESQUIVEL, CR., High voltage direct current modeling in optimal power flows. *Electrical Power and Energy Systems*. 2008; 30(3):157-168.
- [34] OSALONI, O., RADMAN, G., Integrated AC/DC systems power flow solution using Newton-Raphson and Broyden approaches, *Proceedings of the Thirty-Seventy Southeastern Symposium on System Theory*, pp. 225-229, 2005. doi: 10.1109/SSST.2005.1460910
- [35] YU, J., YAN, W., LI, W., WEN, L., Quadratic models of AC-DC power flow and optimal reactive power flow with HVDC and UPFC controls. *Electric Power Systems Research*. 2008; 78(3):302-310.
- [36] FUDEH, H., ONG, CM., A simple and efficient AC-DC load-flow method for multi-terminal DC systems. *IEEE Transactions Power Apparatus Systems*. 1981; 100(11):4389-4396.
- [37] ARIFOGLU, U., The power flow algorithm for balanced and unbalanced bipolar multiterminal ac/dc systems. *Electric Power Systems Research*. 2003; 64(3):239-246.
- [38] ARIFOGLU, U., Load flow based on newton's method using norton equivalent circuit for an AC-DC multiterminal system. *European Transactions on Electrical Power (ETEP)*. 1999; 9(3):167-174.
- [39] EL-MARSAFAWY, MM., MATHUR, RM., A new fast technique for load-flow solution of integrated multi-terminal DC-AC systems. *IEEE Transactions Power Apparatus Systems*. 1980; 99(1):246-255.
- [40] AYAN, K., ARIFOGLU, U., KILIÇ, U., Integrated AC/DC systems load flow using genetic algorithm, *The 5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)*, pp. 404-409, 2011. doi: 10.1109/PEOCO.2011.5970380
- [41] ZHAOQING, H., CHENXIONG, M., JIMING, L., MAN, C., Genetic algorithm based control for VSC HVDC, *Transmission and Distribution Conference and Exhibition: Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES*, pp. 1-5, 2005. doi: 10.1109/TDC.2005.1546806
- [42] MUBARAK, YA., Genetic Algorithms Controllers for HVDC Systems Control, *Universities Power Engineering Conference, 2006. UPEC '06. Proceedings of the 41st International*, 477-481, 2006. doi: 10.1109/UPEC.2006.367523
- [43] ARIFOGLU, U., Optimal Power Flow Using Sequential Power Flow Approach For an AC-DC Power System, *Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı*, 1993.

- [44] SAADAT, H., Power System Analysis, McGraw-Hill, pg. 697, 1999.
- [45] KUNDUR, P., Power system stability and control. McGraw Hill, pg. 1176, 1994.
- [46] LU, CN., CHEN, SS., ONG, CM., The incorporation of HVDC equations in optimal power flow methods using sequential quadratic programming techniques, IEEE Trans. Power Syst. 1988; 3(3):1005-1011.
- [47] PANOSYAN, A., OSWALD, BR., Modified Newton-Raphson load-flow analysis for integrated ac/dc power systems, UPEC Conf., Bristol, UK, pp. 1223-1227, 2004.
- [48] SMED, T., ANDERSSON, G., SHEBLE, GB., GIGSBY, LL., A new approach to AC-DC power flow. IEEE Trans. on Power Systems. 1991; 6(3):1238-1244.
- [49] MUBARAK, YA., Modified load flow analysis for integrated ac/dc power systems, 12th International Middle-East Power System Conference, pp.402-405, 2008. doi: 10.1109/MEPCON.2008.4562379
- [50] ŞAHİN, AŞ., Optimization of solar air collector using genetic algorithm and artificial bee colony algorithm. Heat and Mass Transfer. 2012; 48(11): 1921-1928.
- [51] OZKAYA, U., GUNEŞ, F., A modified particle swarm optimization algorithm and its application to the multiobjective FET modeling problem. Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences. 2012; 20 (2):263-271.
- [52] CENGİZ, Y., KILIÇ, U., Memetic optimization algorithm applied to design microwave amplifier for the specific gain value constrained by the minimum noise over the available bandwidth. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering. 2010; 20(5):546-556.
- [53] AKAY, B., Nümerik tasarım problemlerinde yapay arı kolonisi (artificial bee colony) algoritmasının analizi, Erciyes üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar mühendisliği anabilim dalı, 2009.
- [54] BONABEAU, E., THERAULAZ, G., DORIGO, M., Swarm intelligence: from natural to artificial systems, Oxford University Press, Inc., New York, USA, pg. 320, 1999.
- [55] AVCI, G., Gerçek zamanlı uygulamalar için ABC algoritmasının FPGA üzerinde gerçekleştirilmesi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2011.
- [56] KARABOGA, D., AKAY, B., A comparative study of artificial bee colony algorithm. Applied Mathematics and Computation. 2009; 214(1):108-132.

- [57] LIN, YZ., CAI, ZX., MO, Q., Transient Stability Analysis of AC/DC Power System Based On Transient Energy Function, Third International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, pp. 1103-1108, 2009. doi: 10.1109/DRPT.2008.4523572
- [58] PAI, MA., Energy function analysis for power system stability, Norwell, MA: Kluwer, pg. 223, 1989.

EKLER

Ek A Test sistemlerinin detayları

Tablo A.1. 5 baralı test sisteminin AA hat karakteristikleri

Başlangıç barası	Bitiş barası	R (pu)	X (pu)	B/2 (pu)
1	3	0,10	0,4	0,012
1	4	0,15	0,6	0,020
1	5	0,05	0,2	0,025
2	3	0,05	0,2	0,010
2	5	0,05	0,2	0,020
3	4	0,10	0,4	0,015

Tablo A.2. 5 baralı test sisteminin bara tipi ve yük değerleri

Bara numarası	Bara tipi	p_{load}	q_{load}
1	1	0,0	0,0
2	2	0,3	0,0
3	3	0,6	0,3
4	3	0,4	0,1
5	3	0,6	0,2

1 – Salınım barası 2 – Jeneratör barası 3 – Yük barası

Tablo A.3. 5 baralı test sisteminin jeneratörlerin detayları

Bara numarası	p_G^{\min}	p_G^{\max}	q_G^{\min}	q_G^{\max}	a (\$)	b (\$/MW)	c (\$/MW ²)
1	0,1	0,1	-0,1	-0,1	60	3,4	0,004
2	2,0	2,0	1,0	1,0	60	3,4	0,004

Tablo A.4. New England 39-baralı test sistemi jeneratörlerin detayları [4, 58]

Bara Numarası	R_a	x'_d	H (saniye)	a (\$)	b (\$/MW)	c (\$/MW ²)
30	0	0,0310	42,0	0	6,9	0,0193
31	0	0,0697	30,3	0	3,7	0,0111
32	0	0,0531	35,8	0	2,8	0,0104
33	0	0,0436	28,6	0	4,7	0,0088
34	0	0,1320	26,0	0	2,8	0,0128
35	0	0,0500	34,8	0	3,7	0,0094
36	0	0,0490	26,4	0	4,8	0,0099
37	0	0,0570	24,3	0	3,6	0,0113
38	0	0,0570	34,5	0	3,7	0,0071
39	0	0,0060	500	0	3,9	0,0064

Tablo A.5. Modifiye DA hat karakteristikleri [43]

	Doğrultucu	Evirici
Bara Numarası	14	4
Komütasyon direnci	0,02568	0,015329
DA hat direnci	0,0057	

Tablo A.6. New England 39-baralı test sisteminin AA hat karakteristikleri [58]

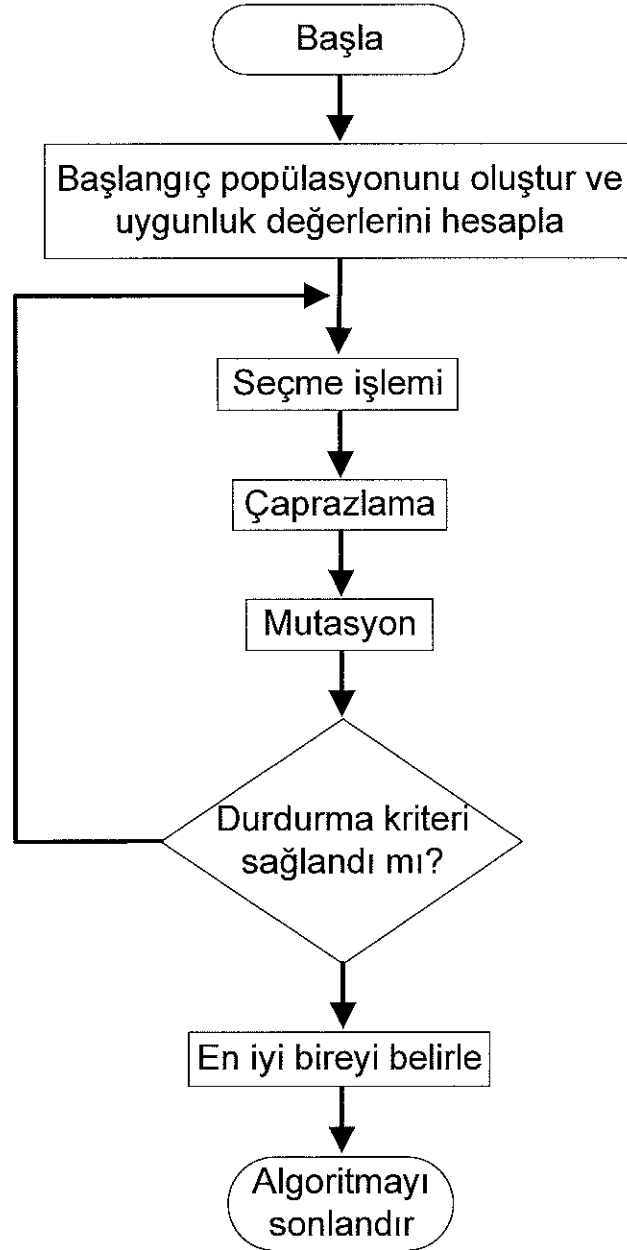
Başlangıç barası	Bitiş barası	R(pu)	X (pu)	B/2 (pu)
1	2	0,0035	0,0411	0,6987
1	39	0,0010	0,0250	0,7500
2	3	0,0013	0,0151	0,2572
2	25	0,0070	0,0086	0,1460
2	30	0,0000	0,0181	0,0000
3	4	0,0013	0,0213	0,2214
3	18	0,0011	0,0133	0,2138
4	5	0,0008	0,0128	0,1342
5	6	0,0002	0,0026	0,0434
5	8	0,0008	0,0112	0,1476
6	7	0,0006	0,0092	0,1130
6	11	0,0007	0,0082	0,1389
6	31	0,0000	0,0250	0,0000
7	8	0,0004	0,0046	0,0780
8	9	0,0023	0,0363	0,3804
9	39	0,0010	0,0250	1,2000
10	11	0,0004	0,0043	0,0729
10	13	0,0004	0,0043	0,0729
10	32	0,0000	0,0200	0,0000
12	11	0,0016	0,0435	0,0000
12	13	0,0016	0,0435	0,0000
13	14	0,0009	0,0101	0,1723
14	15	0,0018	0,0217	0,3660
15	16	0,0009	0,0094	0,1710
16	17	0,0007	0,0089	0,1342
16	19	0,0016	0,0195	0,3040
16	21	0,0008	0,0135	0,2548
16	24	0,0003	0,0059	0,0680
17	18	0,0007	0,0082	0,1319
17	27	0,0013	0,0173	0,3216
19	20	0,0007	0,0138	0,0000
19	33	0,0007	0,0142	0,0000
20	34	0,0009	0,0180	0,0000
21	22	0,0008	0,0140	0,2565
22	23	0,0006	0,0096	0,1846
22	35	0,0000	0,0143	0,0000
23	24	0,0022	0,0350	0,3610
23	36	0,0005	0,0272	0,0000
25	26	0,0032	0,0323	0,5130
25	37	0,0006	0,0232	0,0000
26	27	0,0014	0,0147	0,2396
26	28	0,0043	0,0474	0,7802
26	29	0,0057	0,0625	1,0290
28	29	0,0014	0,0151	0,2490
29	38	0,0008	0,0156	0,0000

Tablo A.7. New England 39-baralı test sisteminin bara tipi ve yük değerleri [58]

Bara numarası	Bara tipi	P_{load} (MW)	Q_{load} (MW)
1	3	0,0	0,0
2	3	0,0	0,0
3	3	322	2,4
4	3	500	184
5	3	0,0	0,0
6	3	0,0	0,0
7	3	233,8	84
8	3	522	176
9	3	0,0	0,0
10	3	0,0	0,0
11	3	0,0	0,0
12	3	7,5	88
13	3	0,0	0,0
14	3	0,0	0,0
15	3	320	153
16	3	329	32,3
17	3	0,0	0,0
18	3	158	30
19	3	0,0	0,0
20	3	628	103
21	3	274	115
22	3	0,0	0,0
23	3	247,5	84,6
24	3	308,6	-92
25	3	224	47,2
26	3	139	17
27	3	281	75,5
28	3	206	27,6
29	3	283,5	26,9
30	2	0,0	0,0
31	1	9,2	4,6
32	2	0,0	0,0
33	2	0,0	0,0
34	2	0,0	0,0
35	2	0,0	0,0
36	2	0,0	0,0
37	2	0,0	0,0
38	2	0,0	0,0
39	2	1104	250

1 – Salınım barası 2 – Jeneratör barası 3 – Yük barası

Ek B Genetik algoritma detayları



Şekil B.1. Genetik algoritma akış diyagramı [50]

Algoritma içerisinde başlangıç popülasyonu rastgele oluşturulmuştur. Çaprazlanacak bireyler turnuva seçme metodu ile seçilmiş ve sonra dağılmış parametrelili çaprazlama metodu ile çaprazlama işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemlerin ardından popülasyon içerisinde rastgele seçilen bir bireyin rastgele seçilen bir geni sınır değerler içerisinde yeniden üretilerek mutasyon işlemi gerçekleştirilmiştir. Bu işlemde maksimum iterasyon sayısı durdurma kriteri olarak seçilmiştir.

ÖZGEÇMİŞ

Ulaş Kılıç, 18.03.1981 yılında Sakarya'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Antalya'da tamamladı. 1998 yılında başladığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünü 2003 yılında bitirdi. Aynı yıl Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Anabilim Dalında başladığı Yüksek Lisans eğitimini 2006 yılında bitirdi. Yüksek Lisans eğitimi boyunca Süleyman Demirel Üniversitesinde ücretli olarak derslere girdi. 2006 ile 2008 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi Akseki Meslek Yüksek Okulunda öğretim görevlisi olarak çalıştı. 2008 yılında Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bucak Emin Gülmez Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. Halen aynı görevi sürdürmektedir. Ulaş Kılıç evli ve bir kız babasıdır.

