

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİM KARARLILIK İNİN
SEZGİSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ**

DOKTORA TEZİ

Salih TOSUN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE BİLGİ SAYAR EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Ali YALÇIN

Mart 2011

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDE GERİLİM KARARLILIĞININ
SEZGİSEL YÖNTEMLERLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Salih TOSUN

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRONİK VE
BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ABD

Bu tez 26 / 03 /2011 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

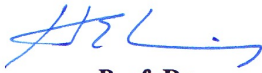


Prof. Dr.
Ertan YANIKOĞLU
Jüri Başkanı



Prof. Dr.
M. Ali YALÇIN
Üye

Prof. Dr.
Coşkun SÖNMEZ
Üye



Prof. Dr.
Hüseyin EKİZ
Üye



Yrd. Doç. Dr.
Ali ÖZTÜRK
Üye

TE EKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, kıymetli fikirleri ile bana yardımcı olup desteklerini esirgemeyen danışman hocam Prof. Dr. M. Ali YALÇIN'a tekkürü bir borç bilirim. Çalışmalarım sırasında bilgilerinden istifade ettiğim değerli hocalarıma, ayrıca bana sabır ile destek olan ailem ve çocuklarıma tekkür ederim.

Ç NDEK LER

TE EKKÜR	ii
Ç NDEK LER	iii
S MGELELER VE KISALTMALAR L STES	viii
EK LLER L STES	x
TABLolar L STES	xii
ÖZET	xvi
SUMMARY.....	xvii

BÖLÜM 1

G R	1
-----------	---

BÖLÜM 2

GER L M KARARLILIL I	3
2.1. Giri	3
2.2. Elektrik Güç Sistemlerinde Kararlılık	5
2.3. Güç Sistemlerinde Kararlılı ının Sınıflandırılması	6
2.3.1. Rotor aç ı kararlılı ı	6
2.3.2. Frekans kararlılı ı	7
2.4. Gerilim Kararlılı ı	8
2.4.1. Gerilim kararlılı ının tanımı	9
2.4.1.1. CIGRE tanımı	10
2.4.1.2. IEEE tanımı	11
2.4.1.3. IEEE ve CIGRE birlikte tanımı	11
2.4.2. Gerilim çökmesi olayı	11
2.4.3. Dünyadaki önemli gerilim çökmesi olayları	12
2.5. Gerilim Kararlılı ı Analizi Yöntemleri	15
2.5.1. Yük akı ı analizi	15

2.5.1.1. Tekil de er analizi	17
2.5.1.2. Jakobien matrisin determinantı	19
2.5.2. P-V E rileri	19
2.5.3. Q-V E rileri	23
2.5.4. Formül yöntemi ile kritik de erlerin belirlenmesi	24
2.5.5. Sürekli yük akı ı analizi	26
2.5.6. L ndisi	28
2.5.7. Çatalla ma analizi	29
2.5.8. Bara indirgeme yöntemi	30
2.5.9. Bilgisayar simülasyon programları ile analiz	32
BÖLÜM 3.	
OPT M ZASYON VE SEZG SEL ALGOR TMALAR	33
3.1. Giri	33
3.2. Genetik Algoritma	36
3.2.1. Genel yapısı	36
3.2.2. Genetik Algoritmanın a amaları	37
3.2.2.1. Uygunluk fonksiyonunun olu turulması	38
3.2.2.2. Ba langıç popilasyonunun olu turulması	40
3.2.2.3. Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması	42
3.2.2.4. Genetik Algoritma operatörleri	42
3.2.3. Genetik Algoritmanın sonlandırma artları	45
3.3. Benzetim Tavlama (Simulated Annealing)	45
3.3.1. Benzetim Tavlama Algoritması	52
3.3. Tabu Arama Algoritması (Tabu Search Algorithm)	54
BÖLÜM 4.	
GER L M KARARLILI I KR T K DE ERLER N N NCELENMES	59
4.1. Giri	59
4.2. ki Baralı Sistem	59
4.2.1. P-V E risi üzerinden kritik de erlerin belirlenmesi	60
4.2.2. Formül yöntemi ile kritik de erlerin belirlenmesi	62

4.3. Sezgisel Algoritmalar ile Kritik Değerlerin Belirlenmesi	63
4.3.1. Amaç fonksiyonunun oluşturulması	63
4.3.2. Değer kenarları	64
4.3.3. Değer kenar kısıtları	64
4.3.4. Ceza fonksiyonu	65
4.4. Genetik Algoritma ile Kritik Değerlerin Belirlenmesi	66
4.4.1. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması	66
4.4.2. Uygunluk fonksiyonu değerlerinin hesaplanması	68
4.4.3. Elitizm	68
4.4.4. Seçim	69
4.4.5. Çaprazlama	69
4.4.6. Mutasyon	70
4.4.7. Genetik Algoritma ile sonuçların elde edilmesi	71
4.5. Benzetim Tavlama ile Kritik Değerlerin Belirlenmesi	73
4.5.1. Başlangıç sıcaklığı	74
4.5.2. Algoritmanın adım sayısı	74
4.5.3. Malzemenin soğutulma hızı	74
4.5.4. Benzetim Tavlama ile sonuçların elde edilmesi	75
4.6. Tabu Arama ile Kritik Değerlerin Belirlenmesi	78
4.6.1. Tabu listesinin oluşturulması	79
4.6.2. Tabu Arama ile sonuçların elde edilmesi	80
4.7. Güç Sisteminde Kritik Değerler Üzerine Olan Etkiler	82
4.7.1. Güç faktörünün etkisi	82
4.7.2. Hat uzunluğunun etkisi	84
4.7.3. Hat kayıp faktörünün etkisi	86
4.7.4. Hat başı geriliminin etkisi	88
4.7.5. Kullanılan paralel hat sayısının etkisi	90
4.7.6. Seri kompanzasyonun etkisi	92
4.7.7. Önt kompanzasyonun etkisi	94

BÖLÜM 5.

NİBARALI SİSTEMDE GERİLİM KARARLILIĞI KRİTİK DEĞERLERİNİN BELİRLENMESİ	97
--	----

5.1. Giriş	97
5.2. Üç Baralı Güç Sisteminde Kritik Değerlerin Belirlenmesi	100
5.2.1. P-V Eğrisi üzerinden kritik değerlerin belirlenmesi	101
5.2.2. Sezgisel Algoritmalar ile kritik değerlerin belirlenmesi	103
5.2.2.1. BT Algoritması ile kritik değerlerin belirlenmesi ...	104
5.2.2.2. TA Algoritması ile kritik değerlerin belirlenmesi ...	105
5.2.2.3. GA ile kritik değerlerin belirlenmesi	106
5.2.3. Güç sisteminde kritik değerler üzerine olan etkiler	107
5.2.3.1. Yük güç katsayısının etkisi	107
5.2.3.2. Hatlardan bazılarının açılması durumu	109
5.2.3.3. Yük barasına önt kapasite eklenmesi durumu	111
5.2.3.4. Sistemde paralel hat ilave edilmesi durumu	113
5.2.3.5. Hatlara seri kapasite ilave edilmesi durumu	114
5.3. Altı Baralı Güç Sisteminde Kritik Değerlerin Belirlenmesi	115
5.3.1. Yük akımı analizi ile kritik değerlerin bulunması	117
5.3.2. Sezgisel Algoritmalar ile kritik değerlerin belirlenmesi	119
5.3.2.1. BT Algoritması ile kritik değerlerin bulunması	121
5.3.2.2. TA Algoritması ile kritik değerlerin bulunması	122
5.3.2.3. GA ile kritik değerlerin bulunması	123
5.3.3. Güç sisteminde kritik değerler üzerine olan etkiler	124
5.3.3.1. Yük güç katsayısının etkisi	124
5.3.3.2. Hat uzunluklarının etkisi	126
5.3.3.3. Hat başı geriliminin etkisi	127
5.3.3.4. Farklı salınım barası seçilmesinin kritik değerlere olan etkisi	129
5.3.3.5. Sistemdeki bazı hatların açılması durumu	130
5.4. IEEE 14 Baralı Sistemde Kritik Değerlerin Elde Edilmesi	132
5.4.1. IEEE 14 Baralı sistemde sezgisel algoritmalarla kritik değerlerin belirlenmesi	132
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER	139

KAYNAKLAR	142
EKLER	152
ÖZGEÇM	170

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

ANSI	:Amerika Ulusal Standartlar Enstitüsü
P-V	:Aktif güç- gerilim genlik de eri
VAr	:Volt Amper Reaktif
CIGRE	:Uluslararası Büyük Elektrik Sistemleri Konferansı
IEEE	:Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
MW	:Mega Vat
kV	:kilo Volt
GW	:Giga Vat
I_i	:i. bara akımı
V_i	:i. bara gerilimi
Y_{in}	:i. bara ile j. bara arasındaki admitans
P_i	:i. bara aktif gücü
Q_i	:i. bara reaktif gücü
V_{ij}	:i. bara ile j. bara gerilimleri arasındaki acı farkı
V_i	:i. bara geriliminin acısı
J	:Jakobyen matrisi
J^{-1}	:Jakobyen matrisinin tersi
Z	:Hat empedansı
R	:Hat omik direnci
X	:Hat endüktif reaktansı
j	:imajiner operatör
A, B, C, D	:Uzun iletim hattı sabitleri
V_r	:Yük barası gerilim genlik de eri
V_s	:Generatör barası gerilim genlik de eri
I_r	:Yük barası gerilim genlik de eri
P_r	:Yük barası aktif güç de eri

Q_r	:Yük barası reaktif güç de eri
S_r	:Yük barası görünür güç de eri
$\text{Cos}\varphi$:Yükün güç katsayısı
Km	:Kilo metre
Hz	:Hertz olarak frekans birimi
Ω	:Ohm olarak direnç birimi
P_{rkrt}	:Yük barasının kritik aktif güç de eri
V_{rkrt}	:Yük barasının kritik gerilim genlik de eri
δ_{rkrt}	:Yük barasının kritik açı de eri
$Q-V$: Reaktif güç- gerilim genlik de eri
L_j	:j. Bara gerilim kararlılık indisi
FACTS	: Esnek Alternatif Akım iletim Sistemleri
GA	:Genetik algoritma
UF	:Uygunluk Fonksiyonu
AF	:Amaç Fonksiyonu
P	:Ceza fonksiyonu
KF	:Kısıt fonksiyonu
PS	:Popilasyon sayısı
ℓ	:Toplam bit sayısı
F	:Uygunluk fonksiyonu de erleri toplamı
BT	:Benzetim Tavlama
T	:Sıcaklık De eri
E_i	:i. haldeki maddenin enerjisi
w	:Kabul kriteri
k_B	: Boltzman sabiti
T_0	:Sıcaklı ın ba langıç de eri
N_k	: Her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı
r	:0-1 arasında rasgele bir sayı
TA	:Tabu Arama
K_s	:Seri kompanzasyon oranı
K_d	: önt kompanzasyon oranı

EKLER LİSTESİ

ekil 2.1.	Çeşitli güç faktörlerinde elde edilmiş P-V eğrileri	4
ekil 2.2.	Güç sistem kararlılığının sınıflandırılması	6
ekil.2.3.	Örnek bir güç sisteminde <i>i</i> . bara	16
ekil.2.4.	<i>i</i> ki baralı örnek bir iletim hattı	20
ekil 2.5.	<i>i</i> ki baralı iletim hattının iki kapılı olarak gösterimi	20
ekil 2.6.	P-V eğrisi ve kritik noktalar	22
ekil 2.7.	Q-V eğrisi ve işletme noktası	23
ekil 2.8.	Sürekli yük akımında işletme noktalarının belirlenmesi	27
ekil 2.9.	P-V eğrisi üzerinde tahmin ve düzeltme doğruları	27
ekil 2.10.	<i>N</i> baralı örnek bir sistem	31
ekil 2.11.	Yedirgenmiş iki baralı sistem	31
ekil 3.1.	Genetik algoritmanın işletmeye amaçları	38
ekil 3.2.	BT'da sonuçta işletme, soldaki hızlı, sağdaki yavaş sonuçta temsil etmektedir	46
ekil 3.3.	BT algoritmasının tipik çalışma eğrisi	47
ekil 3.4.	Benzetim Tavlama algoritması	53
ekil 3.5.	Tabu Arama algoritmasının işletme	56
ekil 3.6.	Tabu Arama algoritmasının algoritması	57
ekil 4.1.	Yeniden yapılanacak iki baralı örnek güç sistemi	60
ekil.4.2.	Keban-Kayseri-Ankara iletim hattında $\theta=30^\circ$ için P-V eğrisi	61
ekil 4.3.	Genetik Algoritmada uygunluk fonksiyonu değerleri	72
ekil 4.4.	Benzetim Tavlamada amaç fonksiyonun aldığı değerleri	76
ekil 4.5.	Benzetim Tavlamada değişkenlerin değişimi	77
ekil 4.6.	Tabu aramada amaç fonksiyonun aldığı değerler	81
ekil 4.7.	Tabu aramada değişkenlerinin aldığı değerler	81
ekil 4.8.	Değişik güç katsayıları için P-V eğrileri	83
ekil 4.9.	Değişik hat uzunlukları için P-V eğrileri	85

ekil 4.10.	De i ik kayıp faktörleri için P-V e rileri	87
ekil 4.11.	De i ik hat ba ı gerilimleri için P-V e rileri	88
ekil 4.12.	Paralel tek ve çift hatta sahip güç sistemleri için P-V e rileri	91
ekil 4.13.	De i ik seri kompanzasyon oranları için P-V e rileri	93
ekil 4.14.	De i ik önt kompanzasyon oranları için P-V e rileri	95
ekil 5.1.	Üç baralı güç sistemi	100
ekil 5.2.	Üç nolu barada yük akı ı sonucunda elde edilen P-V e risi	102
ekil 5.3.	BT algoritmasında amaç fonksiyonun iterasyona ba lı de i imi	105
ekil 5.4.	TA algoritmasında amaç fonksiyonun iterasyona ba lı de i imi	106
ekil 5.5.	Çe itli yük artlarında elde edilen PV e rileri.....	108
ekil 5.6.	Hatların açılması durumunda elde edilen PV e rileri	110
ekil 5.7.	Yük barasına önt kapasite eklenmesi durumunda PV e risi	112
ekil 5.8.	1-3 hattına paralel hat eklenmesi durumunda PV e risi	113
ekil 5.9.	Seri kompanzasyon yapılması durumunda elde edilen PV e rileri	114
ekil 5.10.	Altı baralı güç sistemi	116
ekil 5.11.	Yük baralarına ait P-V e rileri	118
ekil 5.12.	4. barada iterasyona ba lı amaç fonksiyonunun de i imi	122
ekil 5.13.	4. barada iterasyona ba lı amaç fonksiyonunun de i imi	123
ekil 5.14.	5. baranın güç katsayılarının de i tirilmesi ile elde edilen P-V e rileri	124
ekil 5.15.	Altı baralı sistemde 5. baranın çe itli hat uzunluklarına ait P-V e rileri	126
ekil 5.16.	Hat ba ı gerilim etkilerinin, 5. baraya ait P-V e rileri	128
ekil 5.17.	IEEE 14 baralı test sistemi	132

TABLolar L STES

Tablo 3.1.	Sezgisel Algoritmaların uygulama alanları	35
Tablo 3.2.	De i kenlerin kodlanması ile bireyin elde edilmesi	40
Tablo 3.3.	Yedi bireye sahip popilasyon (gen havuzu)	42
Tablo 3.4.	Çaprazlama örne i	44
Tablo 4.1.	Popilasyon içinde bir bireyin gösterilmesi	67
Tablo 4.2.	Ba langıç popilasyonun ifadesi	68
Tablo 4.3.	Ba langıç popilasyonunun elit bireyleri	69
Tablo 4.4.	Seçilen ilk ebeveyn çifti	69
Tablo 4.5.	Düzenli (uniform) çaprazlama	69
Tablo 4.6.	Mutasyon i lemi	70
Tablo 4.7.	Evrim ile elde edilen yeni popilasyon	70
Tablo 4.8.	Her bir generasyonun en büyük uygunluk fonksiyonu de erleri	71
Tablo 4.9.	Genetik Algoritma ile bulunan kritik de erler	72
Tablo 4.10.	Belli iterasyonlardaki de i ken ve amaç fonksiyon de erleri ...	75
Tablo 4.11.	Benzetim Tavlama ile kritik de erler	78
Tablo 4.12.	Tabu listesindeki elemanların de i imi	79
Tablo 4.13.	Belli iterasyonlardaki de i ken ve amaç fonksiyon de erleri ...	80
Tablo 4.14.	Tabu arama algoritması ile kritik de erler	82
Tablo 4.15.	Yükün güç katsayısı $\text{Cos} = -30^\circ$ (Endüktif) olması durumunda kritik de erler	83
Tablo 4.16.	Yükün güç katsayısı $\text{Cos} = 0^\circ$ (Omik) olması durumunda kritik de erler	84
Tablo 4.17.	Yükün güç katsayısı $\text{Cos} = 30^\circ$ (Kapasitif) olması durumunda kritik de erler	84
Tablo 4.18.	Hat uzunlu unun kısa hat olması durumunda kritik de erler ...	84
Tablo 4.19.	Hat uzunlu unun orta hat olması durumunda kritik de erler	86

Tablo 4.20.	Hat uzunluğunun uzun hat olması durumunda kritik değerler ...	86
Tablo 4.21.	Hat kayıp faktörü, $\alpha=0$ olması durumunda kritik değerler	87
Tablo 4.22.	Hat kayıp faktörü, $\alpha=0.11$ olması durumunda kritik değerler	87
Tablo 4.23.	Hat kayıp faktörü, $\alpha=0.22$ olması durumunda kritik değerler ...	88
Tablo 4.24.	Hatbaşı geriliminin 197 kV olması durumunda kritik değerler..	89
Tablo 4.25.	Hatbaşı geriliminin 220 kV olması durumunda kritik değerler..	89
Tablo 4.26.	Hatbaşı geriliminin 252 kV olması durumunda elde edilen kritik değerler	90
Tablo 4.27.	Enerji iletim hattının tek olması durumunda kritik değerler	91
Tablo 4.28.	Enerji iletim hattının paralel iki hat olması durumunda kritik değerler	92
Tablo 4.29.	Seri kompanzasyon oranının 0 olması durumunda kritik değerler	93
Tablo 4.30.	Seri kompanzasyon oranının 0.50 olması durumunda kritik değerler	93
Tablo 4.31.	Seri kompanzasyon oranının 0.80 olması durumunda kritik değerler	94
Tablo 4.32.	Önt kompanzasyon oranının 0 olması durumunda kritik değerler	95
Tablo 4.33.	Önt kompanzasyon oranının 0.50 olması durumunda kritik değerler	95
Tablo 4.34.	Önt kompanzasyon oranının 0.95 olması durumunda kritik değerler	96
Tablo 5.1.	Üç baralı sistemin hat verileri	101
Tablo 5.2.	Üç baralı sistemin normal çalışma generatör ve yük verileri	101
Tablo 5.3.	Üç nolu barada yük akışı sonucunda elde edilen kritik değerler	102
Tablo 5.4.	Yük barasında BT algoritması ile elde edilen kritik değerler	105
Tablo 5.5.	Yük barasında TA algoritması ile elde edilen kritik değerler	106
Tablo 5.6.	Yük barasında GA algoritması ile elde edilen kritik değerler	107
Tablo 5.7.	Yük barası Endüktif yüklendiğinde ($\alpha=-32^\circ$) olması durumunda kritik değerler	108
Tablo 5.8.	Yük barası Omik yüklendiğinde ($\alpha=0^\circ$) olması durumunda	

	kritik de erler	109
Tablo 5.9.	Yük barası Kapasitif yüklendi inde(=32°) olması durumunda kritik de erler	109
Tablo 5.10.	1-2 nolu hatlar açık oldu u durumda kritik de erler	110
Tablo 5.11.	1-3 nolu hatlar açık oldu u durumda kritik de erler	111
Tablo 5.12.	2-3 nolu hatlar açık oldu u durumda kritik de erler	111
Tablo 5.13.	Yük barasına önt kapasite eklenmesi durumunda kritik de erler	112
Tablo 5.14.	1-3 nolu hatta paralel hat eklenmesi durumunda kritik de erler	113
Tablo 5.15.	%25 seri kompanzasyon yapılması durumunda kritik de erler..	115
Tablo 5.16.	%50 seri kompanzasyon yapılması durumunda kritik de erler..	115
Tablo 5.17.	%75 seri kompanzasyon yapılması durumunda kritik de erler..	115
Tablo 5.18.	Altı baralı sistemin hat verileri	116
Tablo 5.19.	Altı baralı sistem generatör verileri	117
Tablo 5.20.	Altı baralı sistemin normal çalı madaki yük de erleri	117
Tablo 5.21.	Altı baralı sistemde normal çalı ma durumunda yük akı ı sonuçları	118
Tablo 5.22.	Altı baralı örnek sistemde yük akı ı analizi ile kritik de erler...	119
Tablo 5.23.	Altı baralı örnek sistemde BT algoritması ile elde edilen kritik de erler	121
Tablo 5.24.	Tabu Arama algoritması ile yük baralarında elde edilen kritik de erler	122
Tablo 5.25.	Genetik Algoritma ile yük baralarında elde edilen kritik de erler	123
Tablo 5.26.	5.baranın Endüktif (=-30°) yüklenmesi durumunda kritik de erler	125
Tablo 5.27.	5.baranın Omik (=0°) yüklenmesi durumunda kritik de erler	125
Tablo 5.28.	5.baranın Kapasitif (=30°) yüklenmesi durumunda kritik de erler	125
Tablo 5.29.	Hatların kısa hat olması durumunda kritik de erler	126
Tablo 5.30.	Hatların orta hat olması durumunda kritik de erler	127
Tablo 5.31.	Hatların uzun hat olması durumunda kritik de erler	127

Tablo 5.32.	Hatba 1 geriliminin ($0.9*V_g$) olması durumunda kritik de erler	128
Tablo 5.33.	Hatba 1 geriliminin ($1.0*V_g$) olması durumunda kritik de erler	128
Tablo 5.34.	Hatba 1 geriliminin ($1.1*V_g$) olması durumunda kritik de erler	129
Tablo 5.35.	Salınım barasının 1. bara olması durumunda kritik de erlerin de i imi	129
Tablo 5.36.	Salınım barasının 2. bara olması durumunda kritik de erlerin de i imi	130
Tablo 5.37.	Salınım barasının 3. bara olması durumunda kritik de erlerin de i imi	130
Tablo 5.38.	1–4 nolu iletim hattı devrede iken kritik de erlerin de i imi ...	131
Tablo 5.39.	1–4 nolu iletim hattı devre dı ında iken kritik de erlerin de i imi	131
Tablo 5.40.	IEEE 14 baralı sistemin hat verileri	133
Tablo 5.41.	IEEE 14 baralı sistem generatör verileri	133
Tablo 5.42.	IEEE 14 baralı sistem yük verileri	134
Tablo 5.43.	IEEE 14 baralı sistemde yük baralarında yük akı ı ile elde edilen kritik de erler	135
Tablo 5.44.	IEEE 14 baralı sistemde 14. yük barasında elde edilen kritik de erler	137
Tablo 5.45.	IEEE 14 baralı sistemde 13. yük barasında elde edilen kritik de erler	137
Tablo 5.46.	IEEE 14 baralı sistemde 12. yük barasında elde edilen kritik de erler	137
Tablo 5.47.	IEEE 14 baralı sistemde 11. yük barasında elde edilen kritik de erler	137
Tablo 5.48.	IEEE 14 baralı sistemde 10. yük barasında elde edilen kritik de erler	138
Tablo 5.49.	IEEE 14 baralı sistemde 9. yük barasında elde edilen kritik de erler	138
Tablo 5.50.	IEEE 14 baralı sistemde 5. yük barasında elde edilen kritik de erler	138
Tablo 5.51.	IEEE 14 baralı sistemde 4. yük barasındaki kritik de erler	138

ÖZET

Anahtar kelimeler: Güç Sistemleri, Gerilim Kararlılığı, Sezgisel Algoritmalar, Genetik Algoritma, Benzetim Tavlama ve Tabu Arama

Elektrik enerjisine olan talebin sürekli artması nedeni ile enerji sistemlerinin planlanması, işletilmesi ve belli durumlarda kontrol altında tutulabilmesi gerilim kararlılığı bakımından oldukça önemlidir. Yeni iletim hatlarının oluşturulmasındaki güçlükler nedeni ile mevcut iletim hatlarının taşıma kapasiteleri tam olarak bilinmemelidir. Bu durumda hattın taşıyabileceği maksimum güç ve hat sonundaki en düşük seviyedeki gerilim değerlerinin bilinmesi gerekir. Kritik değerler olarak da isimlendirilen bu değerler gerilim kararlılığı sınır değerleridir. Sınır değerlerinin aşılması durumunda gerilim çökmesi olur. Son yıllarda beklenmedik güç artışlarına bağlı olarak dünyanın çeşitli yerlerinde gerilim çökmesi olayları yaşanmıştır. Bu çökmeler gerilim kararlılığının önemi ortaya çıkarmıştır.

Bu çalışmada yeni bir yöntem olarak gerilim kararlılığının kritik değerleri, sezgisel yöntemlerle elde edilmiştir. Sezgisel yöntemlerden, Genetik Algoritma, Benzetim Tavlama ve Tabu Arama algoritmaları kullanılmıştır. Çalışmada ilk olarak geleneksel yöntemlerle gerilim kararlılığı kritik değerleri bulunmuştur. Geleneksel yöntemler ile kritik değerlerin belirlenmesi için çok sayıda yük akışı analizi yapılması zorunluluğu vardır. Bu çalışmada gerilim kararlılığı kritik değerleri Sezgisel Algoritmalar kullanılarak sürekli yük akışı yapmaya gerek kalmadan, belirlenmiştir.

Yapılan çalışma sonucunda, geleneksel yöntemler ve sezgisel algoritmalarla birbirlerine çok yakın kritik değerler elde edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan, Sezgisel Algoritmalar ile kritik değerlerin doğrudan ve daha kolay bir şekilde elde edilebileceği görülmüştür. Bu durum sezgisel algoritmaların çözüm potansiyelini de ortaya koymuştur.

INVESTIGATION OF VOLTAGE STABILITY IN POWER SYSTEMS USING THE HEURISTIC METHODS

SUMMARY

Key Words: Power Systems, Voltage Stability, Heuristics Algorithms, Genetic Algorithm, Simulated Annealing and Tabu Search

Due to continuous increase in the demand for electrical energy, planning, operation and keeping under control in certain situations of power systems in terms of voltage stability is crucial. Since the difficulties in the creation of new transmission lines, transfer capacity of existing transmission lines must be known exactly. In this case, the maximum power value which can be moved from the line and the lowest voltage level value at the end of the line should be known. These values which were also named as critical values are voltage stability limit values. When critical values are exceeded this situation results with voltage collapse. In recent years, due to unexpected increases in power, the voltage collapse has occurred in various parts of the world. Voltage collapses have revealed the importance of voltage stability.

In this study, the heuristic methods as new methods for calculation of the critical values of the power systems are used. Genetic Algorithm, Simulated Annealing Algorithm and Tabu Search Algorithm were used as heuristic algorithms. Firstly, voltage stability critical values were determined by using conventional methods. To determine the critical values with conventional methods, many load flow analysis must be done. With heuristic algorithms used in this study, voltage stability critical values were determined without continuous load flow.

According to the results of this study; critical values obtained by using conventional methods and heuristic algorithms were very close to each other. It is seen that the critical bus values can be obtained directly and more easily through heuristic methods. Besides, this situation has verified the solution capacity of heuristic methods.

BÖLÜM 1. G R

Elektrik enerjisi günümüzde en çok kullanılan enerji kaynaklarının başında gelmektedir. O halde bu enerjinin en uygun olarak nasıl üretilmesi, taşınması ve tüketilmesi ara tırmacıların konuları arasına girmektedir. Günümüzde kaynakların kısıtlılığı, tüketimin hızlı artışı göstermesi yüzünden bu konuda her türlü çalışmaya zorunlu hale gelmiştir.

Enerji, üretim ve iletimde tüketicilere belirlenen standartlara göre güvenilir bir elektrik enerjisi sunması çok önemlidir. İletme gerilim aralıkları ANSI C84.1–1995 standartlarına göre kabul edilebilir olmalıdır [1].

Elektrik enerji güç sistemlerinin çalışma ortamları, lineer olmayan sistemlerdir ve dinamik bir yapı olurlar. Bu dinamik yapı içerisinde yükler, hatlar, generatörler, yer almaktadır. Buna bağlı olarak güç sisteminin parametreleri sürekli değişim gösterir. Ayrıca üretim merkezleri ile tüketim merkezlerinin farklı fiziksel bölgelerde olması da sistem yapısı içerisinde önemli bir etken olmaktadır.

Güç sistemleri, özellikle dağıtım sistemleri zamanla değişim olarak sürekli iyileştirilmelidir. Ve son yıllarda artış yüklenme artlarında çalışmaktadırlar. Bunun esas nedenlerinden biri; artan güç talebini karşılamak için dağıtım hatlarının büyümemesi, yük tüketim merkezlerindeki büyük artış, tüketim merkezlerindeki yeni yük modellerinin olması gibi nedenlerdir [2].

Güç sistemleri, mevcut durum ve gelecekteki kapasite artımı da dikkatli olarak planlanır. Güç sistemini en verimli şekilde çalıştırmak ve bu sistemin kabul edilebilir sınırlarını bilmeye gerektirir. Böyle bir durumda, güç sisteminin dengeli, verimli, kabul edilebilir standartlar arasında planlanması ve işletilmesi önem arz etmektedir. Bunun yanında güç sisteminin olağanüstü durumlarda nasıl

davranışının da incelenmesi ve bilinmesi gereklidir. Bu aynı zamanda sistemin emniyetli çalışması kriterlerinin belirlenmesi anlamına da gelmektedir. Bu konuda doğru modelleme ve çalışmalar da önemli hale gelmektedir.

Gelecek on yıllarda büyük sanayi ve iş merkezlerinin elektrik güç talebinin daha da hızlı büyümesi beklenmektedir. Serbest piyasada enerji talebinin üzerinde durulmasının yanında enerji verimliliği üzerinde de durulmaktadır. Bunlar ise maliyeti düşürme, güç kalitesini artırma ve sistem kararlılığıdır. Tüketiciler için önemli olan unsur ise sabit ve güvenilir bir enerji kaynağının sağlanmasıdır [3].

Güç sisteminin verimli ve kabul edilebilir çalışmaları belirlenmesinde en önemli faktör kararlılıktır. Kararlılık deyince akla ilk gelen klasik kararlılık olan açı kararlılığı gelmektedir. Ancak son yıllarda yaşanan gerilim çökmeleri yeni bir kararlılık çeşidi olan gerilim kararlılığını ortaya çıkarmıştır. Bu durum yaşanan birçok gerilim kararsızlık olaylarında frekans dalgalanmasının olmaması ve rotor açısının stabil olması ile gözlemlenmiştir. Gerilim kararlılığı, bir güç sisteminde yük talebinin, üretim merkezi tarafında karılanıp karılanmamasına bağlı olarak ortaya çıkmaktadır. Bu durumda üretim ile tüketim arasında aktif güç dengesi sağlanmaktadır. Bir başka ifade ile ise gerilim kararlılığı, olağanüstü durumların neticesinde (bozucu etkiler) sistemin normal durumuna dönebilme kabiliyeti olarak da ifade edilebilir.

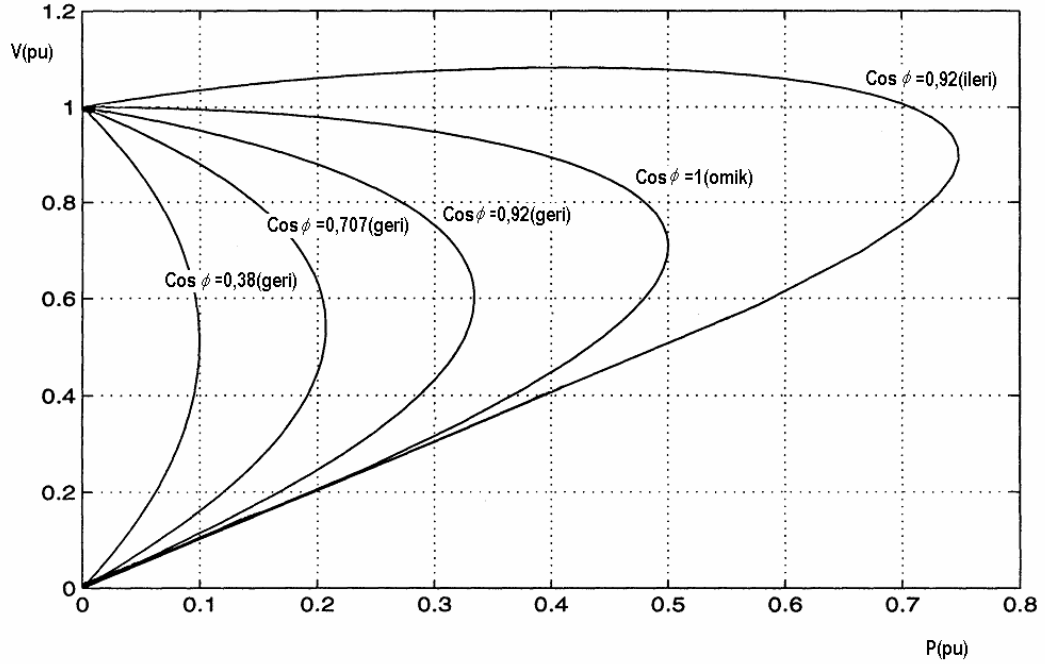
Bu çalışmada gerilim kararlılığı, literatürde Heuristic olarak da ifade edilen Sezgisel Algoritma teknikleri kullanılarak belirlenmiştir. Sezgisel algoritma tekniklerinden Genetik Algoritma, Benzetim Tavlama, Tabu Arama algoritmaları kullanılmıştır. Gerilim kararlılığının, Sezgisel Algoritmalar ile belirlenmesinde, yük akışı analizlerindeki bara güçlerini ifade eden denklemler fonksiyon haline getirilmiştir. Bu fonksiyonların maksimum olduğu değerler araştırılarak sınır değerlere ulaşılmıştır. Önce iki ve üç baralı temel bir sistem üzerinde çalışma yapılmış ve yük barasının kritik değerleri elde edilmiştir. Daha sonra genelleştirilerek 6 ve 14 baralı bir sistemin kritik değerleri elde edilmiştir. Sezgisel Algoritmalar tüm çözüm uzayındaki bazı çözümlerin kabul edilmesi esasına dayanır. Bu algoritmalar optimizasyon amaçlı olarak, minimum veya maksimum noktaları araştırırlar.

BÖLÜM 2. GERİLİM KARARLILIKI

2.1. Giriş

Elektrik güç sistemlerinin önemli sorunlarından biri tüketicilere güvenli ve sürekli enerjinin sağlanmasıdır. Elektrik enerjisine olan ihtiyacın her gün katlanan oranlarda artması, üretilen enerjinin tüketim merkezlerine olan mesafenin fazla olması enerjinin uzun iletim hatları boyunca taşınmasını gündeme getirmiştir. Oluşan bu durum, bazı zorunlulukları ve sorunları da meydana getirmiştir. İletim hatları boyunca kayıpların en aza düşürülmesi ve bu kayıpların kendisi ile birlikte meydana getirdiği sorunlar da ara tırmacıların konuları arasına girmiştir. Uzun mesafeli enerji taşınmasının oluşturduğu sorunlardan bir tanesi de gerilim kararlılığıdır [4]. Enerji santrallerinin tüketim merkezlerine uzaklıklarından kaynaklanan kararsızlık, gerilim kararsızlığı olarak ifade edilmektedir. Bu kararsızlık, enerji iletim hattının maksimum yüklenebilir kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir [5]. Bu gerilim kararlılığının en kolay gözlemlendiği grafikler yük barasından elde edilen P-V eğrileridir. Şekil 2.1'de çeşitli yük faktörleri için P-V eğrileri görülmektedir.

Yük barasından çekilen güç hat üzerindeki kayıpları ve hat üzerindeki gerilim düşümünü artırmaktadır. Bunun neticesinde yük barası üzerindeki gerilim düşümü, tüketici açısından belli bir değerin altına düşmemesi gerekmektedir. Bu değerler kritik baraj gerilim düşümü olarak ifade edilir. Bu esnada yükün çektiği aktif güçte kritik güç düşümü olarak ifade edilir. Gerilim düşümü azaldıkça sistemin çalışması zorlaşmaktadır. Bu durumda, gerilim kararlılığının güç sistemlerinin temel bir problemi olduğu anlaşılmaktadır [6].



ekil 2.1 Çe itli güç faktörlerinde elde edilmi P-V e rileri

Gerilim de erlerinin sınır de erleri altına dü mesi gerilim kararlılı nı bozar. Bunun sonucunda iletim hatları generatörler ve yükler devre dı ı kalabilir [7]. Gerilim kararsızlı ı veya daha ileri seviyesi olan gerilim çökmeleri dinamik bir olay oldu u kabul edilmi tir [3].

Gerilim karalı ının dinamik yapısı olmasına ra men, analizlerinden birço u statik analiz yöntemleri kullanılarak yapılır. Mevcut enerji iletim hatlarının daha yüksek kapasite ile kullanma iste inden dolayı, gerilim kararlılı ı çözümlenmesi gereken en önemli problemlerden biri haline gelmi tir. Var olan hatlarında güç ta ıma kapasitelerinin artırılmasının bir yolu da reaktif güç kompanzasyonu yapmaktan geçer. Sistemde hangi baralara reaktif güç optimizasyonu yapılaca ı problemi de genellikle hassasiyet analizi ile incelenmi tir [8].

Gerilim kararlılı ı problemi, güç sistemlerinde a ırı yüklenme, arızalanma veya reaktif gücün yetersiz kaldı ı durumlarda geli ir. Bu kararlılı ın analizi, üretim, iletim ve reaktif tüketiminin analizleri ile ortaya konulabilir. Gerilimi belli de erler

arasında tutmak güç sisteminin her ne kadar bir bölgesinde oluşsa da sonuç olarak tüm güç sistemini ilgilendiren bir durumdur [9].

Güç sisteminde bozucu etki sonucunda, gerilim hala sınır değerleri içinde kalabiliyorsa sistem gerilim kararlılığı bakımından kararlıdır denilebilir. Gerilimin sınır değerlerinin dışına taşması, yani gerilimin kontrolünün yapılamaması durumunda üretim, hat, transformatör ve tüketim baralarının gerilimleri kontrolsüz olarak düttünde sistemde bir kararsızlık söz konusudur. Bunun sonucunda yerel olarak başlayan gerilim çökme olayları genelleerek domino etkisi ile tüm sisteme yayılma eğilimini gösterir.

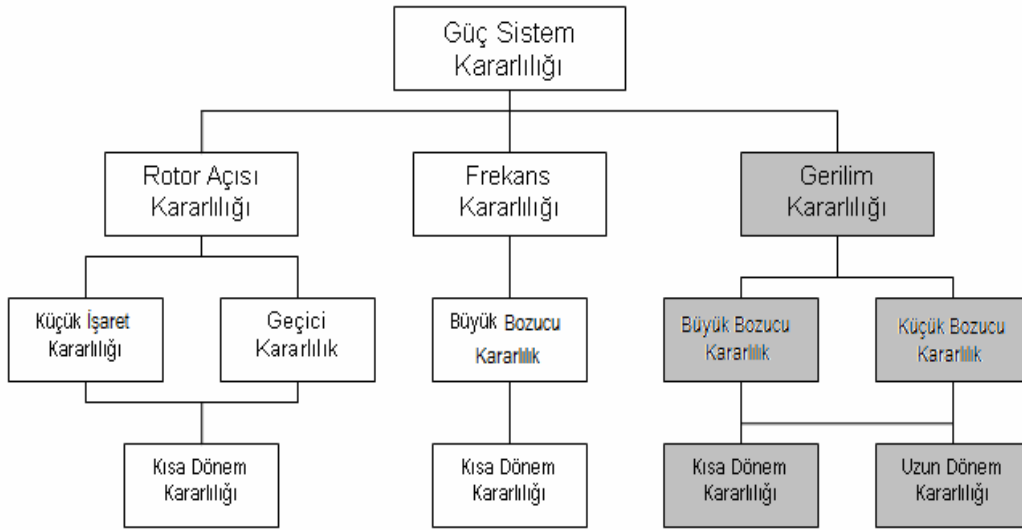
2.2. Elektrik Güç Sistemlerinde Kararlılık

Güç sistem kararlılığı, bir güç sisteminin herhangi bir bozucu (kısa devreler, açma-kapama olayları, büyük miktarda yük alma veya atma işlemleri) etki sonrası tekrar normal durumuna dönebilmesi olarak tanımlanmaktadır [10]. Güç sisteminin çeşitli bozulmalarda, büyük, küçük bozulmalara maruz kalabilirler. Bu durumda tüm enterekte sistem göz önüne alınır. Sistemde yüklerin devreye girip çıkmaları gibi yük değişimleri de sürekli olmaktadır. Bu durumlarda sistem sürekli izlenmeli ve değişen durumlara uyum sağlayabilmelidir. Bunun yanı sıra, iletim hattında kısa devreler, büyük generatörlerin devredışı kalması gibi durumlarda arıza yerinde devredışı bırakılarak, sistemde yapısal değişimler olabilir.

Güç sistemi kararlılığı, sistemin güvenli olarak çalışması bakımından önemli bir problemdir. Güç sisteminin kararsızlığı nedeniyle oluşan birçok sistem çökmeleri problemin önemini ortaya koymuştur [11]. Olabilecek bozulma ihtimallerine karşı sistemin kararlı halde kalabilmesini tasarlayabilmek pratik olarak mümkün olmayabilir. Ancak tasarım yapılırken en çok bozulma ihtimali olabilecek senaryolar üzerinde durulur. Dolayısıyla yapılacak çalışmalar elden geldiğince ve doğru modellemeler üzerine kurulmalıdır. Kararlılık deyince klasik olarak, aktif güç-yük açısı ilişkisi düşünülmüş, ancak daha sonraki yıllarda yaşanan bazı olaylar sonucunda [5], yeni kararlılık tanımları yapma ihtiyacını doğurmuştur. Buna bağlı olarak güç sistemlerinde kararlılık sınıflandırılması ve tanımlamalar yapılmıştır.

2.3. Güç Sistemlerinde Kararlılığın Sınıflandırılması

Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı problemi her ne kadar tek bir problem gözükse de, pratikte böyle değildir. Güç sistemlerinin kararsızlığı farklı formlarda ve geniş bölgeleri etkileyen şekillerde olabilir. Bu konuda kararlılık şekil 2.2'deki gibi sınıflandırılmıştır [12, 13]. Şekil 2.2'de güç sistemi kararlılığı çeşitli alt kategorilere ayrılmış ve buna bağlı olarak sınıflandırılmışlardır.



Şekil 2.2. Güç sistem kararlılığının sınıflandırılması

İncelenecek olan gerilim kararlılığını sınıflandırmadan önce, kısaca diğer kararlılık çeşitleri olan rotor açısı kararlılığı ve frekans kararlılığı tanımları yapılmıştır.

2.3.1 Rotor açısı kararlılığı

Bu kararlılık enterkonnekte sistemlerde senkron makinelerin, herhangi bir bozucu etki sonrasında senkronizasyonda kalma yetenekleri ile ilgilidir. Rotor açısı kararlılığı temel olarak güç sistemindeki elektromekanik salınımları içermektedir. Sürekli hal durumlarında generatörlerin mekanik giriş momenti ile elektromanyetik çıkış momenti arasında bir denge söz konusudur. Eğer sistemde bir bozulma olursa rotor ya hızlanacak veya yavaşlayacaktır. Generatörlerden biridirine göre geçici bir şekilde hızlanırsa açı olarak diğerlerinin önüne geçer. Bu farktan dolayı yükün bir

kısmı yavaş olandan hızlı olana doğru transfer olur. Böylece hızlar arası fark dolayısıyla açı farkı da azalır. Buradaki güç açılışını lineer olmayan bir olaydır. Bu rotor hız değişimlerinden dolayı oluşan güç veya kinetik enerjiyi absorbe edemezse kararsızlık oluşur.

Baralardaki nominal gerilim düşümü rotor açılış kararsızlığı ile de ilişkili olabilir. Mesela elektrik dağıtım sisteminin orta noktalarında hızlı gerilim düşümünden dolayı iki grup makinenin rotor açılarının 180° faz farkı sonucu senkronizma kaybı yaşanır [12]. Normalde koruma sistemleri iki grup makineyi birbirinden ayırır ve gerilimin geri dönüşü bu ayırmanın seviyesine bağlıdır. Ancak elektrikli sistem böyle ayrılmazsa iki grup makinenin kutup kaymasından dolayı bu merkezde gerilim hızlıca düşer ve yukarı değerlerde salınacaktır. Buna karşılık, sürekli gerilim düşümü tipinde gerilim kararsızlığı yüklerle ilişkilidir ve rotor açılış kararlılığını konu almayan bir durum oluşur.

Küçük sinyal rotor açılış kararlılığı, güç sisteminin küçük bozulmalar karşısında senkronizmada kalabilmesi yeteneği olarak ifade edilebilir. Küçük sinyal kararlılığı sistemin ilk bozulma durumlarına bağlıdır. Kararsızlık iki şekilde meydana gelebilir; senkronizma momentinin yetersizliği neticesinde düzensiz salınımlar veya rotor açısının artması veya yetersiz moment nedeniyle rotor salınımlarının artmasıdır. Küçük sinyal rotor açılış kararlılık çalınmaları 10–20 saniye süreli salınımlardır.

Geçici kararlılık veya büyük rotor açılış kararlılığında, iletim hattındaki kısa devre gibi ciddi ve kritik bozulmalarda sistemin senkronizmada kalması yeteneğidir. Sistemin cevabı, generatör açısını büyük değişimleri ve bunun sonucunda güç-açılış ilişkisindeki nonlineerliktir. Geçici kararlılık ise 3–5 saniyelik bozulmalardır. Çok büyük sistemlerde süre uzayıp 10–20 saniyeye çıkabilir. Rotor açılış kararlılığı, dinamik kararlılık olarak da ifade edilmektedir [12, 14, 15].

2.3.2. Frekans kararlılığı

Frekans kararlılığı, güç sisteminde üretim ve yük arasında oluşan dengesizlikte sistemin frekansını sabitleyebilme kabiliyetidir. Bu yetenek, minimum yük kaybı ile

üretim ile yük arasındaki dengenin yeniden kurulmasına bağlıdır. Kararsızlık sonucunda üretim birimlerinin ve (veya) yüklerin açması, frekans salınımlarını oluşturur. Ciddi sistem bozuklukları neticesinde genellikle frekans, güç akışı, gerilim ve diğer sistem değişkenlerinde ani büyük değişimler olabilmektedir. Genellikle frekans kararlılık problemi, kontrol ve koruma ekipmanlarının zayıflığı, tepki verememesi veya yetersiz üretim rezervlerinden kaynaklanmaktadır. Frekanstaki ani değişimler sonucu aygıtların harekete geçme süreleri saniyelerden dakikalara kadar değişim gösterebilirler. Örnek olması bakımından düşük frekansta yük atma olayı kısa süreli bir olay olarak kabul edilir [16].

2.4. Gerilim Kararlılığı

Günümüzde gerilim kararlılığı, elektrik güç sistemlerinin planlanması ve işletilmesinde göz önüne alınması gereken önemli faktörlerden biri olmuştur. Güç sistemine sürekli olarak yeni ve farklı karakteristikte yükler ve üretim birimleri ilave edilmektedir. Bu da güç sistemlerinin çalışmalarıyla birlikte artmaktadır. Gerilim kararsızlığının ana nedenlerinden biri olan enerji taşıma hatlarının çalışma stresinin artmasıdır. Bunun bir nedeni de ekonomik şartlardan dolayı sisteme yeni hatların ilave edilememesidir. Bu durumda mevcut hatları daha kapasiteli ve verimli kullanma yoluna gidilir. Uzun mesafeli enerji iletim hatlarına ihtiyaç duyulmasının nedeni üretim merkezleri ile tüketim merkezlerinin arasındaki mesafenin büyük olmasıdır.

Her gerilim, bozucu etki sonrası kabul edilebilir değerler arasında ise güç sistemi kararlıdır. Güç sistemindeki bir elemanın (generatör, hat, transformatör, bara, vb.) herhangi bir nedenle devre dışı kalmasıyla, yükteki artış ile veya gerilim kontrolünün yetersiz kalmasıyla gerilim düşümü gerçekleşirse güç sistemi kararsız olur. Gerilim kararsızlığı, aşırı yüklü, yetersiz reaktif güce sahip olan sistemlerde gerçekleşir [3]. Güç sistemlerinde dağıtım noktaları olan baralardan talep edilen yükler sürekli olarak değişmektedir. Yük artışına bağlı olarak bara gerilimi düşme eğilimine girer. Bu gerilimin belli bir değerin altına düşmesi gerekmektedir. Bu değer gerilimin kritik değeridir. Bir başka ifadeyle ise sistemi gerilim kararsızlığına götüreceği gerilim değeridir. Bu sınır değerlerinin aşılması ile sistemde belli bölgelerin, iletim

hatlarının, generatörlerin devre dışı kalması durumları ya anır [17]. Gerilim kararsızlık problemleri, gerilim kontrol problemlerinden çok daha karmaşık problemlerdir. Gerilim kontrolleri, anahtarlamalı kondansatör ve generatör uyarma akımlarının kontrolü gibi sadece birkaç çeşittir. Gerilim çökmeleri ise genellikle gerilim sınırlarının ihlal edilmesi ile birlikte ortaya çıkar (düşük gerilim ve gerilim düşmesi gibi). Gerilim kararlılık kontrolleri çeşitli araçlar tarafından izlenirler. Ancak gerilim kararlılık artının göstergelerinde kullanılan gerilim büyüklüğünde iki sınırlama vardır. Bunlardan birincisi; gerilim algılayıcı cihazlardır. İkincisi ise; gerilim kararlılık kontrol sürücüleridir [18].

Gerilim kararsızlığı ya da anan sistemlerde arka planda belli nedenler vardır. Bunlar ifade edildiğinde; Gerilim kararsızlığı, yük dinamiklerinin bütün generatör ve taşıma hatlarının kapasitesi dışında güç tüketiminden kaynaklanmaktadır. Bir başka neden gerilim kararsızlığının itici gücü baraj yükleri olarak kabul edilmektedir. Diğer bir neden olarak ise gerilim kararsızlığının nedenleri iletim hatlarının kapasiteleri ile sınırlandırılmıştır. Ayrıca generatörler ve diğer kontrolörlerin doğru modellenmesi de gerilim kararlılığının doğru değerlendirilmesi açısından önemlidir [3].

Gerilim kararsızlığına veya düşmesine neden olan önemli faktörler sıralandığında [19];

- 1- Üretim merkezleri ile yük birimleri arasındaki uzak mesafeler,
- 2- Düşük gerilim durumunda transformatörlerde kademe düşürme,
- 3- Yük karakteristiklerinin uygun olmayışı,
- 4- Çeşitli kontrol ve koruma sistemleri arasındaki koordinasyon bozukluğu,
- 5- Önt kompanzasyonun çok fazla kullanılmasıyla gerilim çökmesi problemi artabilir. Reaktif güç kompanzasyonunda, önt kompanzasyonlar, statik VAR sistemleri ve senkron kondansatörlerin birlikte kullanımı daha etkili olurlar.

2.4.1. Gerilim kararlılığının tanımı

Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı konusunda literatüre giren, birbirine benzeyen birçok tanımlama yapılmıştır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Genel olarak gerilim kararlılığı tanımlanır; bozucu bir etki sonrasında güç sistemindeki bütün baralarda gerilimin belirlenmiş durumuna dönebilme kabiliyetidir. Güç sisteminde bu yeteneği sürdürülebilmek talep edilen güç ile sağlanan güç arasındaki dengeye bağlıdır. Kararsızlık sonucunda bazı baralarda gerilimde sürekli bir düşüş veya yükselme olabilir. Gerilim kararsızlığının muhtemel sonucunda belli bir bölgede yük kaybı, taşıma hatlarının açılması ve diğer koruyucu elemanların çalışmasıyla kademe kademe kesintiler olur. Bu kesintiler sonucunda bazı generatörler senkronizmayı kaybederler veya işletmelerdeki akım sınırları ihlal edilmiş olur [3].

Başka bir tanımda, elektrik güç sistemi kararlılığı bir sistemin bozucu etkisi sonrası tekrar denge durumuna dönebilme yeteneği olarak ifade edilebilir. Bir güç sistemi bozucu etkiye (kısa devreler, açma kapama olayları, büyük miktarda yük almalar gibi) maruz kaldığında, bu etki kalktıktan sonra, tekrar bozucu etki öncesi çalışma koşullarına dönebilme yeteneği olarak tanımlanabilir [10].

Bir başka tanımda ise gerilim kararsızlığı, üretim ve iletim kapasitesinin yanında, yük dinamiklerinin de önemli bir unsur olduğu ifade edilmiştir. Gerilim kararlılığında diğer faktörler de generatörlerin reaktif güç limitleri, yük karakteristikleri, reaktif güç sağlayan cihazların karakteristikleri ve gerilim kontrol cihazlarının davranışlarıdır [3]. Bu tanıma göre, gerilim kararlılığında yükün istikrar için önemli bir unsur olduğu ve gerilim kararlılığının yük kararlılığı olarak tanımlanabileceğidir. Elektrik güç sistemlerinde söz sahibi veya standartların belirlenmesinde öncü olan kuruluşlar gerilim kararlılıklarını çeşitli şekillerde tanımlamışlardır.

2.4.1.1. CIGRE tanımı

CIGRE(International Council on Large Electric Systems) adlı kuruluşun yaptığı tanımlamada “ bir sistemin küçük arıza kararlılığına sahip olduğunu, meydana gelen küçük bir arıza sonrası, yüklere yakın noktalarda gerilimlerin benzer veya arıza öncesi değerlere yakın olarak kalabilmesi kabiliyetidir. Ancak bozucu etki sonrası

gerilimler kabul edilen sınır değerlerin altında ise güç sistemi çökmeye doğru gider” şeklinde ifade etmiştir [20].

2.4.1.2. IEEE tanımı

IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers) kuruluşu ise, gerilim kararlılığı; sistem geriliminin belirli sınırlar içinde korunmasıdır ki böylece yük admitansı yükseldiğinde, yükün gücünde artacak ve böylece hem güç hem de gerilim kontrol edilebilir olacaktır. Gerilim çökümü, sistemin büyük bir bölümünde meydana gelen gerilim kaybının yol açtığı gerilim kararsızlığı durumunun bir sonucudur. Gerilim güvenliği, sistemin sadece kararlı bir şekilde çalışma kabiliyeti değil aynı zamanda gelebilecek çeşitli arızaya da işletme durumları karşısında kararlı kalabilme yeteneğidir [21].

2.4.1.3 IEEE ve CIGRE birlikte tanımı

Gerilim kararlılığı bir bozucu etki sonrasında tüm baraların barlangıçtaki çalışma koşullarına dönebilmeleri kabiliyeti olarak tanımlanır. Güç sistemini belirli bir bölümünde anormal bir şekilde gerilim düşmesi olur ve bu durum devam ederse güç sisteminde gerilim çökmesi oluşmasına sebep olur [22].

2.4.2 Gerilim çökmesi olayı

Gerilim çökmesi olayı yükte meydana gelen bir artış sonucu, iletim hatlarının veya generatörlerin kayıplardan dolayı meydana gelmektedir. Bunun sonucunda bazı enerji iletim hatları aşırı yüklenir ve reaktif güç kaynakları azalma eğilimine gider. Aşırı yüklü bir hattın kaybı sonucunda, bu yük geri kalan hatlar üzerine kalır. Burada geri kalan hatlardaki reaktif güç kaybını artırır. Bundan dolayı sistemde reaktif güç talebi artmış olur. Ek talebe bağlı olarak yük baralarında önemli oranda gerilim düşmesi olur. Bu gerilim düşmesi, generatörlerin uyarma akımları artırılarak, gerilimler aynı değerlere getirilir. Uyarım sonucu oluşan ek reaktif güç transformatörler ve hatlar üzerinde daha büyük gerilim düşmesine neden olur. Enerji iletim hattındaki bu gerilim düşmesi dağıtım hattına da yansımaktadır. Dağıtım

sistemindeki trafolar kademe de i tirerek gerilimi ve yükleri eski durumuna getirmeye çalı acaktır. Her kademe de i imindeki yük artı ı neticesinde, hattaki aktif ve reaktif güç kayıpları artar. Bunun sonucunda enerji iletim hattındaki gerilim dü ümleri daha büyük mertebelerde gerçekleşir. Generatörlerin uyarma akımlarının belirledi i reaktif güçler belirlenen sınırlara ula tı ında uç gerilimleri dü meye ba lar. Üretilmeyen reaktif güç di er generatörlerle paylaşılacak ve a ırı yüklenen generatörlerin sayıları giderek artacaktır. Bu süreç sonunda gerilim kararsızlı ı, üretim birimlerinde senkronizasyon kaybı ve gerilim çökmesi ya anacaktır [19].

Gerilim kararsızlı ı ve bunun sonucunda geli en olaylar dinamik bir süreçtir. Ancak sistem ve gerilim kararlılı ı dinamik olmakla birlikte statik analiz yöntemleriyle incelenmektedir [23]. Yapılan bir çalı mada, planlama a masında güç sistemlerindeki gerilim kararlılı ı ve gerilim çökmesi hesaplamaları için statik modellerin kullanılması üzerinde durulmu tur [24].

Enerji üreticilerinin güvenlik konseyleri, güvenli enerji için yeni kurallar geli tirmilerdir. Sistem operatörleri sürekli olarak hatları kontrol etmelidirler ve bir güç sistemi her zaman kesintiler veya kararsızlık olmayacakmı gibi çalı tırılmalıdır. Güç sistemlerde hatalardan kaçınılamaz ve tahmin edilemez, ancak güç sistemi talep edilen enerjiyi kar ılayacak kapasitede olması gereklidir. Bunu sa lamak içinde sistem yeterli kararlılık sınırları içerisinde i letilmelidir [25].

2.4.3 Dünyadaki önemli gerilim çökmesi olayları

Gerilim kararlılı ının önem kazandı ı geçmi yirmi otuz yıllık bir süreç incelendi inde ya anan önemli gerilim çökme olayları a a ıda sıralanmı tır.

Fransa 1978, ö leden önce saat 7–8 arasında bir önceki gün talep edilen yükten 1600 MW daha fazla güç talebi oldu. 400 kV'luk ebeke 342 kV'a dü tü bu durum yirmi dakika sürdü. Gerilim normal haline saat 12.30'da getirilebildi. Bu arada 29 GW ve 100 GWh enerji kesintiye u radı.

Belçika 1982, test çalışması sırasında 700 MW güç bilanlamadından dolayı yaklaşık 4 dakika toplam gerilim çökmesi meydana geldi.

Güney İsveç 1983, Bir nükleer santral çıkışında meydana gelen arızada Güney İsveç bir dakika süre ile sistemden ayrıldı.

Amerika Florida 1985, fırcaların yanması 500 kV'luk iletim hattında gerilim azalmasına ve sonuçta birkaç saniye içinde gerilim çökmesine sebep oldu.

Batı Fransa 1987, alarm uyarıtım koruma sistemindeki hatadan dolayı gerilim azaldı ve 0,5–0,8 birim seviyelerine kadar düştü. Altı dakika süre ile gerilim çökmesi olayı meydana geldi

Güney Finlandiya 1992, güç sistemi güvenlik sınırlarına yakın derinlerde çalışıyordu. 400 kV'luk hatta bakım sırasında 735 MW'lık yükün etkilediği sistemde gerilim seviyesi 344 kV seviyesine düştü. Gerilim, gaz tribünlerinin yük koruyucuları ile çalıştırılmaya bilanması neticesinde reaktif güç üretiminin artırılması ile normal seviyesine getirilebildi.

Amerika 1996, 345 kV'luk hatta kısa devre oldu, kuzeybatı Amerika sistemi kesintiye uğradı sonuçta hızlı gerilim ve açılı kararsızlığı oldu [9].

İsveç 2003 de bara istasyonunda iki faz kısa devre ile bilanayan arıza gerilim çökmesi ile neticelenmiştir. Bu kesintiden 4 milyon insan etkilenmiş ve geriye dönüş süresi 1,5–6,5 saat sürmüştür.

2003 yılında Amerika'da generatörün devre dışı kalmasıyla bilanayan arıza gerilim çökmesi ile bitmiştir. Bu olaydan 50 milyon kişi etkilenmiş ve tamir süresi 30 saatten fazla sürmüştür.

İtalya 2003, fırtınalı havada iki iletkenin birbirine temasıyla bilanayan arıza sonrasında, bütün hatlar teker teker kaybedilmiştir. Sonuç ne olduğu bilinmiyor ancak bu kesintiden 58 milyon kişi etkilenmiş ve tamir süresi 16,5 saat sürmüştür [26].

1987 yılında güney Amerika ülkesi İli'de gerilim çökmesi sonucu kesinti olayı ya anımı tır. Bu çökme sonucu ülke %80 yükünü kaybetmi tir. Bunun en büyük nedeni de güç sisteminin radyal ekilde olması ve güç akı ının kuzey güney istikametinde olmasıdır [27].

2004 yılında Atina gerilim çökmesi ya anımı tır. Yunan güç sisteminde üretim batı ve kuzeydedir. Tüketim ise a ırlıklı olarak Atina ve çevresinde kalabalık bir ekilde bulunmaktadır. Bu yapı, enerji iletim mesafesi bakımından gerilim kararsızlı ı için elveri li bir durumdur [28]. Daha sonra olimpiyatlara ev sahipli i yapacak olan Yunanistan sistemde birçok yenilemeler yapmı tır. Ancak yapılan bu yenilenmelerin do ru yerlerde yapılmadı ı görü leri vardır [29].

Amerika-Kanada 14 A ustos 2003, Amerika Kanada arasındaki gerilim çökmesinde bu iki ülkeden toplam 50 milyon insan etkilendi. 63000 MW kayıp meydana geldi. Tahmini 10 milyar dolar zarar meydana geldi. 400 iletim hattı 531 üretim birimi zarar gördü [30]. Amerika ve Kanada da meydana gelen olaylar gerilim kararlılı ı düzeltme yöntemlerinin ara tırılması ve geli tirilmesini önemli kılmı tır. Günümüzde gerilim çökmesi problemi en önemli çözüm bekleyen problemlerden biri haline gelmi tir [31].

ABD'de 2003 yılında ya anan ve büyük kesinti olarak adlandırılan gerilim çökme olayı öncesinde ve sonrasında uydudan alınan görüntülerde, ya anan kesinti olayının boyutları açıkça görülmek ve olayın önemini ortaya koymaktadır [32].

Kayıtlara geçen, Amerika'da New York 1970, Missisipi 1987, Baltimore 1990, Kanada 1979, Avrupa'da Belçika 1982, Fransa 1978 – 1987 -1990, ngiltere 1986, Danimarka 1979, Çekoslovakya 1985, Helsinki 2003, Güney Londra 2003, Güney sveç ve Danimarka 2003, talya 2003, Atina ve Güney Yunanistan 2004, Japonya'da Tokyo 1987 kesintileri, enerji sistemlerinde gerilim kararlılı ı sonucunda ya anımı tır. Bu olaylar gerilim kararlılı ını daha da önemli hale getirmi tir [4, 6].

2.5. Gerilim Kararlılı ı Analizi Yöntemleri

Gerilim kararlılı ı dinamik bir olay olmasına rağmen birçok uygulamalarda sürekli hal çalı ma analizleri kullanılır. Gerilim kararlılı ının statik ve dinamik yöntemler ile açıklanması geçici bir bozucu etki süresince gerilim kararlılı ı olu madı ında birbirlerine çok yakın de erlerdir [22]. Sürekli hal gerilim kararlı ı çalı malarında, yük akı ı denklemleri sistemi ifade etmek amacı ile kullanılır. Bu alı malarda yük dinamikleri devre dı ı kaldı ı ve tüm kontrol sistemlerinin görevlerini tam olarak yaptıkları kabul edilir. Sürekli hal gerilim kararlılı ı çalı maları uzun zaman gerilim kararlılı ı konuları ile paraleldir. Literatürde çe itli gerilim kararlılı ı analiz yöntemleri bulunmaktadır. Bu alı malarda bazı yöntemlerden kritik de erlere do rudan ula mı , bazıları ise de er olarak de il yakla ımsal olarak kritik de erlere ula mı tır. Burada sürekli hal (statik) yöntemlerden bazıları açıklanacaktır.

2.5.1. Yük akı ı analizi

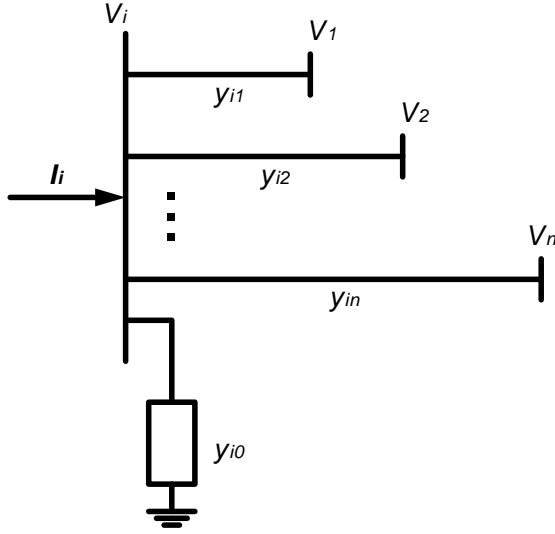
Yük akı ı ile sistemin o andaki durumu hakkında bilgi sahibi olunur. Yük akı ı sonucunda tüm baraların gerilim genlik ve açı de erleri, iletim hatları üzerinde akan aktif ve reaktif güçler, hatlar üzerindeki kayıpları belirlemek mümkündür. Güç akı ı algoritmasına bazı kabuller yapılarak ba lanır. Buna göre;

1. Generatörler talep edilen tüm yükleri ve hatlardaki kayıpları kar ılar.
2. Güç sistemi üç fazlı, dengeli yüklenmi tir ve sürekli hal ko ulları altında çalı maktadır.

Güç akı ı çalı malarında kullanılan güç ifadeleri lineer olmayan e itliklerdir. Bundan dolayı bu e itliklerin çözümünde en fazla iki yakla ım kullanılmaktadır. Bunlardan biri Gauss-Seidel, di eri ise Newton Raphson algoritmalarıdır [33]. Newton Raphson algoritmasına göre güç akı ı denklemlerini elde etmek için bara sayısı n olan bir enerji sistemi ekil 2.3'de verilmi tir.

Bu analizde sistem kararlı bir noktadan itibaren yük, sonlu adımlarla artırılır ve her yük artı ında güç akı ı yapılarak sistemin durumu hakkında bilgi sahibi olunur [34]. Bu yük akı ı i lemleri artımsal olarak Newton Raphson algoritmasının iraksadı ı noktaya kadar sürdürülür. Iraksamanın nedeni kritik gerilim noktasına yakla ıldı ını

ifade etmektedir [35]. İraksama yapılan nokta sistem için veya o bara için kritik de erleri ifade etmi olur. Gerilim, kritik bara gerilimi, aç, kritik bara açısı, güçte, kritik bara gücü olarak ifade edilirler. Yani o bara için gerilim kararlılı ı bakımından kritik de erler tespit edilmi olur.



ekil.2.3. Örnek bir güç sisteminde i . bara [36]

Burada baraya giren akımlar, kir off akımlar kanununa göre yazıldı ında,

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) \quad (2.1)$$

eklinde olur. Burada admitans de erleri,

$$Y_{ii} = y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in} \quad (2.2)$$

$$Y_{i1} = -y_{i1} \quad (2.3)$$

$$Y_{i2} = -y_{i2} \quad (2.4)$$

$$Y_{in} = -y_{in} \quad (2.5)$$

olarak ifade edilirler. Akımın de eri ise a a ıdaki denklemlerle elde edilir.

$$I_i = Y_{ii}V_i + Y_{i1}V_1 + Y_{i2}V_2 + \dots + Y_{in}V_n \quad (2.6)$$

$$\text{veya } I_i = Y_{ii}V_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{ik}V_k \quad (2.7)$$

i . baradan alternatif hattına verilen aktif ve reaktif güçler yazıldı ında;

$$P_i - Q_i = V_i^* I_1$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i} \quad (2.8)$$

Denklem 2.7 ve 2.8 bir arada değerlendirildiğinde,

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i} = Y_{ii} V_i + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{ik} V_k \quad (2.9)$$

bu eşitlikten, baraya ait gerilim değeri elde edilir.

$$V_i = \frac{1}{Y_{ii}} \left[\frac{P_i - jQ_i}{V_i} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n Y_{ik} V_k \right] \quad (2.10)$$

Denklem 2.8'den verilen güçler elde edilirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$P_i - jQ_i = |V_i|^2 |Y_{ii}| \cos \theta_{ii} + j |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin \theta_{ii} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \cos(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \\ + j \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n |Y_{ik}| |V_i| |V_k| \sin(\theta_{ik} + \delta_k - \delta_i) \quad (2.11)$$

Bu denklemlerde;

$$Y_{ii} = |Y_{ii}| \angle \theta_{ii}, \quad Y_{ik} = |Y_{ik}| \angle \theta_{ik}, \quad V_i = |V_i| \angle \delta_i, \\ V_i^* = |V_i| \angle -\delta_i, \quad V_k = |V_k| \angle \delta_k$$

Denklem 2.11 reel ve sanal kısımlarına ayrıldığında baraya giren veya çıkan aktif ve reaktif güçler elde edilmiş olur.

$$P_i = \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \cos(\theta_{ik} - \delta_i + \delta_k) \quad (2.12)$$

$$Q_i = - \sum_{k=1}^n |V_i| |V_k| |Y_{ik}| \sin(\theta_{ik} - \delta_i + \delta_k) \quad (2.13)$$

Bu denklemler sayesinde tüm güçler elde edildiğinde, aynı zamanda sistemdeki kayıplarda bulunmuş olur. Burada bilinmeyen değerler Newton Raphson algoritması ile bulunur.

2.5.1.1. Tekil değer analizi

Yük akımında kullanılan Newton Raphson algoritmasında elde edilen jakobyen matrisin tekil değer analizi, sistemin gerilim çöküşüne yakınlığı hakkında bilgi

vermektedir. Sistemin gerilim çökü üne yakla ması durumunda jakobien matrisinin minimum tekil de eri sıfıra do ru yakla maktadır. Bu durumda jakobien matrisinin minimum tekil de erini temel alan bir gerilim kararlılık katsayısı geli tirilmi tir [37].

Yük akı 1 analizinde kullanılan Newton Raphson algoritmasında lineer olmayan bir dizi matematiksel denklemler 2.14 ile ifade edilmi tir.

$$f(x) = \begin{bmatrix} f_1(x) \\ f_2(x) \\ \dots\dots\dots \\ \dots\dots\dots \\ f_n(x) \end{bmatrix} = y \quad (2.14)$$

Bu denklem takımında de i ken olan x için çözüm aranmaktadır. Bu denklemin çözümünde Newton-Raphson algoritması kullanılır.

$$x(i+1) = x(i) + J^{-1}[y - f\{x(i)\}] \quad (2.15)$$

Denklem 2.15'de verilen Newton-Raphson algoritması e itli indeki J Jakobien matrisidir ve tersi alınabilir. Bu form yük akı ına uygulandı ında, denklem 2.16'da ifade edilen x vektörü, salınım barası hariç tüm baraların açığı de erleri ve tüm yük baralarının V gerilim de erleridir.

$$x = \begin{bmatrix} \delta \\ V \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

Denklem 2.17'de belirtilen P ve Q yük akı ında kullanılan aktif ve reaktif güç denklemleridir.

$$y = \begin{bmatrix} P \\ Q \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Denklem 2.18 ise her iterasyonda elde edilen güç denklemleridir.

$$f(x) = \begin{bmatrix} P(x) \\ Q(x) \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Jakobien olarak ifade edilen J nin formu ve içeri i de denklem 2.19'da verilmi tir.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} & \frac{\partial P_i}{\partial V_i} \\ \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} & \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Bu e itlikte Jakobien matrisinin tersi alınırsa

$$J^{-1} = \frac{1}{|J|} * Adj(J)$$

eklinde elde edilir. E er burada $|J|=0$ ise, Jokobyen'in tersi yoktur ve tekil de erdedir.

2.5.1.2. Jakobien matrisin determinanti

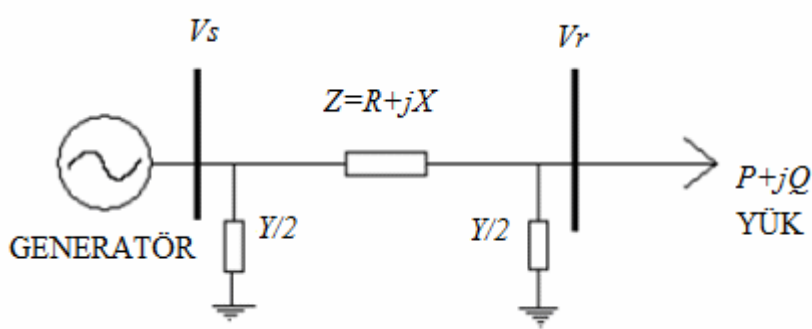
Yük akı ı çalı malarında en çok tercih edilen yöntemlerden olan Newton-Raphson algoritması bu yöntemin de temelini olu turmaktadır. Bu yöntemde Jakobien matrisinin sistem denklemlerinden denklem 2.11'deki gibi elde edilmesi gerekmektedir. Normal i letme artlarında bu matrisin i areti her zaman pozitif olarak bulunur. Ancak jakobien matrisinin sıfır olması veya sıfıra yakla ması durumunda, sistemin kararsız oldu u veya kararsızlık bölgesine yakın bir noktada çalı ıyor manası çıkarılmaktadır. Bu durumda talep edilen güç kar ılanamıyor anlamına gelmektedir. E er sisteme yeteri kadar reaktif güç sa lanamazsa sistem, gerilim çökü üne gitme e iliminde olur [34].

2.5.2. P-V e rileri

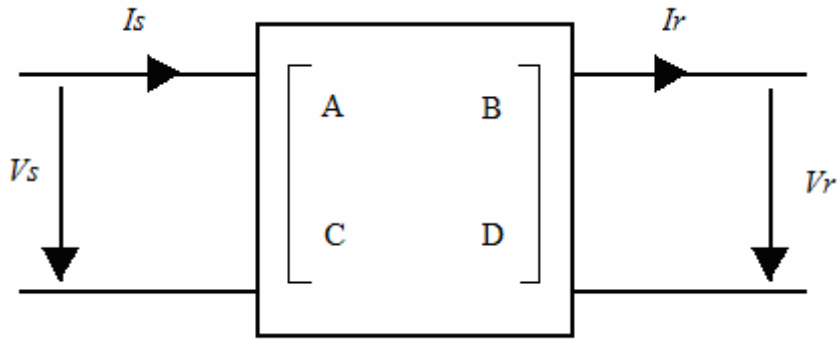
Sabit güç katsayısı altında hat ba ı gerilimi belirli bir de erde sabit tutularak, hat sonunda yük barasından çekilen aktif güç de eri kademeli olarak artırılarak, hat sonundaki yük barasının gerilim genlik de erinin de i iminin gözlemine dayanır.

Bu yöntemin amacı, güç sisteminde P-V e rilerini elde etmek, bu sayede sistemin kritik de erleri olan yük barasının aktif gücü ve gerilim genlik de erinin belirlenmesidir. P-V e rilerinin çizilebilmesi için yük barasının gerilim ile aktif güç de eri arasında, $ax^2 + bx + c = 0$ ekinde ikinci dereceden denklem ekinde bir ili ki kurulur. Bu denklemin olu turulması için gerekli hat parametreleri hesaplanır

ve sabit kabul edilirler. ekil 2.4'de verilen iki baralı bir sistemin, iki kapılı olarak e de eri ekil 2.5'de verilmi tir.



ekil 2.4. ki baralı örnek bir iletim hattı



ekil 2.5. ki baralı iletim hattının iki kapılı olarak gösterimi

Verilen sistemde;

V_s, I_s : Generatör gerilimi ve akımı

V_r, I_r : Yük barası gerilimi ve akımı

A, B, C, D : Uzun iletim hattı sabitleri [38,39]

$$A = a_1 + jb_1$$

$$B = b + jb_2$$

$$C = c_1 + jc_2$$

$$D = d_1 + jd_2$$

$$|A|^2 = a_1^2 + a_2^2$$

$$|B|^2 = b_1^2 + b_2^2$$

$$V_r = v_{r1} + jv_{r2}$$

$$V_r^* = v_{r1} - jv_{r2}$$

$$|V_r|^2 = v_{r1}^2 + v_{r2}^2$$

Olarak ifade edilirler. ekil 2.5'de gösterilen güç sisteminde kaynak geriliminin denklemi a a ıdaki ekilde ifade edilir.

$$V_s = AV_r + BI_r \quad (2.20)$$

S_r , P_r , Q_r güç sisteminin görünür, aktif ve reaktif güç de erlerini ifade etmektedirler. Güç denklemi a a ıdaki ekilde elde edilir [40].

$$S_r = P_r + jQ_r = V_r I_r^* \quad (2.21)$$

Bu denklemin kullanılması ile gerekli i lemler ve düzenlemeler yapıldı ında a a ıdaki denklem 2.22 elde edilmi tir. Yapılan ara i lemler Ek A'da verilmi tir.

$$|A|^2 \cdot |V_r|^4 + [2 \cdot P_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2) + 2 \cdot Q_r \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)] \cdot |V_r|^2 + |B|^2 \cdot (P_r^2 + Q_r^2) = 0 \quad (2.22)$$

Bu i lemler yapılırken güç katsayısı sabit oldu u kabul edildi inden

$$\cos \varphi = \frac{P_r}{S_r}$$

e itli i her zaman sabit kalmaktadır. Bir ba ka ifadeyle,

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q_r}{P_r} \text{ denkleminde,}$$

$Q_r = P_r \cdot \operatorname{tg} \varphi$ e itli i elde edilir.

Bu e itlik denklem 44 de yerine yazıldı ında, yük barası aktif güç ile gerilim genlik de eri arasındaki ili ki kurulmu olur.

$$|V_r|^4 = \left(|V_r|^2 \right)^2 \text{ dönü ümü yapıldı ında,}$$

$$|V_r|^2 = x \quad (2.23)$$

eklinde denklem 2.23 elde edilmi olur. Denklem 2.22'nin $ax^2 + bx + c = 0$ formatında ikinci dereceden bir denklem haline gelmesi sa lanacaktır. Bu ikinci dereceden denklemde a , b , c katsayıları,

$$a = |A|^2$$

$$b = [2.P_r.(a_1.b_1 + a_2.b_2) + 2.Q_r.(a_1.b_2 - a_2.b_1)]$$

$$c = |B|^2(P_r^2 + Q_r^2)$$

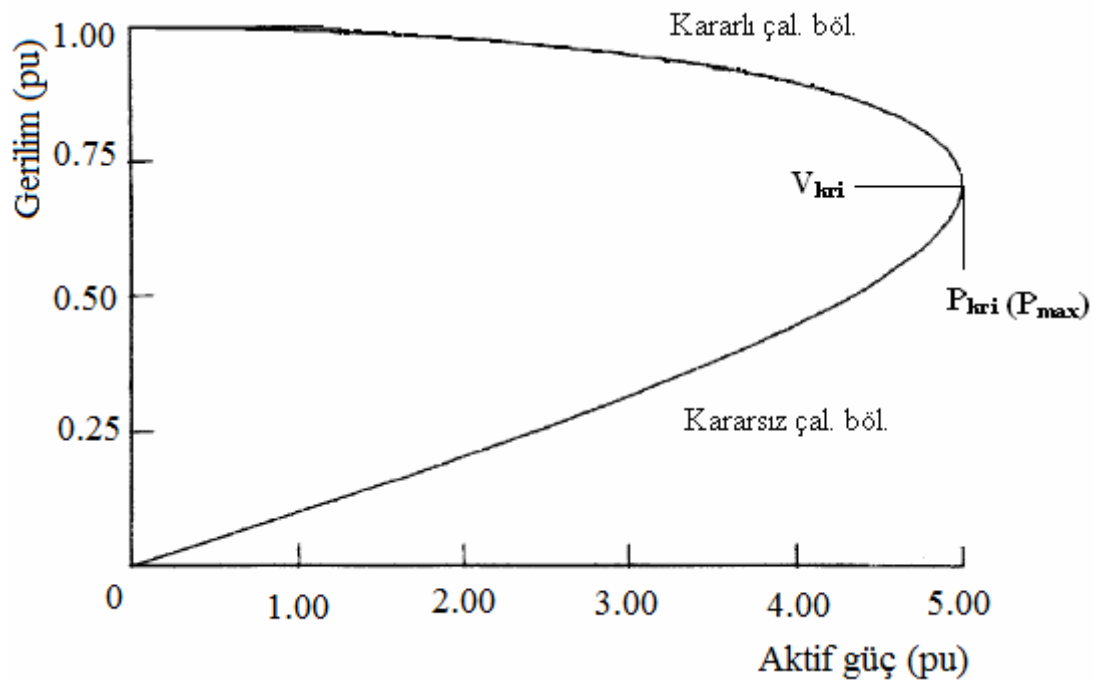
eklinde ifade edilirler. İkinci dereceden denklem bilinen diskriminant yöntemi ile çözüldüğünde denklemin kökleri aşağıdaki denklemlerle bulunur [7].

$$\Delta = b^2 - 4.a.c$$

$$V_{r1} = \sqrt{\frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2.a}} \quad (2.24)$$

$$V_{r2} = \sqrt{\frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2.a}} \quad (2.25)$$

Güç sisteminde yük barosunun aktif güç değişimi, düzenli olarak kademeli bir şekilde artırılması ile ikinci dereceli denklem her defasında çözümlenerek denklemin V_{r1} , V_{r2} kökleri hesaplanır. Bu değişimler eksenlerinden biri aktif güç değişimini, diğeri gerilim genlik değişimini gösteren bir grafiğe taşınması ile bir seri elde edilir. Bu seri P-V eğrisidir. Şekil 2.6'da bu P-V eğrisi ve kritik noktalar gösterilmiştir.

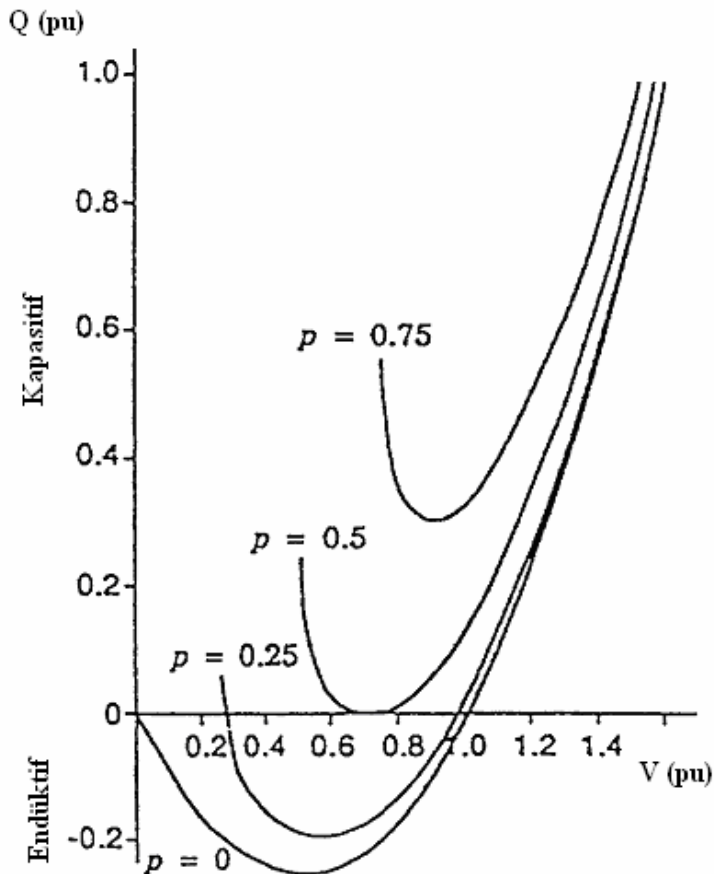


Şekil 2.6. P-V eğrisi ve kritik noktalar

Bu e ri üzerinden sistemin güç sisteminin kritik de erleri belirlenebilir. Yük barasının aktif gücü artırılırken V_{r1} , V_{r2} de erleri hesaplanır. $V_{r1}=V_{r2}$ durumu söz konusu oldu unda yük barasının çekebilece i en büyük aktif güç de eri bulunmu olur. Bu durumdaki gerilim genlik de eridir kritik gerilim de eri olarak ifade edilir.

2.5.3. Q-V e rileri

Q-V e rileri sistemdeki kritik baraya ait gerilimin aynı baranın reaktif gücüne göre de i imini gösterir. Baraya ait Q-V e risinin elde edilmesi için, belirli bir barada senkron kondansatör tanımlanır ve bu baranın reaktif güç limitleri olmayan gerilim kontrollü bir bara sayılır.



ekil 2.7. Q-V e risi ve i letme noktası

Gerilim kararlılığının reaktif güçle yakından ilişkisi olduğu bilinmektedir. Gerilim kararlılık sınırları da bu etkilerden doğrudan elde edilebilir.

2.5.4. Formül yöntemi ile kritik değerlerin belirlenmesi

Güç sistemleri yapı bakımından lineer olmayan karmaşık bir yapıda bulunurlar. Kritik değerlerin belirlenmesinde bazı durumlarda P-V eğrileri yetersiz kalmaktadır. P-V eğrilerinde kritik değerler, hat sonuna ilişkin 2.24 ve 2.25 denklemlerin ikisinin birden köklerinin eşit olduğu noktanın bulunması ile belirlenir. Bu noktadaki geriliminin veya bir başka ifadeyle türevinin sıfır olduğu noktaya denk gelir. Denklemleri matris formunda ifade ettiğimizde determinantın sıfır olduğu noktadır. Yük akışı esnasında bu noktada jakobiyen matrisinin determinantı da sıfırdır. Bu özellikten faydalanarak kritik değerler birer formülle ifade edilebilirler. Kritik değerlere doğrudan formülle ulaşırlar.

Kritik değerler belirlenirken öncelikli olarak iki baralı bir sistem için hat sabitleri kullanılarak, hat sonunda çekilen güçlere ait ifadelerin belirlenmesi gerekir. Ayrıntıları Ek B’de verilen ilem analizi aşağıda gerçekleştirilmiştir.

Hat parametrelerinin, denklem 2.20 ve 2.21’in kullanılması sonucu S_r ’nin reel kısmının P_r , imajiner kısmının da Q_r bilgisi aşağıda gerekli ara ilemler sonucunda yük barasının aktif ve reaktif güç denklemleri aşağıdaki şekilde elde edilirler [4,41].

$$P_r = \frac{V_s V_r (b_1 \cos \delta + b_2 \sin \delta) - (a_1 b_1 + a_2 b_2) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (2.26)$$

$$Q_r = \frac{-V_s V_r (b_1 \sin \delta + b_2 \cos \delta) - (a_1 b_2 + a_2 b_1) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (2.27)$$

Bu ifadeler yardımıyla iletim hattının yük tarafı için denge denklemleri olarak ifade edilen, jakobiyen denklemleri yazılabilir. Bu denklemler,

$$f_1(V_s, V_r, \delta) \quad (2.28)$$

$$f_2(V_s, V_r, \delta) \quad (2.29)$$

$$\Delta f_1 = \frac{\partial f_1}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f_1}{\partial V_r} \Delta V_r \quad (2.30)$$

$$\Delta f_2 = \frac{\partial f_2}{\partial \delta} \Delta \delta + \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \Delta V_r \quad (2.31)$$

2.30 ve 2.31 nolu denklemler matris ekinde ifade edilirler.

$$\begin{bmatrix} \Delta f_1 \\ \Delta f_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \delta} & \frac{\partial f_1}{\partial V_r} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \delta} & \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V_r \end{bmatrix} \quad \text{burada ortadaki ifade jakobiyen matristir.}$$

Burada kritik de erler, jakobiyen martinin determinantını sıfıra e itlenmesiyle bulunur.

$$\left(\frac{\partial f_1}{\partial \delta} \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \right) - \left(\frac{\partial f_1}{\partial V_r} \frac{\partial f_2}{\partial \delta} \right) = 0 \quad (2.32)$$

2.28-2.32 nolu denklemlerin tamamı birlikte dü ünüldü ünde;

$$V_s - 2.V_r.(a_1.\cos \delta + a_2.\sin \delta) = 0 \quad (2.33)$$

$$V_s = 2.V_r.(a_1.\cos \delta + a_2.\sin \delta) \quad (2.34)$$

Denklemi elde edilir. φ güç faktörü açısı olmak üzere, 2.26 ve 2.27 nolu denklemlerde 2.34 nolu denklem yerine yazılır, δ görülen yere de δ_{krit} yazıldıktan

sonra elde edilen yeni e itlikler, $tg \varphi = \frac{Q_r}{P_r}$ e itli inde yerine yazılır.

$$2.\cos^2 \delta - 1 = \cos 2\delta \quad (2.35)$$

$$1 - 2.\sin^2 \delta = \cos 2\delta \quad (2.36)$$

$$2.\cos \delta.\sin \delta = \sin 2\delta \quad (2.37)$$

Trigonometrik ifadeleri kullanıldıktan sonra,

$$K_1 = a_1.b_2 + a_2.b_1 - a_1.b_1.\tan \varphi + a_2.b_2.\tan \varphi \quad (2.38)$$

$$K_2 = a_1.b_1 - a_2.b_2 - a_1.b_2.\tan \varphi + a_2.b_1.\tan \varphi \quad (2.39)$$

Gerekli kısaltmalar ve ayrıntıları Ek B’de verilen ara i lemlerden sonra,

$$\delta_{krt} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{K_2}{K_1} \right) \quad (2.40)$$

denklemi ile kritik yük açısı belirlenmi olur. δ_{krt} ifadesi V_s denkleminde yerine konuldu unda, iki baralı sistem için hat sonundaki yük barasının kritik gerilim de eri belirlenmi olur.

$$V_{krt} = \frac{V_s}{2(a_1 \cdot \cos \delta_{krt} + a_2 \cdot \sin \delta_{krt})} \quad (2.41)$$

Elde elden δ_{krt} ve V_{krt} ifadeleri aktif güç denklemi P_r denkleminde yerine konuldu unda ve

$$K_3 = (b_1 \cdot \cos \delta_{krt} + b_2 \cdot \sin \delta_{krt}) \quad (2.42)$$

$$K_4 = (a_1 \cdot \cos \delta_{krt} + a_2 \cdot \sin \delta_{krt}) \quad (2.43)$$

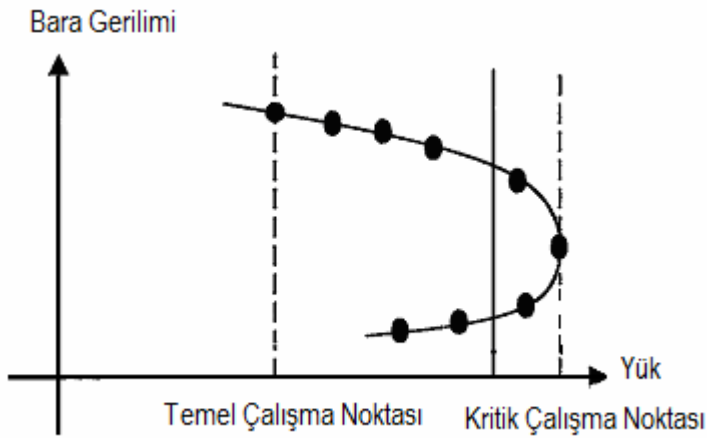
Kısaltmalar da dikkate alınarak 2.44 kritik aktif güç denklemi elde edilmi olur.

$$P_{krt} = \frac{V_s^2 [2K_3 K_4 - (a_1 b_1 + a_2 b_2)]}{(b_1^2 + b_2^2) 4K_4^2} \quad (2.44)$$

Böylece iki baralı bir sistem için gerilim kararlılı ı kritik de erleri δ_{krt} , V_{krt} , P_{krt} formül olarak belirlenmi olur [42,43].

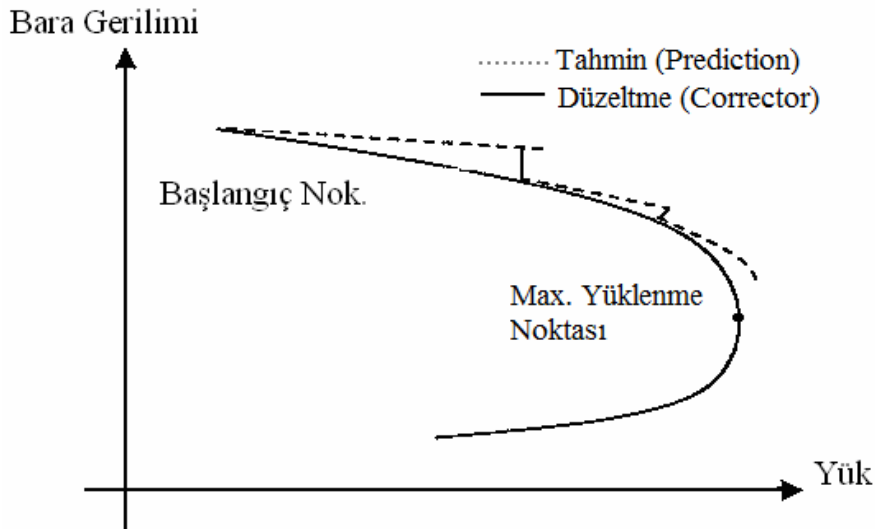
2.5.5. Sürekli yük akı ı analizi

Sürekli yük akı ında ekil 2.8’de gösterildi i gibi belirli i letme noktalarının belirlenmesi ile gerçekleştirilir. Bu i letme noktalarının olu turdu u bu dizi, sürekli yük akı ında çözümü olu turur. Burada çözüm, esas i letme durumundan ba lar, sistemin çökü noktası olan kritik i letme noktalarından geçerek dü ük gerilim bölgesine ula ır.



ekil 2.8 Sürekli Yük Akı ında İletme Noktalarının Belirlenmesi

Sürekli yük akı ı analizi tahmin ve düzeltme fonksiyonlarını iteratif olarak i leyen bir algoritmadır. Sürekli yük akı ı tekni inin arkasındaki temel prensip, tahmin düzeltme basama ı üzerine kurulmu tur. ekil 2.9'da da görüldü ü gibi tahmin basama ın, o anki çalı ma noktasında te et do rultusu boyunca gerçekleştirilir. Düzeltme vektörü olarak da te et do rultusuna dik bir düzlem kullanılmı tır [44]. Bu i lemler yapılırken yük de erinin sabit oldu u kabul edilir.



ekil 2.9. P-V e risi üzerinde tahmin ve düzeltme do ruları

2.5.6. L indisi

L indisi, gerilim kararsızlık sınırına olan yakınlık ve sistemin gerilim kararlılığı hakkında genel bir bilgi vermektedir [45]. L indisi ile doğrudan baraların kritik değerlerine ulaşamaz. Ancak yük baralarının, kritik değerlere ne kadar yaklaştığı hakkında bilgi verir. Bu indisin değeri 0–1 aralığında değişmektedir. Bu aralıkta sınır değerler olan 0, sistemin yüksüz olduğunu, 1 ise sistemin çökme eşiğini ifade etmektedirler. Verilen sistemde en büyük L indisi değerine sahip olan bara, o sistemin en kritik barası olarak belirlenir. Bu şekilde iyileştirilmenin hangi baraya yapılacağı da belirlenmiş olur [46, 47]. Burada $\sum L^2$ ise sistemin genel gerilimi veya kararlılığı hakkında bilgi verir.

L indisinin hesaplanmasında yük akışı sonucu elde edilen değerler kullanılır.

$$L_j = \left| 1 - \sum_{i=1}^{i=g} F_{ji} \left(\frac{V_i}{V_j} \right) \right| \quad (2.45)$$

Burada,

n : bara sayısını

g : generatör sayısını

j : $g+1, \dots, n$

F_{ji} 'nin değerleri Y bara admitans matrisinden aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\begin{bmatrix} I_G \\ I_L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{GG} & Y_{GL} \\ Y_{LG} & Y_{LL} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_G \\ V_L \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

I_G, I_L generatör ve yük baralarındaki akımları,

V_G, V_L generatör ve yük baralarındaki gerilimleri ifade etmektedirler. 2.46 nolu denklem yeniden düzenlenirse aşağıdaki eşitlik elde edilir.

$$\begin{bmatrix} V_L \\ I_G \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{LL} & F_{LG} \\ K_{GL} & Y_{GG} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_L \\ V_G \end{bmatrix} \quad (2.47)$$

2.7 eşitliğinde, F_{LG} aşağıdaki şekilde elde edilir.

$$F_{LG} = -[Y_{LL}]^{-1}[Y_{LG}] \quad (2.48)$$

Belirli bir yük durumunda her bir yük barası için L indis de erleri hesaplanır. j 'nci durum için L indis denklemleri aşağıdaki şekilde gösterilir.

$$L_j = \left| 1 - \sum_{i=1}^{i=g} F_{ji} \left(\frac{V_i}{V_j} \right) \angle \theta_{ji} + \delta_i - \delta_j \right| \quad (2.49)$$

2.5.7. Çatalla ma (Bifurcation) analizi

Çatalla ma teorisi güç sistemlerindeki açılabilir kararlılık ve gerilim kararlılığı gibi benzer sorunların analizinde çok kullanılan yöntemlerden biridir [48].

Herhangi lineer olmayan bir güç sisteminde sistem parametresinin değişimi ile sistem davranışında meydana gelen önemli değişimler çatalla ma olarak adlandırılır. Gerilim kararsızlığı veya çökmesi çalışması sırasında çatalla ma teoreminde olduğu gibi lineer olmayan analiz teknikleri kullanılır. Çatalla ma anı kararlılığı kaybolmuş olarak kabul edilir. Bu teoride güç sistemi değişkenlerinin çok yavaş değişimi ve güç sisteminde önceden belirlenen tahmini değerler ile sistemin kararsızlıkta çalışması kabul edilir. Denklemlerin değişkenleri sistemin çökme noktasına ulaşmaya kadar değişir. Gerilim azalması başlangıçta çok yavaşdır, azalmanın hızlandığı an çatalla manın ve kararlılığı kaybolma anıdır. Çatalla ma noktasının olduğu yer kararlılıktan kararsızlığa geçişin olması kaosa sebep olur. Bu nokta gerilim kararlılığı çalışmalarında önemli noktadır [49]. Çözümlerde genellikle sadece talep yük değişimi ile çatalla ma veya kritik durum noktası elde edilir. Bu nokta jakobiyen matrisin tekil çözüm verdiği noktadır. Bu noktada özdeğerler matrisinin (eigenvalues) determinantı sıfır olmak zorundadır. Kritik durum noktası kararlılık veya kararsızlık arasında sınır bir noktadır. Çatalla ma parametreleri genellikle yük gerilimi ve açı değeridir. Yük kademe kademe artırılarak her bir durum için sistemin kararlı veya kararsız olmasının incelenmesi yapılır [17].

Diferansiyel denklem ile ifade edilen bir güç sisteminin ele alındığında;

$$\dot{x} = F(x, \mu) \quad (2.50)$$

Burada x , n boyutlu bir durum vektörü, μ ise zamanla değişen sistem parametresidir. μ değiştikçe durum vektörü x ve onun Jacobiyen matrisi $\frac{dF}{dx}$ in

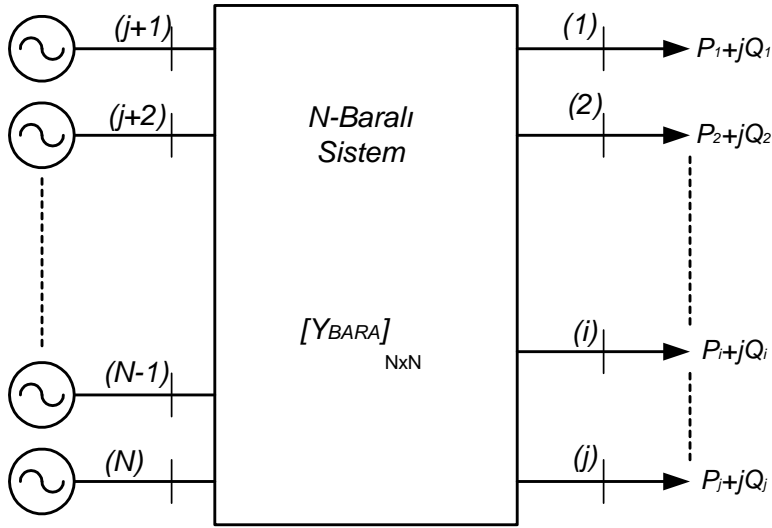
özdeğerleri değişir. Denge noktasında x sıfır olur.

$$x = F(x, \mu) = 0 \quad (2.51)$$

Çatalla μ değiştikçe $x(\mu)$ çözümlerinin nasıl çatallaştığı ile ilgilenir. Çatallamanın olduğu noktadaki parametre değerlerine çatalla μ değerleri denir. Denklem 2.51'de, x denge noktasının pozisyonunu μ nun bir fonksiyonu olarak gösterilir [50].

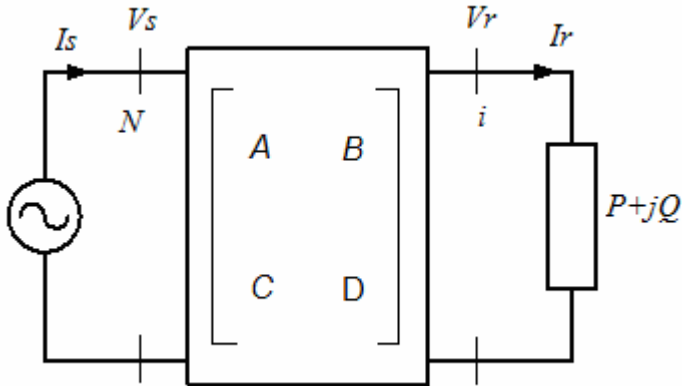
2.5.8. Bara indirgeme yöntemi

Bara indirgeme yönteminde, sistemin herhangi bir yük durumu için, generatörlerin reaktif güç sınırları da göz önüne alınır, ayrık yük akışı yapılarak tüm baraların gerilim ve güç değerleri belirlenir. Bu gerilim ve güçler kullanılarak, salınım barası ve gerilim kararlılığı açısından incelenecek baranın dışındaki tüm baralardaki değerler e de e r admitanslara dönüştürülerek uygun yön ve işaretleriyle bara admitans matrisi içerisine katılırlar. Daha sonra ekil 2.10'da verilen $[n \times n]$ boyutundaki bara admitans matrisi $[2 \times 2]$ 'lik matrise indirgenerek, sistemin ilgilenilen yük barası ile salınım barası arasındaki e de e ri belirlenmi olur. Bu şekilde elde edilen indirgenmiş sistemin, iki baralı sistem için belirtilen e itliklerle kritik değerleri hesaplanır [4].



ekil 2.10. N baralı örnek bir sistem

ekil 2.10'da verilen N baralı sistem bara indirgeme yöntemi ile ekil 2.11'de verilen iki kapılı bir sisteme indirgenerek kritik bara de erleri do rudan formüllerle hesaplanabilir.



ekil 2.11. ndirgenmi iki baralı sistem

2.5.9. Bilgisayar simülasyon programları ile analiz

Bilgisayarların geli imine ba lı olarak her alanda oldu u gibi güç sistemleri alanında da çe itli simülasyon programları üretilmi tir. Burada çok kullanılan ve bu çalı ma

sırasında elde edilen sonuçların teyit edilmesi bakımından faydalanılan programlardan bazıları sunulacaktır.

Power World programı bir eilde yük akı ı çözümleri yapabilmektedir. Bu simülatör tek ba ına oldukça ba arılı güç akı ı analizlerini çözümlayebilmektedir. Sistem modelleri de i tirilebilmekte, sıfırdan yeni sistemler, grafik editörü kullanılarak dizayn edilebilmektedir. Simülatörün kapsamlı kullanımı ile sistemin karakteristi i, problemleri ve bunların kısıtlamaları ve hem de bunların nasıl giderilece i anla ılır. Simülatör, sistemin zaman içindeki geli imine uygun bir ortam sa lar. Yük, generatör ve zaman içinde de i en programlar için çözüm olabilir ve zaman içindeki güç sistemindeki de i iklikler görünebilir [51]. Güç sisteminde yapılan analiz sonrasında her baraya ait tüm veriler elde edilebilmekte, ayrıca güç akı yönleri de görsel olarak belirlenebilmektedir. Program, P-V e rileri çizebildi i gibi datalar girildi inde optimal yük akı ı, ekonomik yük da ıtımını da yapabilmektedir.

MatPower Toolbox Matlab'ın Güç Sistem Simülasyon çözüm paketidir. Program sayesinde, güç akı ı ve optimal güç akı ı problemlerini Matlab'ın "m file" dosyaları ile çözümlür. Bu program e itimciler ve ara tırmacılar için simülasyon aracı olarak tasarlanmı tır. MATPOWER en iyi performansı vermesi için, kodları basit, anla ılır, de i tirilebilir olacak ekilde tasarlanmı tır [52].

Power System Analysis Toolbox (PSAT) elektrik güç sistemleri analizi ve benzetimini yapan ve birçok i letim sisteminde çalı an bir matlab uygulamasıdır. Tüm i lemler grafik arabirimi (GUI) ile görsel bir ekilde uygulanabilirken ayrıca simulink tabanlı kütüphane uygulamaları da sistem tasarımı için kolay kullanım imkânı sa lamaktadır. Bu programın yapabildi i ana i ler, yük akı ı, sürekli yük akı ı, optimal yük akı ı, küçük i aret kararlılık analizi, zaman domeni benzetimi, fazör ölçüm birimi yerle imi (PMU), FACTS modelleri, rüzgar türbin modelleri bir ara yüz ile sunmasıdır. Bu programın geli tirilmesi ve kullanım kısıtlamaları olmaması, açık kaynak kodlarına ula ım imkânının olması ve bu nedenle e itim ve ara tırmaya açık olması son yıllarda kullanımını oldukça arttırmı tır [53, 54].

BÖLÜM 3. OPTİMİZASYON VE SEZGİSEL ALGORİTMALAR

3.1. Giriş

Verilen şartlar altında bir problemin en iyi değerinin elde edilmesini optimize etmek denir. Bir başka ifadeyle ise, $f(x)$ fonksiyonunun en büyük veya en küçük değerini, verilen şartları da sağlayarak elde etmektir. Oluşturulan bu probleme optimize etme problemi denir. Optimize etme problemleri temel olarak iki ana gruba ayrılır. Bunlar sürekli optimize etme ve ayrık optimize etmedir. Sürekli optimize etmede karar değişkenleri arama uzayında herhangi bir değer alabilirler. Ancak ayrık optimize etmede karar değişkenleri arama uzayında önceden tanımlanmış değerler alabilirler [55]. Bir optimize etme probleminin çözümünde dört temel bileşen göz önüne alınmalıdır [56].

1. Amaç fonksiyonu: En uygun değer aranan fonksiyon olarak tanımlanır. Bu imalat veya üretimde karın maksimum, maliyetin minimum istenmesi gibi ifade edilebilir. Bu çalışmada ise güç sisteminin yük barasından çekilebilecek maksimum güç ve bu esnada ortaya çıkacak olan minimum gerilimdir.

2. Değişkenler: Değişkenler aslında değerleri bilinmeyen parametrelerdir. Amaç fonksiyonun değerini belirleyen parametrelerdir. Bu çalışmada değişken olarak değer bilinmeyen bara gerilimlerinin genlik değerleri ve açıları birer değişken olarak alınmıştır.

3. Kısıtlar: Amaç fonksiyonu minimum veya maksimum değer alırken değişkenler veya bilinmeyen parametreler belli değerler arasında olur. Bunlar değişken kısıtları olarak ifade edilirler. Bu çalışmada bara gerilimlerinin genlik değerleri ve açı değerleri belli değerler arasında alınmıştır.

Bir ba ka kısıt ise, de i ken kısıtları belli de erleri almı olsa bile ba ka bir kısıt fonksiyonunu da yerine getirme artı aranır. Bu çalı mada, yükün güç katsayısının sabit kalmasını sa layan denklem ve baraların aktif ve reaktif güç denge ko ulları sa layan denge denklemleri kısıt fonksiyonu olarak alınmı lardır.

4. Ceza fonksiyonu: Bu fonksiyon, elde edilen de erlerin kısıt fonksiyonunda kısıt de erlerini a ması durumunda devreye girerek amaç fonksiyonunu cezalandırır. Bu durumda amaç fonksiyonu optimal de erlerden uzakla tılarak, amaç fonksiyonunun gerçekle mesi engellenir. Bu çalı mada çe itli ceza fonksiyonları kullanılarak maksimum veya minimum çözümler aranmı tır. Böylece amaç fonksiyonu sadece öngörülen artlar sa landı ı takdirde, en uygun de erine ula ır.

Gerçek hayatta kar ıla ılan problemlerin bir kısmı matematiksel formüllerle çözümlenemeyecek kadar karma ıktır [57]. Böyle problemlerin çözümünde istenen sonuç elde edilemeyebilir. Bu tip modellenemeyen, do rusal ve do rusal olmayan problemlerin çözümünde Heuristic yöntemler kullanılabilir. Heuristic yöntemler olarak bilinen bu algoritmalar, Türkçe literatüre “Sezgisel Yöntemler, Do a Esintili Hesaplamalar, Bulu sal Algoritmalar, Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları” gibi isimlerle girmi lerdir. Bu çalı mada Sezgisel Algoritmalar deyimi kullanılmı tır ve bu yöntemler genellikle tabiatta olan bir olayı kopyalayarak problem çözümünü belli bir algoritma ile gerçekle tirirler. Sezgisel algoritmalar her çe it probleme kolayca adapte edilebilmeleri bakımından son yıllarda oldukça geni bir kullanım alanı bulmu lardır. Ayrıca sezgisel algoritmaların önemli avantajlarından birisi de esnekli idir. Bu esneklik sayesinde gerçek bir ya am problemi çok daha do ru olarak temsil edilebilir [55].

Yo un olarak kullanılan sezgisel algoritmalarından bazıları;

1. Genetik Algoritma (Genetik Algorithm)
2. Tavlama Benzetimi (Simulated Annealing)
3. Tabu Arama (Tabu Search)
4. Parçacık Sürü Opimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
5. Karınca Koloni (Ant Colony)
6. Arı (ABC) Koloni (Artificial Bee Colony)

Sezgisel algoritmalar; optimal çözümleri garanti etmemeleri, durmaları gereken zamanı bilmemeleri, algoritmanın zafiyeti olarak gösterilmektedir [58].

Sezgisel algoritmalar elektrik güç sistemlerinin çetli alanlarına uygulanmaktadır [59–74]. Bu algoritmaların literatürde çok rastlanan çözüm alanları ifade edilmek istenirse a a ıda Tablo 1’de gösterilmiştir [75, 76].

Tablo.3.1. Sezgisel Algoritmaların Uygulama Alanları

TABU ARAMA - GENETİK ALGORİTMA TAVLAMA BENZETİMİ	<p><u>Çizelgeleme</u> Üretim çizelgeleri Güç Planlamaları Sınıf Çizelgeleri Makine Çizelgeleri Çizelgeleri</p> <p><u>Telekomünikasyon</u> Arama Rotası problemleri Yol Atama problemleri Servis için network tasarımı Mü teri hesap planlaması</p> <p><u>Tasarım</u> Bilgisayar destekli tasarım Ta ımacılık a ı tasarımı Mimari alan planlaması</p> <p><u>Üretim ve Finans</u> malat problemleri MRP kapasiteleri Üretim bölümü seçimi Üretim planlaması Maliyet hesaplamaları Borsa tahminleri</p> <p><u>Yer tesbiti ve Da ıtım</u> Çoklu ticaret problemleri Ticaret da ıtım planlaması Petrol ve maden ara ırmaları</p>	<p><u>Mantık ve yapay zeka</u> Maksimum memnuniyet problemleri Olasılık mantı ı Kümelendirme Model sınıflandırması ve belirlenmesi Veri depolama problemleri</p> <p><u>Grafik optimizasyonu</u> Grafik bölümlendirme problemleri Grafik renkleri problemleri Grafik seçme problemleri P-Median Problemleri Görüntü i leme problemleri</p> <p><u>Teknoloji</u> Sismik teknoloji problemleri Elektrik güç da ıtımı problemleri Mühendislik yapı tasarımı Robot hareketleri</p> <p><u>Genel Kombinatoryal Optimizasyon Problemleri</u> 0-1 programlama problemleri Kısmi ve çoklu optimizasyon Nonlinear programlama “All-or-None” Networks Genel optimizasyon</p> <p><u>Rota</u> Araç rotası problemleri Ula ım rotaları problemleri Gezgin satıcı problemleri Bilgisayar a ları Hava yolu rotası problemleri</p>
---	---	--

3.2. Genetik Algoritma

3.2.1. Genel yapısı

Genetik algoritma mantığı, en iyi olanı ya da en uygununu dayalı olarak Darwin'in evrim teorisi düşüncesini temel almıştır. İlk defa 1975 yılında Michigan Üniversitesi'nden Prof. John Holland tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntemin yaygın olarak kullanılmaya başlanması ise Illinois Üniversitesi'nden Prof. David Goldberg sayesinde olmuştur [77]. 1992 yılında John Koza genetik algoritmayı kullanarak çeşitli görevleri yerine getiren programlar geliştirdi ve bu metoda genetik programlama adını verdi.

Genetik algoritma biyolojik evrim mekanizmasını esas kabul eden bir arama algoritmasıdır. Genetik Algoritma karmaşık fonksiyonlar için optimizasyon çözümü sağlar [78]. Geleneksel optimizasyon yöntemleri için çok zor olarak kabul edilen çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [79]. Genetik algoritma bir veri grubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır. Bu özelliğiyle ideal bir optimizasyon metodudur. Evrim Teorisi ile kabul edilen en iyinin ya da en uygununun seçilmesi ve zayıf olanın elenmesi kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler üretir. Kötü olan çözümler ise elenir [80].

Genetik algoritma rastgele oluşturulan ve birçok çözüm takımının içinde bulunduğu, popülasyon adı verilen gen havuzu ile çalışmaya başlar. Her bir dejenen bir kromozom denir. Kromozomlar genlerin kombinasyonudur ve fonksiyonun değişkenlerinin tamamını bünyesinde bulunduran bireyleri oluştururlar. Fonksiyonun tüm değişkenlerinin yan yana sıralanmasıyla birey oluşturulur. Birey popülasyonun bir satırıdır. Bireyler topluluğu popülasyonu oluştururlar. Dejenenler dejenen ikili koddaki kodlanırlar. En yaygın olanı ikili sayı sistemi olarak bilinen binary sayı sistemi ile kodlanmasıdır. Bu sistemde kromozomlar 0 ve 1 genlerinin kombinasyonlarından oluşurlar. Popülasyonun devamı biyolojik kurallara bağlıdır.

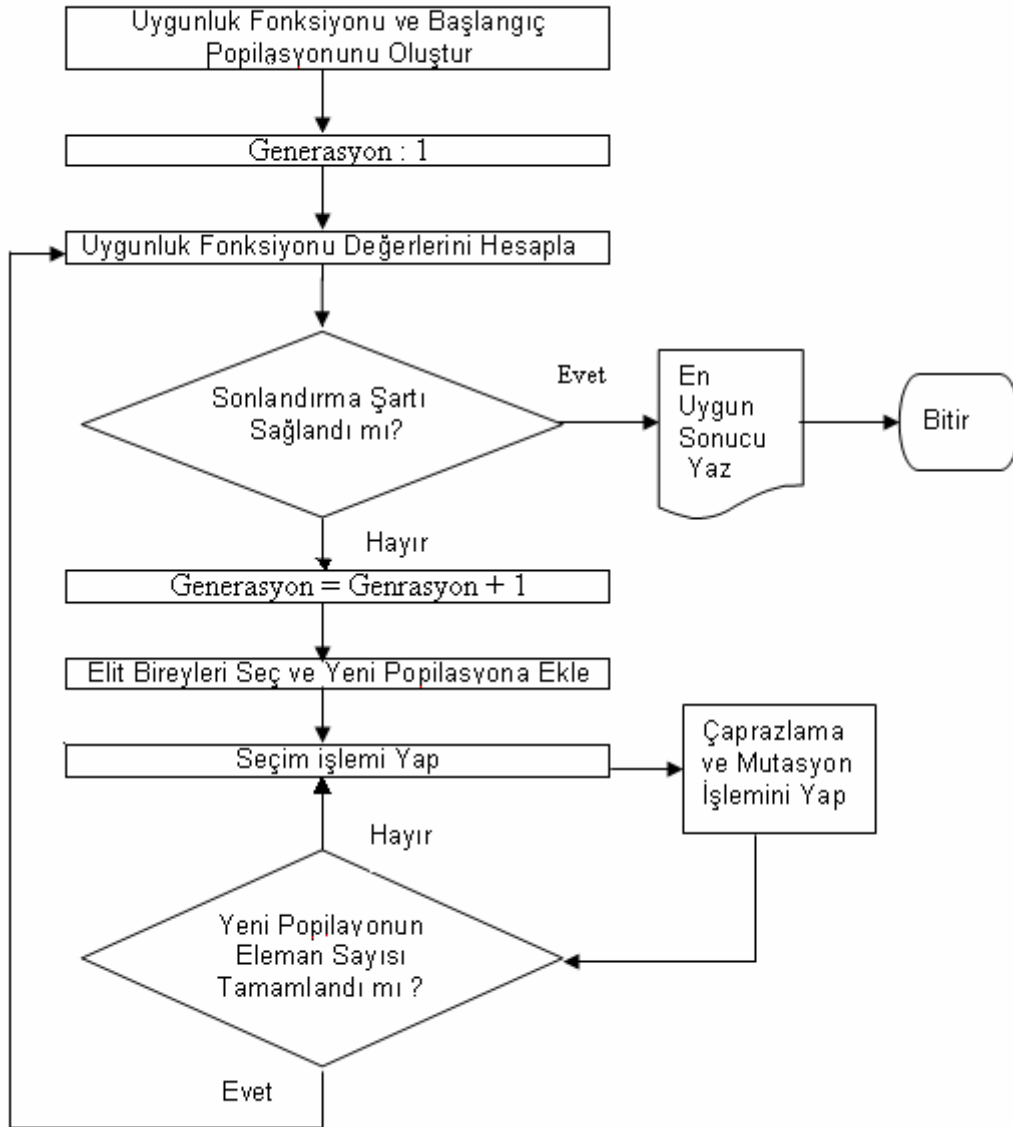
Popülasyonun her bir bireyi için uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Kromozomlardan başlı olanlar, yani uygunluk fonksiyonu değerleri aranan

kriterlere yakın olanlar bir seçim yöntemi ile seçilirler. Aranılan kriterlerden çok uzak olanlar ise elenirler. Neslin devamı bir sonraki generasyondaki ba arılı bireyler arasında gerçekleşir. Ba arılı bireyler ebeveyn olarak kabul edilmek sureti ile aralarında üreme meydana getirilir. Bu olaya genetik algoritmada çaprazlama denir. Çaprazlama ebeveynlerin bazı genlerini yeni bireyler üzerine kopyalamaları ile sonuçlanır. Çaprazlama (üreme) sonucunda yeni bireyler elde edilir. Yeni bireylerin ebeveynlerinin kopyası olması olasılığını önlemek için bu bireyler mutasyona uğratılır. Mutasyon ile rast gele bazı genler de i ikli e u rar, örneğin 0 ise 1 veya 1 ise 0 olurlar. Algoritmada mutasyon oranını yani de i ikli e u rama oranını program tasarlama kısmı belirler.

Sonuçta ba arılı bireylerin genlerini alt nesillere aktarılır iken, zayıf olan bireylerin genleri ise zamanla yok olur. Yeni nesiller oluştuğunda gen havuzunun da kalitesi gittikçe artar. İlk ba arılı bireyler havuz içinde bir çok ba arısız birey bulunmasına karşılık jenerasyon ilerledikçe havuzun ço unlu unu ba arılı bireyler oluşturur. En sonunda tüm bireyler aranılan ideal bireye dönüşür. Bu taktirde optimizasyon sonuçlandırılır [77]. Genetik algoritma çalışması sırasında programın sonlandırma kriteri olarak jenerasyon sayısı, programın çalışma süresi veya belirli bir sürede sürekli aynı sonuçların elde edilmesi olarak belirlenebilir.

3.2.2 Genetik algoritmanın amaçları

Genetik algoritmanın genel çalışma mantığı akış diyagramı olarak ekil 3.1’de verilmektedir [81]. Genetik Algoritmanın adımları sırası ile genel olarak aşağıda açıklanmaktadır.



ekil 3.1. Genetik algoritmanın i leyi a amaları

Çözümü aranan problemde herhangi bir kısıtlayıcı bir fonksiyon denkleminin bulunmaması durumunda optimizasyonu yapılmak istenen fonksiyon için uygunluk fonksiyonu denklem 3.1 ile ifade edilmektedir.

3.2.2.1. Uygunluk fonksiyonunun olu turulması

Kısıtlı optimizasyon problemlerinde ceza fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır [82]. Genetik algortmada uygunluk fonksiyonu amaç fonksiyonu ve ceza fonksiyonunun toplamı veya farkıdır. Maksimizasyon problemlerinde farkı

minimizasyon problemlerinde toplamı olarak alınır. Eğer problemde kısıtlayıcı bir sebep bulunmuyor ise bu durumda amaç fonksiyonu uygunluk fonksiyonu olarak da ifade edilebilir. Amaç fonksiyonuna bir K katsayısı eklenir bu sayı fonksiyonun negatif değer almasına engel olacak şekilde yeterince büyük seçilen sayıdır. Optimizasyon sona erdiği anda bu eklenen sayı sonuçtan çıkartılarak gerçek sonuç bulunur.

Kısıtsız bir problemde uygunluk fonksiyonu,

$$UF = K + AF(X_1, X_2, \dots) \quad (3.1)$$

Olarak ifade edilir. Bu denklemde

$AF(X_1, X_2, \dots)$:optimizasyonu yapılacak amaç fonksiyonu

X_1, X_2, \dots :fonksiyonun değişkenleri

UF :uygunluk fonksiyonu

K :uygunluk fonksiyonunun negatif olmamasını sağlayacak yeterince büyük bir sabit sayı

Genetik algoritma kısıtsız bir optimizasyon yöntemi olarak çalışır. Bunun için kısıtlı optimizasyon problemi, kısıtların ihlal edilmesi durumunda amaç fonksiyonu, ceza fonksiyonu ile cezalandırılıp kısıtsız optimizasyon durumuna getirilir. Böylece amaç fonksiyonu değişkenleri belirli sınırlar içinde tutulmuş olur [83, 84].

Optimizasyon probleminde ya da kısıtlayıcı denklem veya denklemler bulunuyor ise bu durumda en yaygın olarak ceza (penalty) fonksiyonu yöntemi kullanılır. Bu yöntemde kısıt fonksiyonları her biri birer ceza katsayıları ile çarpıldıktan sonra toplanarak optimizasyonu yapılmak istenen fonksiyona artı veya eksi yönde etki yaptırılırlar. Denklem 3.2'de görüldüğü gibi ceza fonksiyonunun işareti, fonksiyonun en büyük değeri aranıyor ise negatif, en küçük değeri aranıyor ise pozitiftir [84, 85].

Bu durumdaki bir uygunluk fonksiyonu,

$$UF = K + AF(X_1, X_2, \dots) \mp P \quad (3.2)$$

olarak ifade edilir. Bu denklemde belirtilen ceza fonksiyonunun açık ifadesi,

$$P = \sum_{i=1}^n r_i * KF_i(X_1, X_2, \dots)^2 \quad (3.3)$$

olarak yazılır. Bu denklemde,

P :Ceza Fonksiyonu

$KF_i(X_1, X_2, \dots)$:i'ninci kısıt fonksiyonu

r_i :i'ninci kısıt fonksiyonu ceza katsayısı, ifadelerini sembolize etmektedirler.

3.2.2.2. Ba langıç popilasyonunun olu turulması

Ba langıç popilasyonu, çözüme ba layabilmek için ba langıçta rast gele olu turulan ve içerisinde problemin de i kenlerinin kodlarını bulunduran bir gen havuzudur. Genler kullanılan yöntemle ba lı olarak de i ik karakterler ile sembolize edilebilirler. En yaygın olarak genlerin kodlanması için ikili sayı sistemi elemanları olan 0 ve 1 rakamları kullanılır [86, 87].

Bu gen havuzunun büyüklü ü optimizasyon çözümü aranan, uygunluk fonksiyonunun de i ken sayısına, de i kenlerin de i im aralı na ve de i im aralı nda öngörülen eleman sayısına ba lıdır. Gen havuzunun her bir satırına popilasyon adımı denir. Bir popilasyon adımı birey olarak da ifade edilir. Bir popilasyon adımı her bir de i kenin genler ile kodlanması sonucu meydana gelen kromozomlardan olu ur. De i kenlerin kodlanmaları ile bireyin olu masına örnek Tablo 3.2'de verilmektedir.

Tablo 3.2. De i kenlerin kodlanması ile bireyin elde edilmesi

De i kenler	
X ₁	X ₂
1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1	0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0
Birey	
1 1 1 0 1 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 1 0 0 1 0 1 0 0	

Geleneksel optimizasyon yöntemlerinde çözümün aranmasına bir ba langıç noktası ile ba lanır. Bu nokta iyi tahmin edilemez ise çözüme ula mak için çok fazla süre

harcanır ve çok fazla işlem yapılır. Genetik algoritmada ise çözüme popülasyon sayısı kadar çözüm balığı ile başlanır. Bu çözümler sonuca ulaşmak için tatmin edici gelmezse bu durumda bir sonraki generasyona geçilir. Her jenerasyonda popülasyon sayısı kadar çözüm elde edilir

Genetik Algoritmada, de i kenler ikili sayı sistemi ile kodlanarak balığı popülasyonu oluşturulmak istendiğinde, her bir de i kenin bit (gen) sayısı, aşağıdaki denklem ile elde edilir.

$$2^{\ell n} \geq \frac{X_{n \text{ üst}} - X_{n \text{ alt}}}{\varepsilon} - 1 \quad (3.4)$$

Bu denklemde

ℓn : n'inci de i kenin bit sayısı

$X_{n \text{ üst}}$: n'inci de i kenin üst sınır değeri

$X_{n \text{ alt}}$: n'inci de i kenin alt sınır değeri

ε : de i kenlerin artım aralığı

değerlerini ifade etmektedir. Denklem 3.4'ün kullanılması ile her bir de i kenin gen sayısını bulunabilir. Popülasyon sayısı ise,

$$PS \geq 1.65 * 2^{0.21 * \ell} \quad (3.5)$$

formülü ile hesaplanır [88]. Bu denklemde,

PS : popülasyondaki toplam birey sayısı (popülasyon sayısı)

ℓ : Bir bireyin toplam bit (gen) sayısı

değerini ifade etmektedir. Genel olarak mutasyon oranı ise,

$$\frac{1}{P.S.} \leq M.O. \leq \frac{1}{\ell} \quad (3.6)$$

Denklemler ile belirlenir. Burada,

M.O. : Mutasyon oranı değerini ifade eder.

Tablo 3.3'de görüldüğü gibi genleri 0 ve 1 bitlerinden oluşan de i kenlerin bir araya gelmesi ile bireyler oluşmaktadır. Örnek olarak popülasyon sayısı yedi olduğundan yedi tane bireyin rast gele oluşması sonucunda elemanları 0 ve 1 olan 7x9 boyutunda bir gen havuzu olan, balığı popülasyonu (balığı gen havuzu) oluşturulmuştur.

Tablo 3.3. Yedi bireye sahip popilasyon (gen havuzu)

Birey No	DE KENLER								
	X_1					X_2			
1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
2	1	1	0	1	0	1	0	1	1
3	1	0	0	1	0	1	1	1	0
4	1	0	1	0	1	1	0	0	0
5	1	0	1	1	0	1	0	1	0
6	0	0	1	1	1	0	0	0	0
7	0	0	1	1	0	0	1	1	1

3.2.2.3. Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması

Fonksiyonun de i kenlerini ifade eden popilasyonun her bir satırına birey adı verilir. Bilgisayar programı yardımı ile her bireyi olu turan de i kenlerin kodları ikilik sayı sisteminden onluk sayı sistemine çevrilir ve uygunluk fonksiyonu denkleminde yerine yazılır böylece uygunluk fonksiyonunun de eri hesaplanır. Ba langıç popilasyonundaki genler kullanılarak hesaplanan uygunluk fonksiyonu de erlerinin birbirlerinden çok farklı olmaları do aldır. Bu durumda uygunluk fonksiyonu de erleri içinde istenilene yakın olanlar yani ba arılı olan popilasyon adımları seçilmek sureti ile ba arılı bireyler arasından yeni bir nesil olu turmak istenecektir. Yeni nesil olu turulurken evrim teorisindeki seçim, çaprazlama, mutasyon gibi etkiler kullanılacaktır. Sonuçta yeni bir popilasyon (gen havuzu) olu turulacak ve uygunluk fonksiyonu de erleri yeniden hesaplanacaktır. stenilen sonuca ula ılıncaya kadar bu döngü tekrar edilecektir.

3.2.2.4. Genetik algoritma operatörleri

Genetik algoritmada jenerasyon sayısı kadar popilasyon olu turulur. Her yeni popilasyon bir önceki popilasyonun bireylerinin kullanılması ile olu turulur. Popilasyonun hesaplanan uygunluk fonksiyonu de erleri dikkate alınarak, genetik algoritma operatörleri olan elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon i lemleri neticesinde yeni bir popilasyon olu turulur [89].

Elitizm: Genetik algoritma ile maksimizasyon optimizasyonu yapıldığında en iyi veya en uygun birey, uygunluk fonksiyonu değeri en büyük olan birey demektir. Minimizasyon optimizasyonu yapıldığında ise en iyi veya en uygun birey uygunluk fonksiyonu değeri en küçük olan bireydir.

Elitizm operatörünün kullanılmasıyla popülasyon içinden en iyi uygunluk fonksiyonu değerine sahip olan popülasyon adımının veya adımlarının (birey veya bireylerinin) bir sonraki popülasyon içinde yer almasını garanti etmek amacıyla bu değerler belirlenir ve kaydedilir [90–92]. Yeni oluşturulan popülasyonun içine ilk elemanı veya elemanları olarak kopyalanırlar. Böylece en iyi uyumluluğa sahip olan birey veya bireyler bir sonraki jenerasyonda ya da aynı sürdürülebilmeleri garanti edilmiş olur [93]. Seçilen elit bireyler, daha iyi bir birey oluşturulamaz ise her jenerasyonda tekrar seçilirler. Daha iyi bir birey oluşturulduğunda ise elit bireyler bu yeni bireyler ile yer değiştirirler [89, 94].

Seçim: Uygunluk fonksiyonunu değerlerine göre yeni nesil oluşturulacak uygun ailelerin (ebeveyn çiftlerinin) seçilmesi işlemine genetik algoritmanın seçim operatörü denir. Seçimdeki amaç belirli bireylerin ya da amlarını sürdürülebilmelerini temin etmek için bunlardan oluşturulmasını sağlamak bazıları ise elenmesine imkan vermektir. Seçim için birçok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilinenler, rulet çarkı seçimi (roulette wheel selection), turnuva seçimi (tournament selection), sıralama seçimi (rank selection) gibi seçim yöntemleridir [95]. Bu yöntemlerin hepsinde seçim, uygunluk fonksiyonu değerine bağlı olarak farklı çözüm metodları ile yapılır.

Çaprazlama: Çaprazlama yöntemi ebeveynlerinin özelliklerini taşıyan bireyleri oluşturmayı amaçlayan bir yöntemdir. Bu yöntem gen takası yöntemi de denir. Ebeveynlerin bazı genleri yeni çocuk adı verilen bireylere kopyalanır. Genetik algorithmada çaprazlama oranı çaprazlamanın hangi sıklıkla yapılacağını gösterir. Çaprazlama oranı % 0 ise çaprazlama işlemi olmaz, yeni bireyler ebeveynlerinin kopyası olur. Bu durumda genetik algoritmanın daha iyi sonuçlar bulma ihtimali olmaz. Çaprazlama oranı % 100 ise yeni nesil tamamen çaprazlama sonucu elde edilir. Yeni nesil ebeveynlerinden farklı bir nesildir. Çaprazlamada amaç gen

havuzundaki bireylerden genlerini de i tirerek de i ik bireyler elde ederek daha iyi bireylerin olu masına olanak sa lamaktır.

Tablo 3.4’de görüldü ü gibi çaprazlama oranı % 50 oldu undan, ebeveynlerin be inci genden (bitten) sonra yer alan genler kar ılıklı olarak yer de i tirerek çocuklar meydana gelmektedir. Bu çocuklar mutasyona u radıktan sonra yeni popilasyonun bireyleri olacaklardır.

Tablo3.4. Çaprazlama örne i

Ebeveyn 1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
Ebeveyn 2	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0
Çocuk 1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
Çocuk 2	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1

Mutasyon: Bu yöntemin amacı, seçim ve çaprazlama i lemi gerçekte tikten sonra popilasyon adımlarındaki genlerin bir veya birkaçının de i tirilmesi i lemidir.

Mutasyon i lemi tamamen rast gele yapılır. Mutasyon gerçekte mez ise seçim ve çaprazlama sonucu popilasyonda bulunan bazı iyi özellikler zamanla kaybolabilir veya bir süre sonra üretilen çocuklar ebeveynlerinin kopyası olabilirler [96]. Bunun sonucunda yeni bireylerin üretilmesi durabilir.

Mutasyona u rayacak gen sayısı mutasyon oranına ba lıdır. Mutasyon oranı % 100 ise seçim ve çaprazlama ile olu an yeni neslin tüm genleri tamamen de i ir. Bu oranın %1 ile %5 arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. %1 seçilir ise gen havuzunda bulunan toplam gen sayısının % 1’i rast gele de i ecektir. kilik sayı sistemi ile kodlama yapıldı nda de i tirme i lemi 0 olan genin 1 ve 1 olan genin ise 0 olması ekinde gerçekte tirilmesidir [97]. Mutasyon i lemine örnek a a ıda verilmektedir.

Mutasyondan önce,

Çocuk 1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Mutasyondan sonra,

Birey 1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3.2.3. Genetik algoritmanın sonlandırma artları

Her generasyon için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerlerine göre genetik algoritma operatörlerinin kullanımı ile yeni bir popülasyon elde edilir. Bunun anlamı her generasyonda popülasyonun birey sayısı kadar çözüm elde edilmesidir. Olabilecek en iyi çözüm bulunduğunda daha iyi bir çözüm olmadıkça generasyon sayısı kaç seçilir ise seçilsin genetik algoritma artık sürekli aynı çözümleri verir. Bu özellik algoritmanın sonlandırma artı olarak generasyon sayısı seçilmesinde kullanılır. Algoritma birkaç defa belirli generasyon sayılarında çalıştırılır ve buna göre gerekli generasyon sayısı belirlenir. Başlangıçta belli bir generasyon sayısı seçilir bu sayıya ulaşıldığında genetik algoritma çalışması sona erer.

Başka bir sonlandırma kriteri olarak, algoritmanın çalışma süresi seçilebilir. Başlangıçta belirlenen çalışma süresi dolduğunda genetik algoritma son çözümlerini verir ve çalışması son bulur. Belirli bir zaman diliminde sürekli aynı sonuçları vermesi, bu zaman diliminde yeni çözümler sağlayamaması da sonlandırma artı olarak seçilebilmektedir.

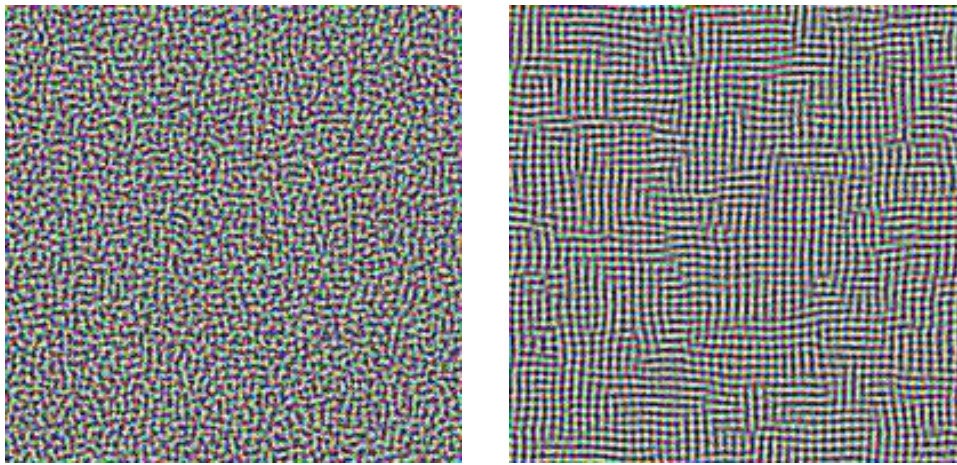
3.3. Benzetim Tavlama (Simulated Annealing)

Benzetim Tavlama (BT) bir metalin soğuyarak ve donarak minimum enerjili kristal yapısına dönüşmesi (tavlama süreci) ile daha genel bir sistemde minimumum araştırılması arasındaki benzerlikten yararlanır [55]. Bu yaklaşıma Metropolis Algoritması da denir. Bu yaklaşım bir optimizasyon tekniği olarak ilk defa Kirkpatrick ve arkadaşları tarafından 1983 yılında sunulmuştur [98].

BT katı maddelerin tavlama sürecinden esinlenerek geliştirilmiştir. Algoritma geçerli bir çözümden başlar ve problem için rasgele yeni durumlar üretir ve bu durumlar için maliyet fonksiyonunu hesaplar. Tavlama süreci yüksek sıcaklıklardan başlar [99]. Daha kötü çözüm olasılığı sıcaklık düştükçe azalır [100]. BT metodu, güçlü bir optimizasyon tekniğidir ve büyük kombinasyonlu problemleri optimum veya global çözüme yeteneğine sahiptir. Bu metod yerel optimum çözümleri garanti eden optimizasyon tekniklerine benzer. Ama BT metodu aynı zamanda yerel optimumları atlama yeteneği de sağlar [101].

Herhangi bir katı madde erime noktasını aşmaya kadar ısıtılır ve ardından katılaştırılmaya kadar soğutulursa, bu maddenin yapısal özellikleri soğuma hızına bağlı olarak değişir. Yavaş soğutulacak olursa gelişmeler gözlenirken, hızlı soğutulduğunda yapısında bozulmalar gözlemlenir. Isıtılan ve ardından belli bir hızla soğutulmuş en iyi biçime ulaştırılan madde, bir sistemdeki parçacık gibi algılanırsa bu tavlama sürecinden BT elde edilmiş olur [102].

Şekil 3.2’de verilen resimlerde piksellerin dağılımı yavaş ve hızlı soğutma örnekleri olarak verilmiştir. BT algoritmasına benzer şekilde soğutulmuş iki metal kristali gözükmektedir. Birinci şekilde hızlı bir soğutma gerçekleşmiştir ve kristal yapıdaki dağınıklar düzensiz olmuştur. İkinci şekilde ise malzeme yavaş soğutulmuş ve yapısındaki kristallerin dağılımı düzgün bir şekilde almıştır [103].

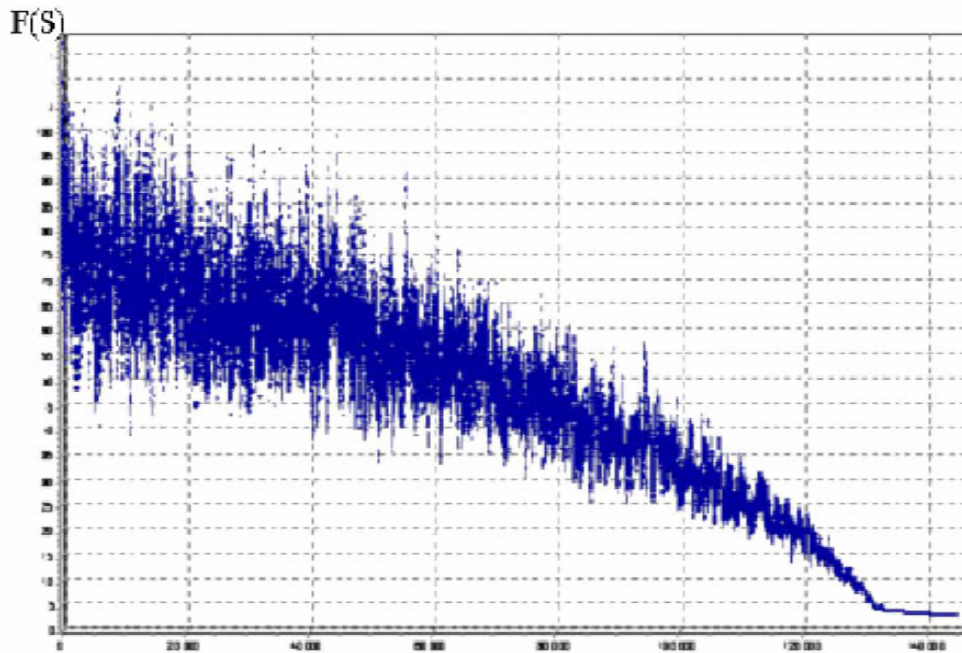


Şekil 3.2. BT’da soğutma süreci, soldaki hızlı, sağdaki ise yavaş soğutmayı temsil etmektedir.

Tavlama termik i lemdir ve dü ük enerjili durum katı hali temsil eder. Buna göre tavlama iki adımdan olu ur. Bu adımlardan ilki katı maddenin erime noktası olan azami seviyeye kadar ısının artırılması, ikincisi ısıtılmı maddenin so utularak katı haline dönü türülmesidir. Sıvı haldeyken maddenin tüm parçacıkları rastlantısal olarak da ılırken, katı halde kuvvetli yapısal bir bütünlük içindedir ve enerji minimumdur [55].

BT'nin en önemli avantajı lokal minimumda takılmaması ve genel minimuma ula bilmesidir. Bunun için seçilen algoritma, de i kenlerin de eriyle algoritma sonucu birebir ili ki içerisindedir. Algoritmada malzemenin yeterince ısıtılması veya algoritma ba langıç seviyesine yüksek enerjili seviyeden ba lanması gerekir. So utma i lemi yava yava , belli iterasyonda ve maddenin enerjisi sıfır oluncaya kadar yapılmalıdır.

Benzetim tavlamanın minimum noktayı ararken algoritmanın sergiledi i tipik hareket mekanizması ekil 3.3'de verilmi tir [104].



ekil.3.3. BT algoritmasının tipik çalı ma e risi

BT yüksek bir sıcaklık de eriyle ba lar. Her bir hesaplama adımımda mevcut çözümün kom uları arasında birçok çözüm üretilir. Yeni bulunan çözümler belirlenen kriterlere göre kabul edilir veya ret edilir. Her hesaplama adımından sonra sıcaklık belli bir fonksiyona göre azaltılır. Algoritma istenen iterasyona ula tı ında, sıcaklık olarak minimum seviyeye indi inde veya istenen çözüme ula ıldı ında algoritma sonlandırılır. Burada dikkat edilmesi gereken noktalar vardır. Bunlar;

1-Sıcaklı ın ba langıç de erinin belirlenmesi (bu hal malzemenin en yüksek enerjili oldu u durumu ifade etmektedir)

2-Algoritmanın adım sayısının belirlenmesi (malzemenin ısı alı veri i yapmadı ı durumun tespiti veya malzemenin so utulması anlamına gelmektedir)

3-Adım büyüklü ünün seçilmesi (malzemenin so utulma hızı)

Benzetim Tavlama Monte Carlo algoritmasının bir uygulaması olarak da görülebilir. Ancak Monte Carlo algoritmasında sıcaklı ı temsil eden T'nin belli de erleri için optimal çözümler üretilir [98]. Sıcaklık, T büyük seçildi inde global minimumu hassas bir ekilde yakalayamaz. T'nin küçük de erlerindeki çözümde ise çözüm lokal minimumlara takılma riski ta ır. BT bu mahsuru ortadan kaldırmı tır. BT de i ik T de erlerinde çözüm aradı ından global minimumu kolayca yakalar.

Metropolis ve arkada ları tavlama sürecini taklit etmek için bir algoritma geli tirmi lerdir. Önerilen algoritma Monte Carlo tekniklerine dayanmaktaydı. *i* halindeki enerji E_i , bir sonraki durumda enerji E_j olsun, e er

$$E_j - E_i \leq 0$$

ise *j* hali mevcut durum olarak alınır. Aksi durumda *j* hali reddedilmez, denklem 3.7'deki olasılı a ba lı olarak kabul edilebilir.

$$w = e^{-\frac{E_j - E_i}{k_B T}} \quad (3.7)$$

Bu olasılık de erine göre T 'nin yüksek oldu u sıcaklık de erlerinde, amaç fonksiyonunda meydana gelen artı ların ço unun kabul edilmesi anlamına gelir. T 'nin de eri azaldıkça kabul edilme olasılı ı azalacaktır. Bu da algoritmanın ba langıç a masında geni bir uzayda arama yaptı nı ve yerel optimumlara takılmayaca nı gösterir. T 'nin azalmasına ba lı olarak arama, en iyi optimum etrafında olaca nı göstermektedir.

Bu ifade de;

w : kabul kriteri,

T : sıcaklık seviyesi,

k_B : boltzman sabiti olup, enerji ile sıcaklık arasındaki ili kiyi veren bir katsayıdır ve de eri $1,380650524 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ dir.

Ba langıç sıcaklı nı tespitinde belirli bir yöntem yoktur. Sıcaklık yüksek bir de erden ba latılabilir. Di er bir yöntemde göre, iki kom uluk arasındaki maximum uzaklı ı veya maliyet fonksiyonu farkı bilinirse ba langıç sıcaklı ı hesaplanabilir. Farklı bir yöntem ise çok yüksek sıcaklıktan ba layarak %60 de erine kadar çok hızlı so utmaktır. Böylece kötü çözümlerin de kabul edilmesine izin verilir. Bu a amadan sonra, sıcaklık gerçek ba langıç sıcaklı ı gibi kabul edilir ve normal so umasına izin verilir [105]. Güvenilir bir sezgisel ara tırma algoritması ba langıç noktasına ba ımlılı ı az olan algoritma olarak da bilinmelidir [106].

BT algoritmasında ba langıç sıcaklı ı T_0 çe itli ekillerde belirlenebilir. Bunlardan biri yapılan deneysel çalı malar sonucunda algoritmada sıcaklık ba langıç de eri a a ıdaki denklem 3.8 ile önerilmi tir [107].

$$T_0 = \frac{\overline{\Delta V}^+}{\ln\left(\frac{m_2}{m_2 X_0 - m_1(1 - X_0)}\right)} \quad (3.8)$$

Burada, $\overline{\Delta V}^+$ amaç fonksiyonu dikkate alınarak sadece m_0 de erini yükseltmede kullanılır($m_0 = m_1 + m_2$). m_1 amaç fonksiyonunun de erini azaltmaya ve m_2 fonksiyonun de erini artırmaya kar ılık gelen sayılardır. X_0 yeni yapılandırılmalara kar ılık gelen bir oran, literatürlerde genellikle $X_0 = 0,85$ olarak kullanılır.

T_0 de eri için önerilen bir ba ka alternatif yol da a a ıdaki denklem 3.9 ile önerilmi tir [102].

$$T_0 = \frac{\mu}{-\ln \phi} f(x^0) \quad (3.9)$$

Burada;

ϕ : yukarı do ru hareketlerin yüzdesi,

μ : ba langıç çözümünden ($f(x^0)$) daha kötü durumları ifade eder

Her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı N_k ile ifade edilir. Birçok algoritmada bu de er algoritmanın boyutları ile orantılı olarak alınmı tır. Literatürde görünen iki çözüm a a ıda verilmi tir [108].

$$\text{Sabit } N_k : \quad N_{k+1} = N_0 \quad (3.10)$$

$$\text{De i ken } N_k : \quad \rho \geq 1.0. \quad N_{k+1} = \rho N_k \quad (3.11)$$

Burada;

N_0 : ba langıç test sıcaklı ındaki geçi sayısı,

ρ : ise kullanıcı tarafından belirlenen parametre

Ba ka bir yöntemle göre ise her sıcaklıkta bir iterasyon kullanılır ve sıcaklık çok yava azaltılır [109].

Durdurma kriteri olarak literatürde çok sayıda karma ık ve geleneksel yöntemler önerilmi tir. Son sıcaklı ın belirlenmesinde, sıcaklı ın sıfıra kadar dü mesine izin verilmesi normaldir. Ancak pratikte sıcaklı ın sıfıra dü ürülmesine gerek yoktur. Çok bilinen bazı çözümler özetlenirse;

Sıcaklık azaltımı 6–50 arasında bir sabit de er olarak belirlenebilir. Ba ka bir öneride amaç fonksiyonunu iyile me oranına ba lı olarak belirlenebilir. Burada amaç fonksiyonu dü ük bir de erde ve geli me olmuyorsa sıcaklık azaltılmasına gerek yoktur, amaca ula ılmı tır. Bir ba ka çalı mada ise so utmada yapılacak hamle sayısı belirlenir. Bu hamle sayısına göre so utma bitmi olur [108].

Sıcaklık azaltma i lemi, algoritmanın ba arısında önemli bir kriterdir. Üç çe it sıcaklık azaltma yöntemi vardır. Bu yöntemler kısaca özetlenirse;

Sabit katsayılı so utma: Bu yöntemde belli bir katsayı seçilerek her döngüde sıcaklık belli bir β de eri ile çarpılır. β 'nin de eri ise a a ıda verilmi tir.

$$\beta \in [0.50; 0.99]$$

$$T_{k+1} = \beta.T_k \quad (3.12)$$

Önerilen bu yöntemde β katsayısı 0,8'den daha büyük de er olarak alındı ında elde edilen sonuçların daha ba arılı oldu u görülmü tür [55].

De i ken katsayılı so utma: Burada $\delta \in [0.01; 0.20]$ arasında bir de er ve sıcaklık azaltılması,

$$T_{k+1} = \frac{T_k}{\left[1 + \frac{\ln(1 + \delta)T_k}{3\sigma(T_k)}\right]} \quad (3.13)$$

eğinde olur. Burada, $\sigma(T_k)$, önceki T_k sıcaklık seviyeleri yapılandırma maliyetin standart sapmasıdır.

De i ken katsayılı so utma:

$$\lambda \leq 1.0$$

$$T_{k+1} = \frac{T_k}{\exp\left(\frac{\lambda T_k}{\sigma(T_k)}\right)} \quad (3.14)$$

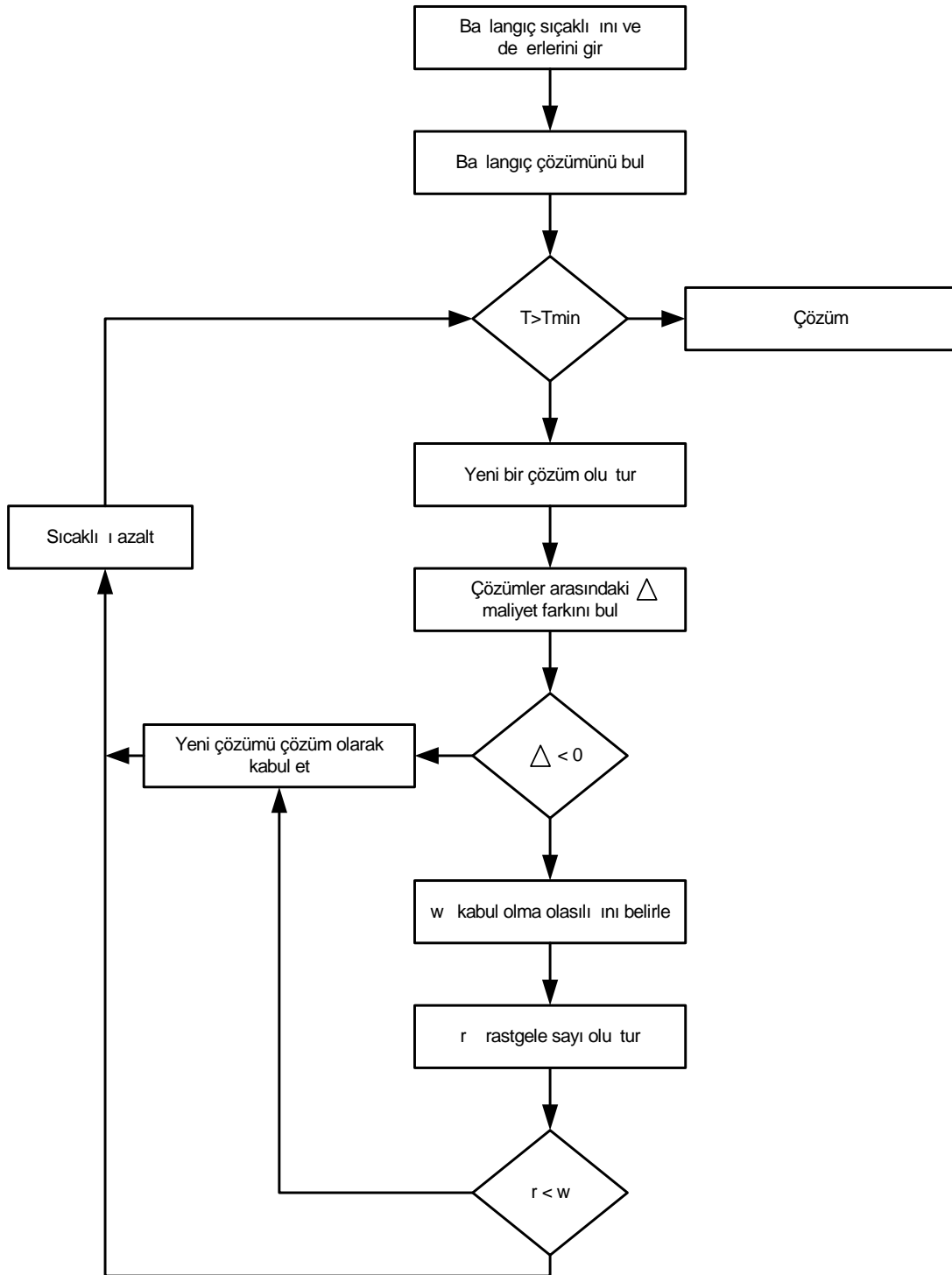
Burada, yeni de er T_{k+1} denklem 3.13'deki gibi bir performansa sahiptir.

Çe itli so utma tekniklerinin performansı daha çok probleme ba lıdır. Mesela enerji iletim sisteminin geni lemesinde denklem 3.13 ve 3.14'un performansı 3.12'ye göre daha iyidir [108].

3.3.1. BT algoritması

BT metodunun, çetli optimizasyon problemlerinin yanında, bazı güç sistemi optimizasyon problemlerine de uygulanabildi i görülmü tür [110]. BT algoritmasının i leyi a amaları a a ıda maddeler halinde ve akı diyagramı olarak da ekil 3.4’de sunulmu tur.

- 1- T ba langıç sıcaklık de eri seçilir.
- 2- x_i ba langıç noktası ($i=0$) seçilerek $f(x_i)$ hesaplanır.
- 3- $x_{i+1} = x_i + \Delta x_i$ ekleinde yeni bir de er seçilerek, $f(x_{i+1})$ ’nın de eri bulunur.
- 4- $f(x_{i+1}) < f(x_i)$ ise yeni nokta kabul edilir, de ilse
 - a- $w = e^{-(f(x_{i+1}) - f(x_i))/(kb * T)}$
 - b- $0 < r < 1$ ekleinde bir sayı üretilir.
 - c- $w > r$ ise kabul edilir, de ilse ret edilir.
- 5- 3. ve 4. noktalar yeni belirlenen noktalar için yeniden tekrarlanır.
- 6- Mevcut T için fonksiyonunu en küçük de erini veren “ x ” noktası belirlenir.
- 7- T belli bir fonksiyona göre azaltılır.
- 8- Yeni T sıcaklı ı için 2–6 arası i lemler tekrarlanır. Bu durumda yeni de er 6. adımda bulunan “ x ” de eridir.
- 9- T daha önce belirlenen de ere ula tı ında iterasyon durur.



ekil 3.4 Benzetim Tavlama Akı eması

3.4. Tabu Arama Algoritması (Tabu Search Algorithm)

Bu yöntem, optimal veya optimala yakın çözümleri bulmak için çözüm uzayını ara tıran, sezgisel optimizasyon tekniklerinden en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Tabu, “Kutsal sayılan bazı insanlara, hayvanlara, nesnelere dokunulmasını, kullanılmasını yasaklayan, aksi yapıldı ında zararı dokunaca ı dü ünülen dinî inanç” olarak tanımlanmaktadır [111]. Tabu arama algoritması da benzer bir özellikte çalışır. Böyle bir aramada çözüm uzayında bazı noktalar tabu olarak tanımlandı ında, bu noktalar algoritma sırasında incelenmez. Bir noktanın tabu olarak da belirlenebilmesi için gereken özellik de; bu noktanın daha önce incelenmi olması ve bir daha incelenmesine gerek olmamasıdır.

Tabu Arama (TA) kavramı ilk olarak Glover tarafından ortaya atılmı tır [112]. Yöntem Hansen tarafından geli tirilmi tir [113]. Algoritmanın olu turulmasındaki temel alınan iki önemli unsur, daha önce denenmi çözümleri yeniden i leme almaması ve yerel optimum noktadan uzakla ıp genel optimum çözüme ula abilmesidir [114]. Algoritma yerel minimuma do ru harekete ba lar. Daha önce yapmı oldu u hareketlere tekrar dönü yapmayı engellemek için yöntem bir veya daha fazla tabu listesini hafızasında tutar. E er bir kom u çözüm adayı, tabu listesinde yer alan bir çözümle aynıysa (bu durumda aday çözüm, zaten daha önce denenmi tir), bu çözüm de erlendirme dı ı bırakılmaktadır. Tabu listesi olu turulurken her döngüdeki en iyi çözüm listeye alınmakta, listenin doldu u durumda listedeki ilk kayıtlar (ba langıçtaki çözümler) listeden atılıp, son döngüler de elde edilen çözümler listeye alınmaktadır. Tabu Listesi ilk en iyi çözüm kümesinin olu turularak hafızaya alınma yöntemi ile olu turulur. Tabu listesi olu turmanın önemli bir kuralı da giri de erleri olu turulurken çe itli filtreli i lemlerinden geçirilmesidir [115].

TA algoritmasının temel elemanları ve bunların i leyi i incelendi inde; Ba langıç çözümünün elde edilmesi genellikle rastlantısal olarak elde edilir. Ancak bu de erleri elde etmek için de ayrı bir algoritma kullanabilir.

Hareket Mekanizması mevcut bir çözümde yapılan bir de i iklikle yeni çözümün elde edilmesi hareket mekanizmasıyla gerçekleştirilir. Hareket mekanizmasındaki olası hareketler, mevcut çözümün komularını oluşturur. Hareket mekanizması algoritmanın etkinliği açısından önemli olduğu için problemin yapısına bağlı olarak uygun bir şekilde seçilmelidir.

Hafıza, TA algoritmasının temel elemanlarından birisidir. Arama boyunca ortaya çıkan durumlar, hafızaya kaydedilir. Bu hafıza, kısa dönemli hafıza olarak adlandırılır. Bu hafıza kullanılarak arama esnasında önceki durumların tekrar elde edilmesini sağlayacak hareketler yasaklanır. Arama esnasında yapılmasına izin verilmeyen bu hareketler "tabu" olarak adlandırılır ve "tabu listesi" adı altında kaydedilirler. TA algoritmasında, her durum için tanımlanan komu durumlar içerisinde en iyi olan durum, tabu listesi de kontrol edilerek mevcut durumun yerini alır. Arama ilerlemeye mevcut durumun yerini alan komu durum ile devam edilir. Tabu listesinde bir hareketin ne kadar süreyle kalacağı tabu listesinin uzunluğuna bağlıdır. Tabu hareketlerin sayısı listenin sayısına ulaştığında tabu listesinin başındaki en eski hareket listeden çıkartılır. Liste bir sıra yukarı hareket ettirilerek ikinci hareket birinci sıraya, üçüncü hareket ikinci sıraya, en son tabu olan harekette sondan bir önceki sıraya yerleştirilir. Böylece son sıraya ise son olarak yapılan hareket yerleştirilir [116].

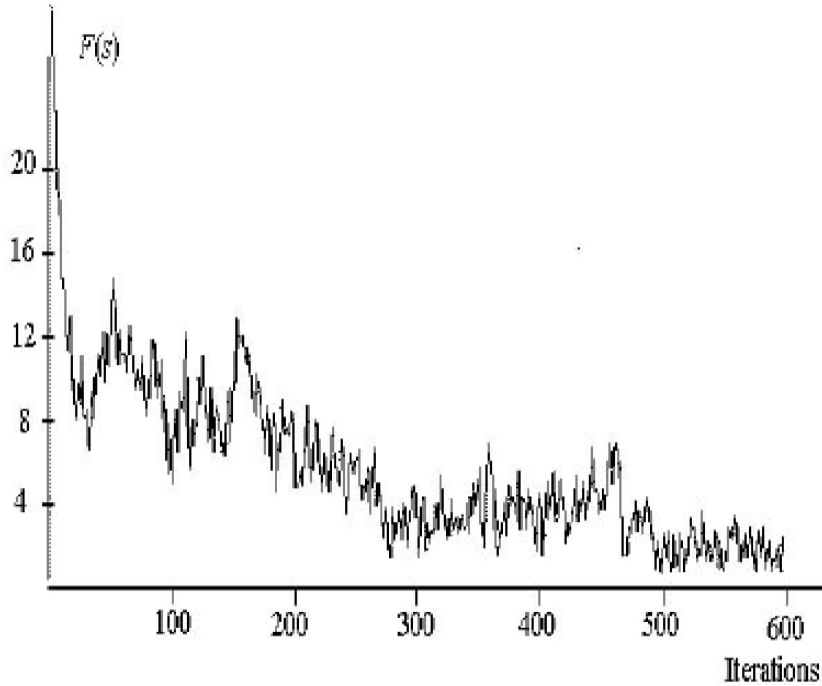
Yenilenebilir dayanan hafıza yapısını kullanan TA'da tabu listesinin uzunluğu oldukça önemlidir. Eğer tabu listesi çok uzun olarak seçilecek olursa hareketlerin çoğu tabu olarak algılanacağından algoritmanın hareket kabiliyeti azalır. Tam tersi olarak tabu listesi kısa olarak tutulursa, aynı durumlar etrafında hareketler olacaktır, aramaya başlanılan noktanın yakınındaki lokal bir noktada lokal bir optimumu yakalayabilir [116].

Tabu yıkma kriterleri, tabunun ortadan kalkabileceği durumları ifade etmektedir. En genel tabu yıkma kriteri, mevcut durumdan daha iyi bir sonuç verecek tabu hareketinin yapılmasına izin verilmesidir. Bu kriterin kullanılması TA algoritmasının etkinliğini artırmaktadır [117]. Ayrıca, eğer tüm mümkün hareketler tabu ise bu hareketlerden tabu süresinin bitmesine en yakın olan bir tabu hareketine izin verilir.

Tabu arama algoritması, bir veya birden fazla durdurma kriterlerini sağlayıncaya kadar aramasını sürdürmektedir. Bir başka ifadeyle durdurma kriterlerinden bazıları;

- Seçilen bir komu çözümün komusunun olmaması
- Belirli bir iterasyon sayısına ulaşılması
- Belirli bir çözüm değerine ulaşılması
- Algoritmanın bir yerde tıkanması ve daha iyi sonuç üretememesi

Tabu arama algoritmasının minimum en iyiyi ararken yaptığı hareketlerin tipik grafiği Şekil 3.5'de gösterilmiştir [118].



Şekil.3.5 Tabu Arama algoritmasının grafiği

TA algoritması grafiğindeki programlama mantığı grafiği ve akış diyagramı aşağıda verilmiştir.

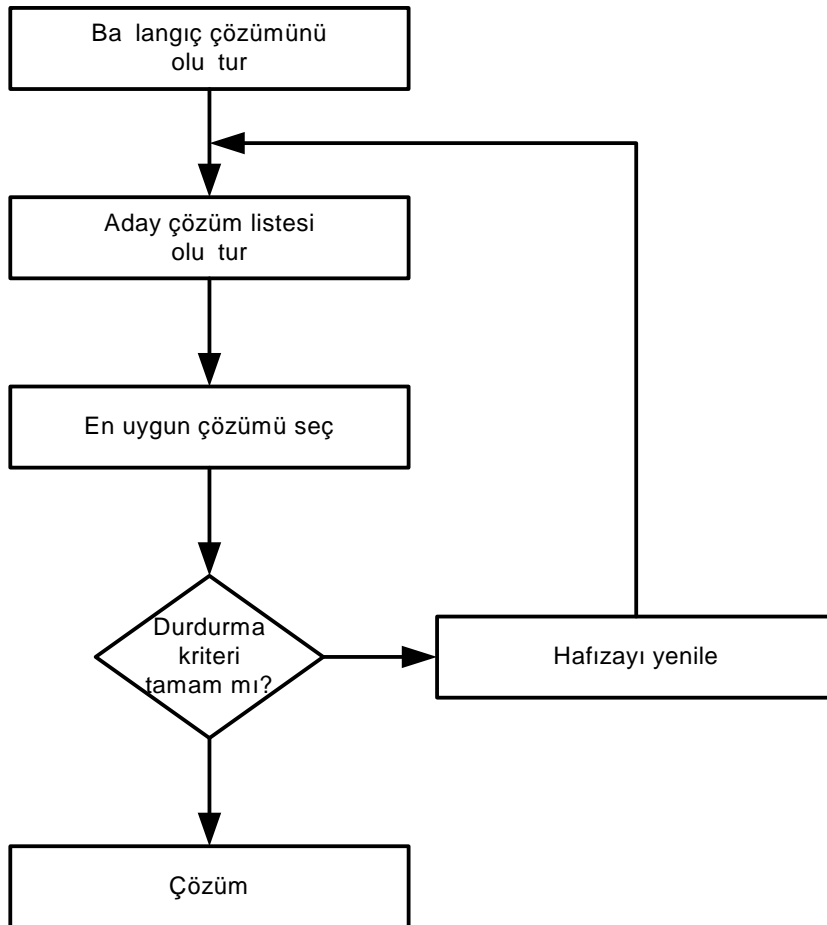
- ADIM 1: Başlangıç çözüm değerlerini oluştur
 Çözüm = en iyi çözüm
 Tabu listesini oluştur
 Durdurma kriterini belirle
- ADIM 2: Çözüm > en iyi çözüm ise

En iyi çözüm = çözüm

ADIM 3: Durdurma kriterine ula ılmı sa çözümleri tabu listesine ekle
Eğer tabu listesi dolu ise ilk listeye giren çözümü listeden çıkar

ADIM 4: Çözümlerin içinden bir tanesini yeni çözüm olarak seç.
Eğer yeni çözüm bulunmadıysa veya tabu listesinde yeni çözüm yok ise
Çözüm = Yeni çözüm

ADIM 5: terasyon bitiminde
Çözüm = en iyi çözüm olarak belirle



ekil 3.6. Tabu Arama algoritmasının akı ması

TA algoritması ile problem çözümü formül ekline getirilirse;

$$\text{Min } f(x)$$

veya

$$\text{Max } f(x) \text{ aranmaktadır.}$$

Burada,

$x \in X$ ve de i kendir.

$f(.)$ ise amaç fonksiyonudur.

X ise de i kenin uzayda arama yapaca ı bölgeyi temsil etmektedir.

BÖLÜM 4. GERİLİM KARARLILIK KRİTİK DEĞERLERİNİN İNCELENMESİ

4.1. Giriş

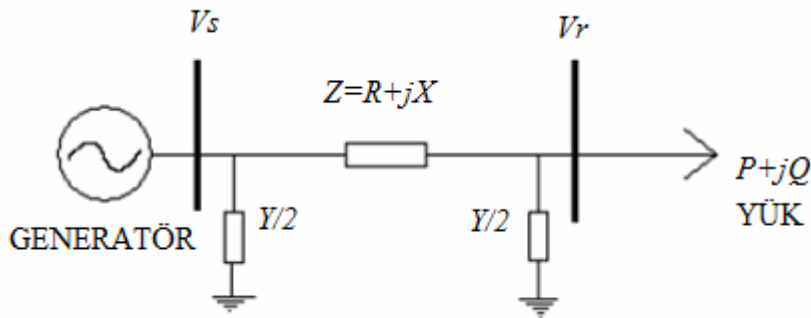
Bir enerji iletim sisteminin kararlı ve güvenli çalışabilmesi için belirli sınırların belirlenmesi önceden bilinmesi gereklidir. Bu sınırlar, hat sonunda çekilebilecek en fazla aktif güç değeri ve bu güce karşılık gelen hat sonundaki gerilimin genlik ve açı değerleridir. Genel olarak iletim sisteminin kritik noktaları " P_{rkt} , V_{rkt} , θ_{rkt} " sembolleri ile ifade edilir. Burada V_{rkt} yük barasının alabileceği en küçük gerilim genlik değerini, P_{rkt} yük barasının alabileceği en büyük aktif güç değerini, θ_{rkt} ise yük barasının aktif güç ve gerilim için kritik değerlerini aldığı andaki açı değerini göstermektedir. Güç sisteminin kararlı olup olmadığını yorumlayabilmek için kritik değerlerin bilinmesi önemlidir. Güç sisteminde yük barasından aktif güç çekilmesine bağlı olarak yük uçlarında bir gerilim düşmesi söz konusudur. Zira gerilimin, kritik veya sınır bölgesi çivarında ani olarak çökmesiyle, problemin planlama ve işletme safhalarında ele alınmasını zorunluluk haline getirmiştir [4].

4.2. İki Baralı Sistem

İki baralı sisteme örnek olması bakımından Keban-Kayseri-Ankara 380 kV luk enerji iletim hattı alınmıştır. Güç sisteminin verileri Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)'nin ilgili hat için bildirdiği değerlerdir [1]. Örnek iletim hattının verileri ve ekli tabloda verilmiştir.

Hat uzunluğu (ℓ)	550 km
Hat başı gerilimi (V_s)	380 kV(faz-faz), 220 kV(faz-nötr)
Hat frekansı (f)	50 Hz
Hattın omik direnci(R)	0,0173 Ω /km

Hattın endüktif reaktansı (X)	0,157 Ω/km
Hattın önt kapasitesi (Y)	$6,9 \cdot 10^{-6}$ S/km



ekil 4.1. ncelemenin yapılaca ı iki baralı örnek güç sistemi

4.2.1. P-V E risi üzerinden kritik de erlerin belirlenmesi

ekil 4.1'de verilen sistem modeli üzerinde hat dataları kullanılarak, sistemin P-V e rileri çizdirilmekte ve kritik de erler e ri üzerinden belirlenmektedir. Bu yöntemi uygularken ekil 4.1'deki ekilde sistem;

$$ax^2 + bx + c = 0$$

eklinde ikinci dereceden denklem haline getirilir. Ara i lemler Ek A'da verilmi olup, bu ikinci dereceden denklemde a , b , c katsayıları,

$$a = |A|^2$$

$$b = [2P_r(a_1b_1 + a_2b_2) + 2Q_r(a_1b_2 - a_2b_1)]$$

$$c = |B|^2(P_r^2 + Q_r^2)$$

eklinde ifade edilirler. kinci dereceden denklemin kökleri ise,

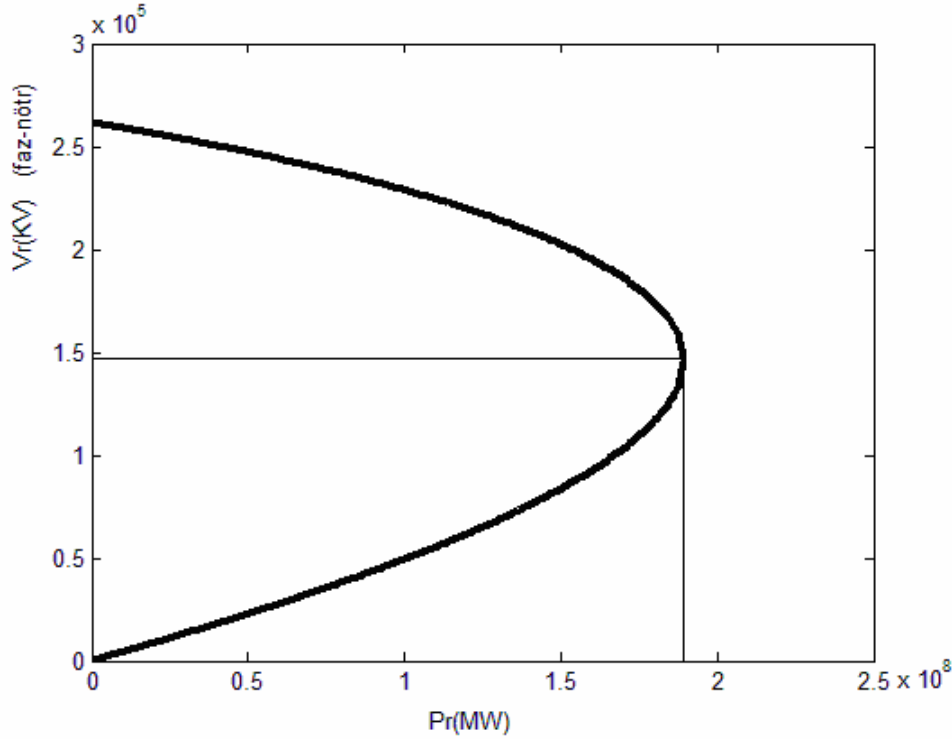
$$\Delta = b^2 - 4ac$$

$$V_{r1} = \sqrt{\frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2a}}$$

$$V_{r2} = \sqrt{\frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2a}}$$

Denklemleri ile bulunur. Sistemde yükün güç katsayısı aç ı de eri 30° olarak sabit olarak kabul edilmi tir. Güç sisteminin kritik de erleri P-V e risinin tekil çözüm

sa ladı 1 maksimumu aktif güç noktasının i aretlenmesi ile elde edilmektedir. Bu durum ekil 4.2'de gösterilmi tir.



ekil.4.2. Keban-Kayseri-Ankara iletim hattında $\theta = 30^\circ$ için P-V e risi

Verilen güç sistemi için 4.2 de gösterilen P-V e risi incelendi inde, kritik aktif güç ve kritik gerilim genlik de erinin iki kök de erinin çakı tı 1 durumdaki de eridir. Bu de erler;

$$P_{rkrt} = 189.2 \text{ MW}$$

$$V_{rkrt} = 146.4 \text{ KV (faz-nötr)}$$

olarak e ri üzerinden belirlenirler. E ri üzerinde de erleri belirlenen nokta gerilim kararlılı 1 açısından kritik noktayı belirlemektedir [119]. Bu sistemde elde edilen de erlere göre yük barasındaki gerilimin genlik de eri elde edilen kritik de erin altına dü tü ü takdirde sistemde gerilim kararsızlı 1 söz konusu olur [120].

4.2.2. Formül yöntemi ile kritik değerlerin belirlenmesi

Hat parametrelerinin, kullanılması sonucu S_r 'nin reel kısmının P_r , imajiner kısmının da Q_r bilgisi 11'inde gerekli ara i lemler sonucunda yük barasının aktif ve reaktif güç denklemleri a a 1'deki eilde elde edilirler. Ara i lemler Ek-B'de verilmiştir.

$$P_r = \frac{V_s V_r (b_1 \cos \delta + b_2 \sin \delta) - (a_1 b_1 + a_2 b_2) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.1)$$

$$Q_r = \frac{-V_s V_r (b_1 \sin \delta + b_2 \cos \delta) - (a_1 b_2 + a_2 b_1) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.2)$$

Kritik yük açısı denklemi a a 1'deki eilde ifade edilir.

$$\delta_{krt} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{K_2}{K_1} \right) \quad (4.3)$$

δ_{krt} ifadesi V_s denkleminde yerine konuldu unda, iki baralı sistem için hat sonundaki yük barasının kritik gerilim değeri belirlenmiştir olur.

$$V_{krt} = \frac{V_s}{2(a_1 \cos \delta_{krt} + a_2 \sin \delta_{krt})} \quad (4.4)$$

Elde edilen δ_{krt} ve V_{krt} ifadeleri aktif güç denklemi P_r denkleminde yerine konuldu unda ve kısaltmalar da dikkate alınarak kritik aktif güç denklemi elde edilmiştir olur.

$$P_{krt} = \frac{V_s^2 \cdot [2 \cdot K_3 \cdot K_4 - (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)]}{(b_1^2 + b_2^2) \cdot 4 \cdot K_4^2} \quad (4.5)$$

Böylece iki baralı bir sistem için gerilim kararlılığı kritik değerleri P_{krt} , V_{krt} , δ_{krt} formül olarak belirlenmiştir olur. Bu ifadelerin ayrıntılı elde edilmiş ve gerekli kısaltmalar Ek B'de verilmiştir tir.

ki baralı olarak verilen örnek sistem için, P-V eğrisi yöntemi ile yapılan kritik değer tespitinden sonra aynı sistem için formüller uygulandı ında kritik değerler a a 1'deki eilde elde edilirler.

$$\delta_{rkrt} = 27.62 \text{ derece}$$

$$V_{rkrt} = 146.14 \text{ kV (faz-nötr)}$$

$$P_{rkrt} = 189.15 \text{ MW/faz}$$

4.3. Sezgisel Algoritmalar ile Kritik De erlerin Belirlenmesi

Bu bölümde ise ekil 4.1’de verilen sistem, yeni bir yöntem olarak sezgisel algoritmalar ile kritik de erler ara tırılacaktır. Güç sistemlerinde oldu u gibi matematiksel yöntemlerle çözümü oldukça zor olan lineer olmayan denklemlere sahip sistemlerde sezgisel algoritmalar ile daha kolay çözüme gidilmektedir.

Sezgisel yöntemler olan GA, SA ve TA algoritmalarını uygulamadan önce problemin amaç fonksiyonunun, de i kenlerinin, kısıtlarının ve ceza fonksiyonunun belirlenmesi gerekmektedir.

Örnek güç sistemi için amaç fonksiyonundaki sabit de erler a a ıda verilmektedir.

Hat ba 1 gerilimi,

$$V_s = 380 \text{ KV (faz-faz)}$$

$$V_s = 220 \text{ KV (faz-nötr)}$$

uzun iletim hattı denklemleri kullanılmak sureti ile A ve B sabitleri,

$$A = (a_1 + j a_2) \text{ olmak üzere,}$$

$$a_1=0.8405 \text{ ve } a_2=0.0171$$

$$B = (b_1 + j b_2) \text{ olmak üzere,}$$

$$b_1 = 8.5008 \text{ ve } b_2 = 81.765$$

olarak belirlenir.

Yükün güç açısı , $\varphi = 30^0$ ve $\tan\varphi=0.577$ sabit olarak alınacaktır.

4.3.1. Amaç fonksiyonunun olu turulması

Güç sistemlerinde kritik de erler, hattan akan aktif güç de erinin en büyük de eri ve bu anda yük barasının sahip oldu u aç ı ve gerilim de eridir. Bu de erlerin belirlenebilmesi için yük barasının aktif güç denkleminin maksimizasyon optimizasyonu, yapılmaktadır. Optimizasyon süresince yük de erlerinin sabit güç katsayısı altında kaldıkları varsayılmaktadır.

Amaç fonksiyonu en büyük veya en küçük de eri aranan fonksiyondur. Bu çalı mada amaç fonksiyonun en büyük de eri aranmaktadır. Amaç fonksiyonu olarak aktif güç denklemleri kullanılmaktadır.

$$AF=P_r$$

$$P_r = \frac{V_s V_r (b_1 \cos \delta + b_2 \sin \delta) - (a_1 b_1 + a_2 b_2) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.6)$$

4.3.2. De i kenler

Amaç fonksiyonu olan aktif güç denkleminin içerisinde bulunan de i kenlerdir. Bu denklem dikkatlice incelenecek olursa δ ve V_r de erlerinin denklemlerin de i kenleri oldu u görülmektedir. Bunlar; $P_r(V_r, \delta)$ ekinde ifade edilirler.

4.3.3. De i ken kısıtları

$P_r(V_r, \delta)$ ekinde ifade edilen de i kenler, sezgisel algoritmalarda çok sayıda kombinasyonlarını deneyerek amaç fonksiyonunun en büyük de erini bulmaya çalıacaktır. Öyle ise bu de i kenlerin belirli sınırlarının olması gerekmektedir. Bunlar ise fonksiyonun de i ken kısıtları olarak adlandırılırlar. V_r hat sonundaki yük barasının gerilimini, δ ise gerilimin açısını sembolize etmektedir. Bu de erler için teorik olarak olabilecek en büyük aralık de erleri,

$$88 \leq V_r \leq 220 \text{ (kV)}$$

ve

$$-1.5 \leq \delta \leq +1.5 \text{ (radyan)}$$

olarak belirlenir. Hesaplamalar bir faz üzerinden yapıldı ından yük barası geriliminin faz arası 380 kV de erinin faz nötr arası kar ılı ı olan $V_r = 220 \text{ kV}$ de eri üst sınır olarak belirlenmiştir. Yük barasının geriliminin en alt de eri olarak üst de erinin %40'ı olabilece i tahmini do rultusunda, $V_r = 88 \text{ kV}$ de eri, alt sınır de er olarak seçilmiştir. Alt sınır belirlenirken daha önce yapılan kritik de er çalı malarına bakılmı gerilimin bu de ere ve bu de erin altına dü medi i bilgisi dikkate alınmıştır.

Açı değeri için en büyük ve en küçük değerler belirlenirken güç sisteminde iki bar arasında en büyük gücün 90° açı ile tabii olarak bilgisi göz önünde bulundurulmaktadır. En büyük ve en küçük sınır değerler olarak bu açının yaklaşık radyan karşılığının artı ve eksi değerleri alınmıştır.

4.3.4. Ceza fonksiyonu

Kısıtların etkilerinin hesaplanmasında ceza fonksiyonu kullanılmaktadır. Ceza fonksiyonu ise uyulması gereken artıları ifade eden fonksiyondur. Bu yöntemde göre kısıt denklemlerinin toplamı bir ceza fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Eer amaç fonksiyonu değeri hesaplanırken ön görülen tüm artılar da yerine getirilmi ise bu takdirde ceza fonksiyonunun değeri sıfırdır, bunun sonucunda amaç fonksiyonuna herhangi bir ceza verilmez. ayet öngörülen artıların tümü veya bir kısmının ihlali söz konusu ise ceza fonksiyonunun aldığı değer sıfır olmaz, ceza fonksiyonunun değerine bağlı olarak amaç fonksiyonu cezalandırılır [121, 122].

Problemin çözümünde sabit güç katsayısı artı aranmaktadır. Bu sebeple

$$Q_r = P_r \tan \varphi$$

ifadesi dikkate alınır. Buna bağlı olarak kısıt fonksiyonu ise;

$$KF = Q_r - P_r \tan \varphi \quad (4.7)$$

eklinde ifade edilir. Algoritma çalışırken kısıt fonksiyonu değerinin sıfır olmaması halinde, amaç fonksiyonunun en büyük değeri arandığı halde kısıt fonksiyonu amaç fonksiyonunun değerini düşürerek cezalandıracaktır. Daha önce elde edilen Q_r ifadesi;

$$Q_r = \frac{-V_s V_r (b_1 \sin \delta + b_2 \cos \delta) - (a_1 b_2 + a_2 b_1) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.8)$$

eklinde dir. Ceza fonksiyonunu daha etkin kullanabilmek için kısıt fonksiyonun mutlak değerinin karesi alınır. Ayrıca problemin özelliğine göre pozitif büyük bir sayı ile çarpılır.

$$P = r \times |KF|^2 \quad (4.9)$$

4.4. Genetik Algoritma ile Kritik Değerlerin Belirlenmesi

Güç sistemlerinde kritik değerler, hattan akan aktif güç değerinin en büyük değeri ve bu anda yük barasının sahip olduğu açı ve gerilim değeridir. Bu değerlerin belirlenebilmesi için yük barasının aktif güç denkleminin maksimizasyon optimizasyonu, genetik algoritma ile yapılmaktadır.

Genetik algoritmada uygunluk fonksiyonu amaç fonksiyonu ve ceza fonksiyonunun toplamı veya farkından oluşur. Amaç fonksiyonu en büyük veya en küçük değeri aranan fonksiyon, ceza fonksiyonu ise uyulması gereken artıları ifade eden fonksiyondur. Bu çalışmada amaç fonksiyonunun en büyük değeri aranmaktadır. Bu nedenle uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ve ceza fonksiyonunun farkıdır. Buna göre uygunluk fonksiyonu,

$$UF = 6.10^6 + (P_r - (Q_r - P_r \tan \varphi)^2) \quad (4.10)$$

eklinde ifade edilir. Ayrıca uygunluk fonksiyonunun negatif değer almaması için belirlenen büyük bir sayı olan $K = 6.10^6$ sayısı ilave edilir.

4.4.1. BaLangıç popülasyonunun oluşturulması

Rast gele seçilen belirli sayıdaki 0 ve 1 bitleri dizilmesi sonucunda uygunluk fonksiyonunun değeri kenleri de yan yana dizilmekle artı ile kodlanabilir olur. Her bir değeri kenin bit sayısı değeri kenin sınır değerlerine göre önceden belirlenir. Değerleri kenler de yan yana dizilerek birey adını verdiğimiz popülasyon adını oluştururlar. BaLangıç popülasyonunun, satır sayısı tüm değeri kenlerin toplam gen sayısı, sütun sayısı da popülasyon sayısıdır.

Daha önce sınır değerleri tanımlanan, V_r ve δ değeri kenlerinin bit sayısı a da verilen denklem yardımı ile bulunabilir.

$$2^{ln} \geq \frac{X_{n\text{üst}} - X_{n\text{alt}}}{\varepsilon} - 1 \quad (4.11)$$

Uygunluk fonksiyonunun değeri kenlerinden V_r , $\varepsilon = 0,1$ artım adımları ve δ değeri kenini ise $\varepsilon = 0.01$ artım adımları ile değeri keninin düğüncesi neticesinde bu değeri kenlerin kodlanacakları bit (gen) sayıları,

$$2^{\ell_1} \geq \frac{220-88}{0.1} + 1$$

$\ell_1 \geq 11$ oldu undan,

$$\ell_1 = 11$$

ve

$$2^{\ell_2} \geq \frac{1.5 - -1.5}{0.01} + 1$$

$\ell_2 \geq 9$ oldu undan,

$$\ell_2 = 11$$

olarak seçilebilir.

Yukarıdaki sonuçlara göre birinci ve ikinci de i kenler olan V_r ve δ simgeleri ile sembolize edilen de i kenleri 11'er bit olarak ifade edilebilir. Bu durumda ba langıç popilasyonunun her bir satırının bit (gen) sayısı, $\ell = \ell_1 + \ell_2 = 11+11 = 22$ bit olarak ifade edilebilir. Ba langıç popilasyonunun bir satırı (bir bireyi) Tablo 4.1'de gösterildi i gibi ifade edilir.

Tablo 4.1. Popilasyon içinde bir bireyin gösterilmesi

V_r	δ
1 1 0 1 1 1 0 1 1 0 1	0 0 1 1 0 1 0 1 1 0 0

Ba langıç popilasyonu haricindeki popilasyonlar, seçim, çaprazlama, mutasyon gibi evrim a amaları neticesinde elde edilir. Bu çalı mada, popilasyon sayısını bulmak için türetilen bir analitik ba lantı kullanılacaktır. Buna göre popilasyon sayısı denklem $PS \geq 1.65 \times 2^{0.21 \times \ell}$ yardımı ile $PS = 42$ ekinde belirlenir.

Ba langıç popilasyonunun bir satırlarının toplam bit (gen) sayısı 22, toplam satır sayısı 42 olarak yukarıda belirlendi. 42 tane birey bir araya gelerek ba langıç popilasyonunu meydana getirirler. Tüm elemanları rast gele bilgisayar programı ile belirlenen ba langıç popilasyonu Tablo 4.2 ile gösterilmektedir.

Tablo 4.2. Ba langıç popilasyonun ifadesi

Birey No	V_r	δ
1	1 0 0 1 1 1 0 0 0 1 1	0 1 0 1 0 1 1 0 0 1 1
2	0 0 1 1 1 0 1 1 1 0 0	1 1 1 1 0 0 1 1 1 1 1
3	1 1 0 0 0 0 1 1 1 0 0	1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0
4	0 1 0 0 0 1 0 1 1 0 1	1 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0
5	1 1 1 0 0 0 1 1 1 0 1	0 0 1 0 1 0 0 0 1 1 0
·	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·
20	1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1	1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1
·	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·
33	0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1	1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1
·	· · · · · · · · · · ·	· · · · · · · · · · ·
42	0 1 1 1 1 0 0 0 1 1 0	1 0 0 1 0 1 1 1 0 1 1

4.4.2. Uygunluk fonksiyonu de erlerinin hesaplanması

kilik sayı sistemi bilgisayar programı yardımı ile her bir bireyi olu turan tüm de i kenler için onluk sayı sistemine çevrilerek her bir birey için uygunluk fonksiyonu ifadesinden yerine yazılması ile uygunluk fonksiyonu de erleri denklem 4.43 ile ayrı ayrı hesaplanır.

Generasyon (i) : $f(V_r, \delta) =$ Uygunluk Fonksiyonu De eri i ninci generasyonun en büyük uygunluk fonksiyonu de erini göstermek üzere,

Generasyon 1 : $f(43.97, -0.84) = 60.001 * 10^6$ ekinde olur.

4.4.3. Elitizm

Elitizm'in amacı uygunluk fonksiyonu de eri en büyük olan (maksimizasyon optimizasyonu oldu u için) iki tane birey seçilmesi ve bir sonraki popilasyonun ilk iki bireyi olarak popilasyon içine kopyalanmasıdır. Elit bireyler Tablo 4.3 ile verilmektedir. Bu örnekte ba langıç popilasyonunun 20. ve 33. bireyleri olan elemanlar gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Ba langıç popilasyonunun elit bireyleri

20	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	
33	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1

4.4.4. Seçim

Bu yöntemin amacı bir sonraki popilasyonun bireylerini olu turacak ebeveyn çiftlerinin seçilmesidir. Her ebeveyn çiftinden iki adet aday birey elde edilir. Yeni popilasyonun ilk iki bireyi elitizm ile seçilen bireyler di er bireyler ise olu turulan aday bireylerin mutasyona u ramasından sonra elde edilir. Aday birey sayısı popilasyon sayısının iki eksi idir. Yeni popilasyonun 3. ve 4. bireylerini olu turmak maksadı ile turnuva seçim yöntemi ile seçilen birinci ebeveyn çifti Tablo 4.4'deki gibi elde edilir.

Tablo 4.4. Seçilen ilk ebeveyn çifti

ebeveyn 1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
ebeveyn 2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1

4.4.5. Çaprazlama

Çaprazlama ebeveyn çiftlerinin genlerinden gen takas yolu ile aday bireyleri elde edilmesi i lemidir. Aday bireylerin düzenli çaprazlama ile elde edilene örnek olması bakımından, yeni popilasyonun 3. ve 4. bireylerini elde etmek amacı ile yapılan çaprazlama Tablo 4.5'de gösterilmektedir.

Tablo 4.5. Düzenli (Uniform) çaprazlama

Referans birey	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0
ebebeyn 1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1
ebebeyn 2	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1
Aday birey 1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
Aday birey 2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1

Yeni popilasyonun iki bireyi elitizm ile seçilir. Geriye kalan 40 birey, 20 ebeveyn çiftinin çaprazlama i lemine tabi tutulması neticesinde olu turulan 40 aday bireyin mutasyona u ramasının ardından elde edilir.

4.4.6. Mutasyon

Seçim ve çaprazlama i lemlerinden sonra, olu an aday bireylerin sonraki generasyonlarda ebeveynlerinin kopyası olma ihtimalini önlemek için mutasyon i lemi gerçekleştirilir. Mutasyon i leminde önceden belirlenen mutasyon oranına göre olu turulan aday bireylerin bazı genleri 0 ise 1 veya 1 ise 0 yapılmak sureti ile de i tirilir. Aday birey1 ve aday birey2 mutasyondan sonra, yeni popilasyonun 3. ve 4. bireyleri olurlar. Bu durum, Tablo 4.6 ile gösterilmektedir.

Tablo 4.6. Mutasyon i lemi

aday birey 1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	1
birey 3	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1
aday birey 2	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	1
birey4	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1

Burada mutasyon i lemi sırasında bazı aday bireyler hiç gen de i tirmeden de mutasyona u rayabilir çünkü mutasyon i lemi mutasyon oranına ba lı olarak popilasyonun tamamı dü ünülerek rast gele yapılmaktadır. Yapılan ara i lemlerden sonra yeni popilasyon Tablo 4.7'deki gibi gerçekleştirir.

Tablo 4.7. Evrim ile elde edilen yeni popilasyon

Birey No	V_r	δ
1	1 1 0 0 0 0 1 0 0 0 1	1 1 0 1 1 1 1 0 0 1 1
2	0 0 1 0 0 1 0 1 1 1 1	1 0 0 0 0 1 0 0 0 1 1
3	1 1 0 0 1 0 1 1 1 1 1	1 0 1 0 0 0 0 0 1 0 1
4	0 1 0 0 0 0 1 1 1 1 0	0 0 0 1 0 0 1 0 1 1 1
⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮	⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮ ⋮
42	0 1 0 0 1 0 1 0 1 0 0	1 0 1 1 0 1 1 0 1 0 0

Uygunluk fonksiyonu de erleri, yeni popilasyonun bireyelerine göre tekrar hesaplanır.

E er artlar yine de yerine gelmemi ise bu taktirde elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon i lemlerinden sonra tekrar yeni bir popilasyon olu turulması i lemi ekinde genetik algoritma döngüsüne generasyon sayısı kadar devam edilir.

4.4.7. Genetik Algoritma ile sonuçların elde edilmesi

Örnek sistem olarak de erleri verilen Keban Kayseri Ankara 380 kV' luk güç sistemindeki kritik de erler genetik algoritma ile yukarıda açıklanan a amaların gerçekte mesi neticesinde her bir generasyon için en büyük uygunluk fonksiyonu de erleri Tablo 4.8'de verilmektedir.

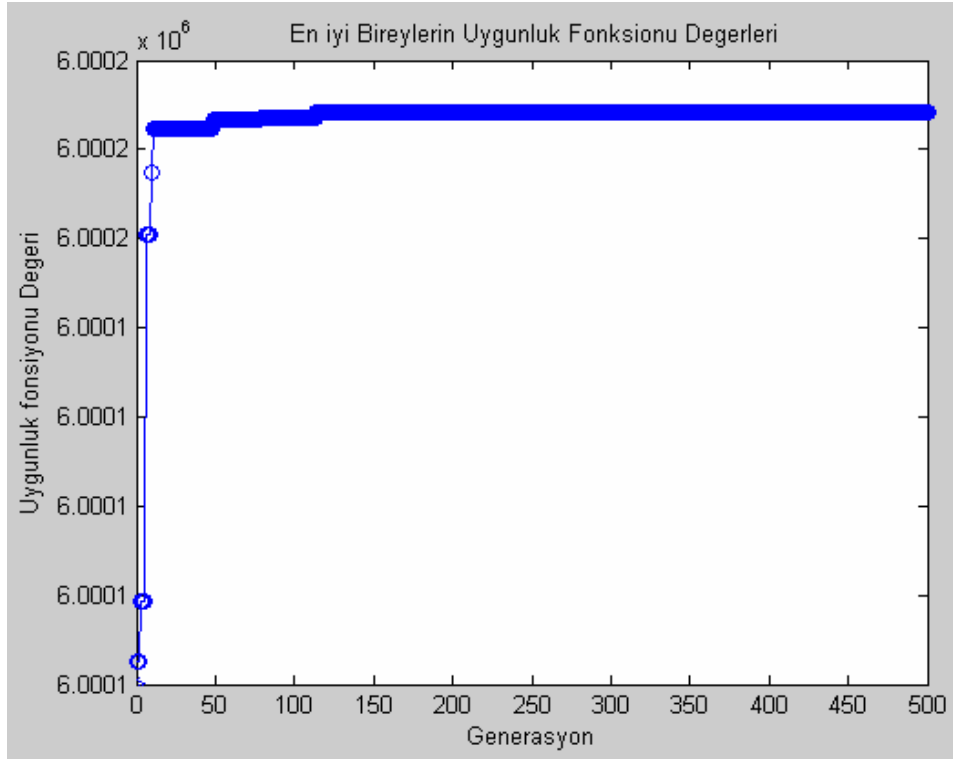
Tablo 4.8. Her bir generasyonun en büyük uygunluk fonksiyonu de erleri

Generasyon 1:	$f(43.973241, -0.84015)= 6000000.001216$
Generasyon 2:	$f(30.448881, 0.858085)= 6000064.994110$
Generasyon 6:	$f(177.487719, 0.362726)=6000160.741658$
Generasyon 7:	$f(177.487719, 0.362726)=6000160.741658$
Generasyon 10:	$f(177.487719, 0.368588)=6000174.921321$
Generasyon 11:	$f(134.665882, 0.516610)=6000184.670798$
Generasyon 49:	$f(134.665882, 0.519541)=6000186.813568$
Generasyon 79:	$f(154.271060, 0.452125)=6000187.040164$
Generasyon 113:	$f(154.271060, 0.455056)=6000187.245133$
Generasyon 123:	$f(145.397137, 0.484367)=6000188.507387$
Generasyon 124:	$f(145.397137, 0.484367)=6000188.507387$
Generasyon 499:	$f(145.397137, 0.484367)=6000188.507387$
Generasyon 500:	$f(145.397137, 0.484367)=6000188.507387$

Örnek güç sistemi modeli için uygunluk fonksiyonu olarak ifade edilen, sabit güç artının sa lanması ko ulu ile hat sonu yük barasının aktif güç de eri için ekil 4.3'de gösterildi i gibi genetik algoritmada generasyon ilerledikçe sürekli iyiye do ru giden çözümler sa lanır.

Uygunluk fonksiyonu içinde yer alan ceza fonksiyonu (P) de eri generasyon ilerledikçe sıfıra do ru yakla makta ve 124 üncü generasyonda sıfıra çok yakın de ere olan 0,00022 de erini alır. Bu durumda bundan sonraki generasyonlarda ceza

fonksiyonu etkisiz oldu u için (kısıt artı sa landı ı için) uygunluk fonksiyonu de eri amaç fonksiyonu de eri olarak ifade edilir.



ekil 4.3. Genetik algortmada uygunluk fonksiyonu de erleri

Genetik algoritmanın çalı ması sırasında uygunluk fonksiyonu ifadesinin negatif de er almaması için ba langıçta uygunluk fonksiyonu tanımlanırken $K = 6 \cdot 10^6$ sayısı eklenmi ti. Genetik algoritma sona erdi i zaman ba langıçta eklenen bu sayı göz önünde bulundurularak, sonuç ifadesinden çıkartılması neticesinde genetik algoritmanın buldu u gerçek en uygun de er bulunmu olur. Tablo 4.8 incelendi inde en uygun de er, $6000188,507387$ olarak görölmektedir. Gerçek en uygun de er ise, $6000188,507387 - 6 \cdot 10^6 = 188,507387$ olur.

Tablo 4.9. Genetik Algoritma ile bulunan kritik de erler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik De erler			
P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)		r_{krt} (Der.)
	faz- nötr	faz-faz	
188.51	145.39	251.83	27.75

Örnek sistemdeki iletim hatları de erlerinin kullanılması ile genetik algoritma ile bulunan kritik P_{rkrb} , V_{rkrb} , r_{krt} de erleri Tablo 4.9’da ifade edilmektedir.

4.5. Benzetim Tavlama Algoritması ile Kritik De erlerin Belirlenmesi

Güç sistemlerinde kritik de erler, hattan akan aktif güç de erinin en büyük de eri ve bu anda yük barasının sahip oldu u açı ve gerilim de eridir. Bu de erlerin belirlenebilmesi için yük barasının aktif güç denkleminin maksimizasyon optimizasyonu, benzetim tavlama ile yapılmaktadır.

BT’da amaç fonksiyonu a a ıdaki e itlikler olarak alınır.

$$AF=P_r$$

$$P_r = \frac{V_s V_r (b_1 \cos \delta + b_2 \sin \delta) - (a_1 b_1 + a_2 b_2) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.12)$$

Bu çalı mada, amaç fonksiyonun en büyük de eri aranmaktadır. Ceza fonksiyonunu daha etkin kullanabilmek için kısıt fonksiyonun mutlak de erinin karesi alınır. Ayrıca problemin özelli ine göre pozitif büyük bir sayı ile çarpılır.

$$P = r \times (KF)^2$$

Bu uygulamada “ r ” ceza katsayısı 200 olarak almak yeterli olmu tur.

Fonksiyonu veya gücü maksimuma götürececek olan de i kenler, hat sonu gerilimi olan V_r ve hat sonu açı de eri r dir. Bu de i kenler ba langıç de eri olarak normal çalı ma artlarıdır. Algoritma içerisinde alabilece i de erler ise tamamen rast gele olarak a a ıdaki fonksiyona göre belirlenirler.

$$V_r = 88 + rand * (220 - 88)$$

$$r = -1.5 + rand * 3$$

Buradaki fonksiyonlar,

gerilim olarak, “88 kV” ile “220 kV” (faz-nötr)

açı olarak ise, “-1.5 radyan” ile “+1.5 radyan” arasında rast gele bir de er üretirler.

4.5.1 Ba langıç sıcaklı ı

Ba langıç sıcaklı ını tespitite literatürde çe itli yöntemler olmasına ra men genellikle kullanıcının tecrübelerine ba lı olarak yüksek bir sıcaklık de erinden ba latılabilir. Burada önemli olan unsur algoritma sona erme ko ulları sa lanmı olması gerekmektedir. ki baralı iki de i kenli bu problem için seçilen de er $T=10^{19}$ olarak alınmı tır.

Her bir sıcaklıktaki iterasyon sayısı N_k ile ifade edilir. Birçok algoritmada bu de er algoritmanın boyutları ile orantılı olarak alınmı tır.

Sabit N_k :
$$N_{k+1} = N_0$$

Bu uygulama için $N_{k+1} = N_0 = 100$ olarak alınmı tır.

4.5.2 Algoritmanın adım sayısı

Malzemenin ısı alı veri i yapmadı ı durum veya malzemenin en son so utulaca ı nokta tespiti algoritmanın ba arısında önemli bir kriterdir. Durdurma kriteri olarak da ifade edilebilen adım sayısında son sıcaklı ın sıfıra kadar dü mesine izin verilmesi normaldir. Ancak pratikte sıcaklı ın sıfıra dü ürülmesine gerek yoktur.

Bu uygulama için adım sayısı veya en son sıcaklık tespiti olarak malzemenin en so uk durumu tespit edilmi tir. $T < 1$ olana kadar malzeme adım adım so utulacak ve adım sayısı veya iterasyon sayısı buna ba lı olacaktır.

4.5.3 Malzemenin so utulma hızı

Bu problem için sabit katsayılı so utma i lemi gerçeikle tirilmi tir. Bu yöntemde belli bir katsayı seçilerek her döngüde sıcaklık bu de er ile çarpılır.

$$\beta \in [0.50; 0.99]$$

$$T_{k+1} = \beta \times T_k$$

Bu yöntemde β katsayısı 0,8 den büyük de er olarak alındı ında daha ba arılı sonuçlara ula ıldı ı görülmü tür. Nitekim so utma β katsayısı 0.97 olarak alınmı ve malzemenin yava so utulması sa lanmı tır.

4.5.4. Benzetim Tavlama algoritması ile sonuçlarının elde edilmesi

Örnek sistem olarak de erleri verilen Keban Kayseri Ankara 380 kV' luk güç sistemindeki kritik de erler benzetim tavlama algoritması ile yukarıda açıklanan a amaların gerçekleştirilmesi neticesinde bazı iterasyon için amaç fonksiyonu de erleri Tablo 4.10'da verilmektedir.

Tablo 4.10. Belli iterasyonlardaki de i ken ve amaç fonksiyon de erleri

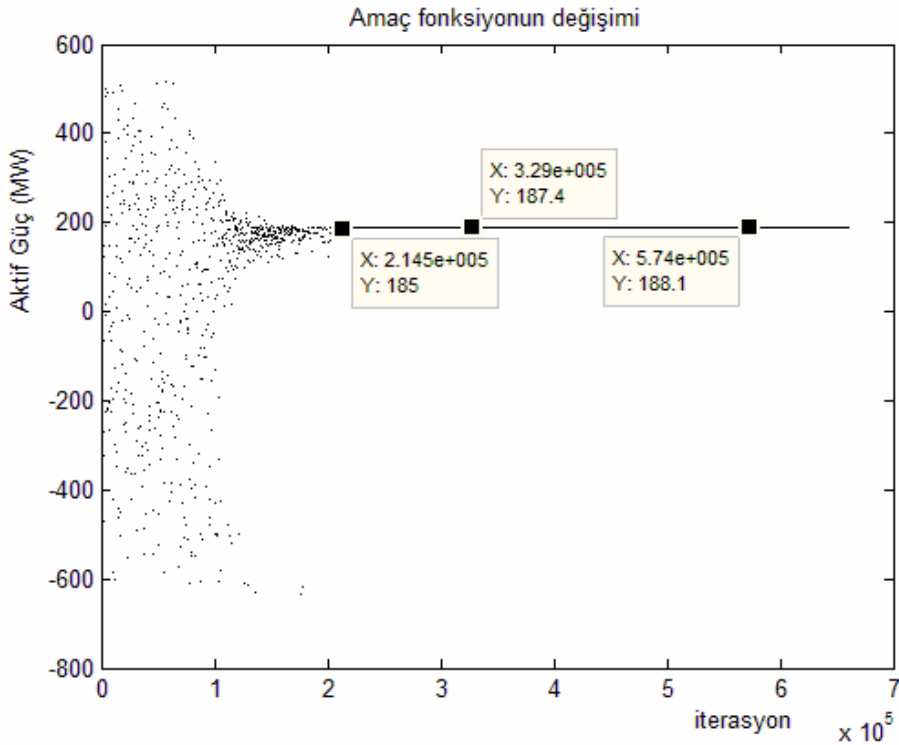
terasyon 1:	$f(141.90, 11.23) = 86.2323$
terasyon 2:	$f(164.87, 27.38) = 207.3527$
terasyon 3:	$f(114.68, 1.39) = 7.6090$
terasyon 4:	$f(209.87, 63.74) = 469.5624$
terasyon 1199:	$f(102.66, 5.40) = 40.5748$
terasyon 1200:	$f(153.91, 21.57) = 159.7661$
terasyon 163086:	$f(174.81, 20.16) = 166.6424$
terasyon 163128:	$f(148.50, 30.21) = 205.9165$
terasyon 163159:	$f(169.48, 22.22) = 177.1339$
terasyon 163234:	$f(98.01, 38.6614) = 171.5184$
terasyon 176998:	$f(112.26, 35.75) = 183.3305$
terasyon $2.75 \cdot 10^5$:	$f(157.53, 29.22) = 187.1378$
terasyon $3.42 \cdot 10^5$:	$f(146.83, 27.39) = 188.1286$
terasyon $6.78 \cdot 10^5$:	$f(146.83, 27.39) = 188.1286$

Örnek güç sistemi modeli için amaç fonksiyonu olarak ifade edilen, sabit güç artının sa lanması ko ulu ile hat sonu yük barasının aktif güç de eri için ekil 4.4'de gösterildi i gibi benzetim tavlama iterasyonda sürekli iyile do ru giden çözümler sa lanmaz. terasyon ba larında kabul kriterine ba lı olmakla beraber çözümlerin ço u alınır, iterasyonun sonlarına do ru ise iyile me yapılarak sadece iyi çözümler kabul edilir.

Algoritmada i halindeki enerji E_i bir sonraki durumda enerji E_j olsun, eğer $E_j - E_i \leq 0$ ise j hali mevcut durum olarak alınır. Aksi durumda j hali reddedilmez, Bu durum a adındaki denklemdeki olasılığa bağlı olarak kabul edilebilir.

$$w = e^{-\frac{E_j - E_i}{k_B T}}$$

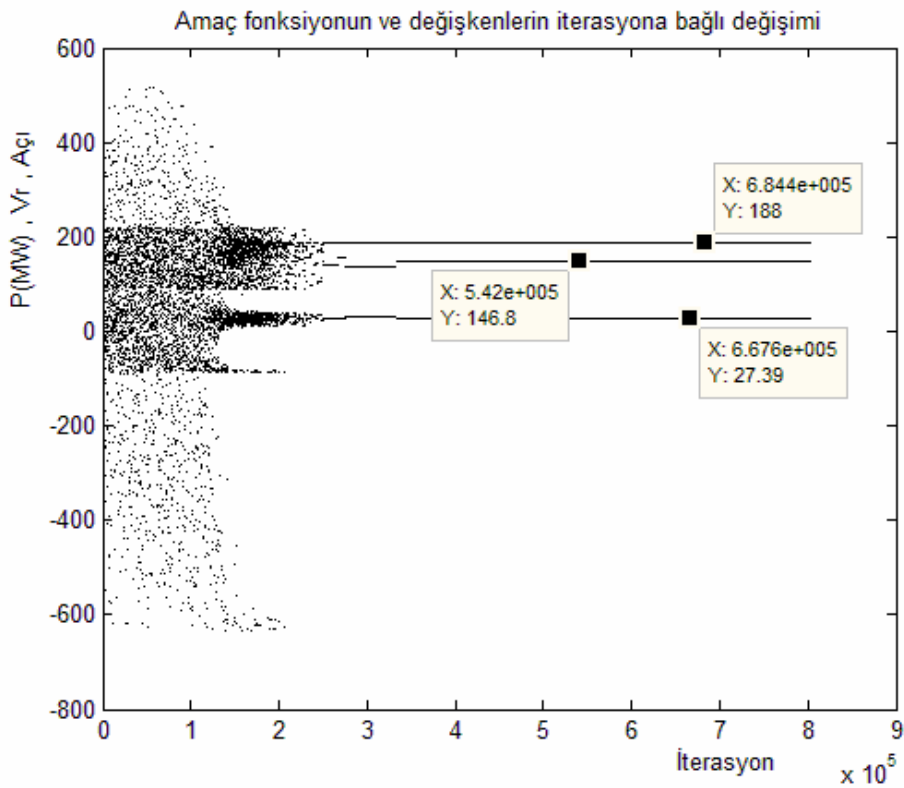
Bu olasılık değerine göre T 'nin yüksek olduğu sıcaklık değerlerinde, kabul kriteri olan " w " 1'e yakın bir değer çıkar. Bu değer rastgele üretilmiş olan 0 ile 1 sayısı arasındaki bir sayı ile karşılaştırılır. Bunun sonucunda algoritmanın başlarında çoğu değerler kabul edilir. Bunun sonucunda, algoritma başlangıç aşamasında geniş bir uzayda arama yaptığını ve yerel optimumlara takılmayacağını gösterir. Diğer bir ifadeyle amaç fonksiyonunda meydana gelen artışların çoğunun kabul edilmesi anlamına gelir. T ile ifade edilen sıcaklık değeri azaldıkça kabul edilme kriteri w , dolayısıyla kabul edilme olasılığı da azalacaktır. T 'nin azalmasına bağlı olarak arama en iyi optimum etrafında olacaktır. Bu durumlar Tablo 4.10 ve Şekil 4.4'de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Benzetim Tavlama amaç fonksiyonunun aldığı değerler

ekil 4.4 incelendi inde algoritmanın ba larında 1.2×10^5 iterasyona kadar geni bir alanda arama yapıldı ı görülmektedir. Kabul kriteri veya sıcaklı ın dü mesine ba lı olarak amaç fonksiyonun de i imi azalmakta, 2.1×10^5 den sonra iyile me azalmaktadır. 3.4×10^5 . iterasyondan sonra de i im olmamaktadır.

De i kenler ve amaç denkleminin de erleri aynı ekil üzerinde incelenirse ekil 4.5'deki de erler elde edilir. Burada iterasyona ba lı olarak iyileme sa landı ı gözlemlenmektedir. En iyi çözümün sa landı ı de erler, aç ı de eri için (25.28^0 , 29.22^0), gerilim de erleri için ise (137.1–157.5) kV arasında oldu u görülmektedir.



ekil 4.5. Benzetim Tavlama da de i kenlerin de i imi

Örnek sistemdeki iletim hatları de erlerinin kullanılması ile Benzetim Tavlama ile bulunan kritik P_{rkt} , V_{rkt} , r_{rkt} de erleri Tablo 4.11'de ifade edilmektedir.

Tablo 4.11. Benzetim Tavlama ile kritik de erler

Benzetim Tavlama ile Bulunan Kritik De erler			
P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)		r_{rkrt} (der.)
	faz- nötr	faz-faz	
188.12	146.83	254.31	27.39

4.6. Tabu Arama Algoritması ile Kritik De erlerin Belirlenmesi

Güç sistemlerinde kritik de erler, hattan akan aktif güç de erinin en büyük de eri ve bu anda yük barasının sahip oldu u aç ve gerilim de eridir. Bu de erlerin belirlenebilmesi için yük barasının aktif güç denkleminin maksimizasyon optimizasyonu, tabu arama algoritması ile yapılmaktadır.

BT’da amaç fonksiyonu a a ıdaki e itlik olarak alınır.

$$AF=P_r$$

$$P_r = \frac{V_s V_r (b_1 \cos \delta + b_2 \sin \delta) - (a_1 b_1 + a_2 b_2) |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.13)$$

Bu çalı mada, amaç fonksiyonun en büyük de eri aranmaktadır. Ceza fonksiyonunu daha etkin kullanabilmek için kısıt fonksiyonun mutlak de erinin karesi alınır. Ayrıca problemin özelli ine göre pozitif büyük bir sayı ile çarpılır.

$$P = r * (KF)^2$$

Bu uygulamada “r” ceza katsayısı 20×10^3 gibi büyük bir sayı olarak alınmıştır.

Fonksiyonu veya gücü maksimuma götürecektir. Burada bunlar hat sonu gerilimi olan V_r ve hat sonu aç de eri r dir. Bu de i kenler ba langıç de eri olarak, hat sonu gerilimin genlik de eri ve hat sonu gerilimin aç de eri belli sınırlar arasında rast gele bir de er olarak alınmıştır. Algoritma içerisinde alabilece i de erler de yine rast gele olarak a a ıdaki fonksiyona göre belirlenirler.

$$V_r = 88 + rand.(220 - 88)$$

$$r = -1.5 + rand.(3)$$

Buradaki fonksiyonlar,

V_r , gerilim olarak, “88 kV ile 220 kV”(faz-nötr)

r , açı olarak ise, “-1.5 radyan ile +1.5 radyan” arasında rast gele bir de er üretirler.

4.6.1. Tabu Listesinin olu turulması

Tabu listesi olu turulurken her döngüdeki en iyi çözüm listeye alınmakta, listenin doldu u durumda listedeki ilk kayıtlar (ba langıçtaki çözümler) listeden atılıp, son döngüler de elde edilen çözümler listeye alınmaktadır. A a ıda Tablo 4.12’de algoritmadan bir bölüm gösterilmi tir.

Tablo 4.12. Tabu listesindeki elemanların de i imi

iterasyon	Tabu listesi
9	276.9997 483.3373 299.6428 251.5566 325.0917 445.4149 478.8908 378.5456 303.2040
10	483.3373 299.6428 251.5566 325.0917 445.4149 478.8908 378.5456 303.2040 409.0452
11	299.6428 251.5566 325.0917 445.4149 478.8908 378.5456 303.2040 409.0452 415.8352
12	251.5566 325.0917 445.4149 478.8908 378.5456 303.2040 409.0452 415.8352 232.1252
13	325.0917 445.4149 478.8908 378.5456 303.2040 409.0452 415.8352 232.1252 402.6861
14	445.4149 478.8908 378.5456 303.2040 409.0452 415.8352 232.1252 402.6861 416.0870
15	478.8908 378.5456 303.2040 409.0452 415.8352 232.1252 402.6861 416.0870 445.2383
16	378.5456 303.2040 409.0452 415.8352 232.1252 402.6861 416.0870 445.2383 437.3958
17	303.2040 409.0452 415.8352 232.1252 402.6861 416.0870 445.2383 437.3958 442.2248
18	409.0452 415.8352 232.1252 402.6861 416.0870 445.2383 437.3958 442.2248 390.3003
19	415.8352 232.1252 402.6861 416.0870 445.2383 437.3958 442.2248 390.3003 472.9111
20	232.1252 402.6861 416.0870 445.2383 437.3958 442.2248 390.3003 472.9111 423.5978
21	402.6861 416.0870 445.2383 437.3958 442.2248 390.3003 472.9111 423.5978 360.5371

Tabu listesinde bir hareketin ne kadar süreyle kalacağı tabu listesinin uzunluğuna bağlıdır. Tabu hareketlerin sayısı listenin sayısına ulaştığında tabu listesinin başındaki en eski hareket listeden çıkartılır. Liste bir sıra yukarı hareket ettirilerek ikinci hareket birinci sıraya, üçüncü hareket ikinci sıraya, en son tabu olan harekette sondan bir önceki sıraya yerleştirilir. Böylece alan son sıraya ise son olarak yapılan hareket yerleştirilir. Burada örnek olması bakımından, tabu liste uzunluğu 10 olarak alınmıştır. Yapılan her iterasyondaki en büyük değerler listeye alınmakta ve ilk listeye giren değerler ise çıkmaktadır. Buradaki değerlere ceza fonksiyonu uygulanmamıştır.

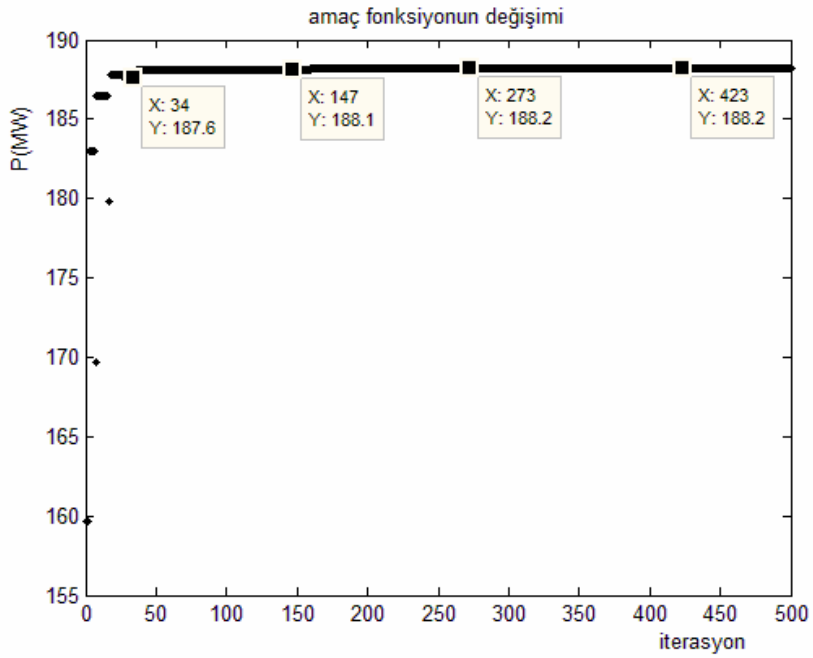
4.6.2. Tabu Arama Algoritması ile sonuçlarının elde edilmesi

Yapılan çalışmada liste uzunluğu 15000 ve iterasyon 500 olarak alınmıştır. Buna bağlı olarak iterasyonlarda elde edilen değerler Tablo 4.13 de verilmiştir.

Tablo 4.13. Belli iterasyonlardaki değerler ve amaç fonksiyon değerleri

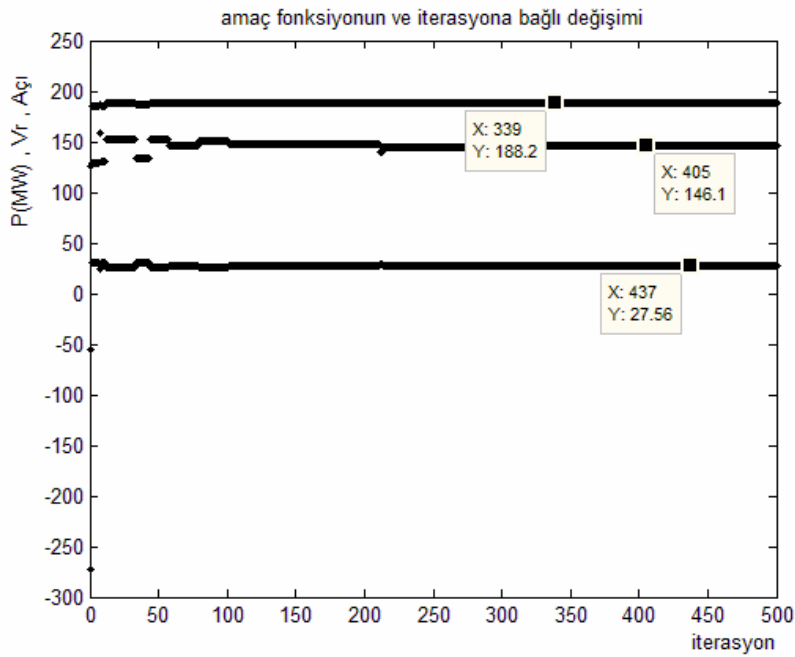
terasyon 1:	$f(103.00, 33.08) = 159.6519$
terasyon 2:	$f(103.00, 33.08) = 159.6519$
terasyon 3:	$f(123.92, 31.80) = 183.0144$
terasyon 4:	$f(123.92, 31.80) = 183.0144$
terasyon 8:	$f(157.85, 25.21) = 186.4399$
terasyon 18:	$f(150.52, 26.66) = 187.8035$
terasyon 36:	$f(147.21, 27.33) = 188.1098$
terasyon 98:	$f(151.52, 26.48) = 187.7643$
terasyon 225:	$f(147.58, 27.27) = 188.1761$
terasyon 320:	$f(147.58, 27.27) = 188.1761$
terasyon 410:	$f(147.58, 27.27) = 188.1761$
terasyon 500:	$f(147.58, 27.27) = 188.1761$

1. iterasyonda tabu sayısına bağlı olarak en iyi değerler elde edilmiştir. 2. iterasyonda daha iyi değer bulunamadığı için 1. iterasyon değeri aynı kalmıştır. Benzer durum 3. ve 4. iterasyonda da geçerlidir. Daha sonraki iterasyonlarda ise iyileşmeler görülmüştür.



ekil 4.6. Tabu aramada amaç fonksiyonunun aldığı değerler

ekil 4.6 incelendiğinde algoritmanın başlarında 50 iterasyona kadar iyileşme hızlı bir şekilde olmaktadır. 150. iterasyonlara kadar iyileşme devam etmekte, bu iterasyonda sonra iyileşme sabit kalmaktadır.



ekil 4.7. Tabu aramada değişkenlerinin aldığı değerler

Değerler ve amaç denkleminin değerleri aynı şekilde üzerinde incelenirse değeri 4.7'deki değerler elde edilir. Burada iterasyona bağlı olarak iyileştirme sağlandı gözlemlenmektedir. En iyi çözümün sağlandı değerler, açı değeri için (25.00° , 29.95°), gerilim değerleri için ise (133.8 , 158.9) kV arasında olduğu görülmektedir. Örnek sistemdeki iletim hatları değerlerinin kullanılması ile tabu arama algoritması ile bulunan kritik P_{rkrt} , V_{rkrt} , r_{rkrt} değerleri Tablo 4.14'de ifade edilmektedir.

Tablo 4.14. Tabu arama algoritması ile kritik değerler

Tabu Arama Algoritması ile Bulunan Kritik Değerler			
P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)		r_{rkrt} (der.)
	faz- nötr	faz-faz	
188.17	147.58	255.61	27.27

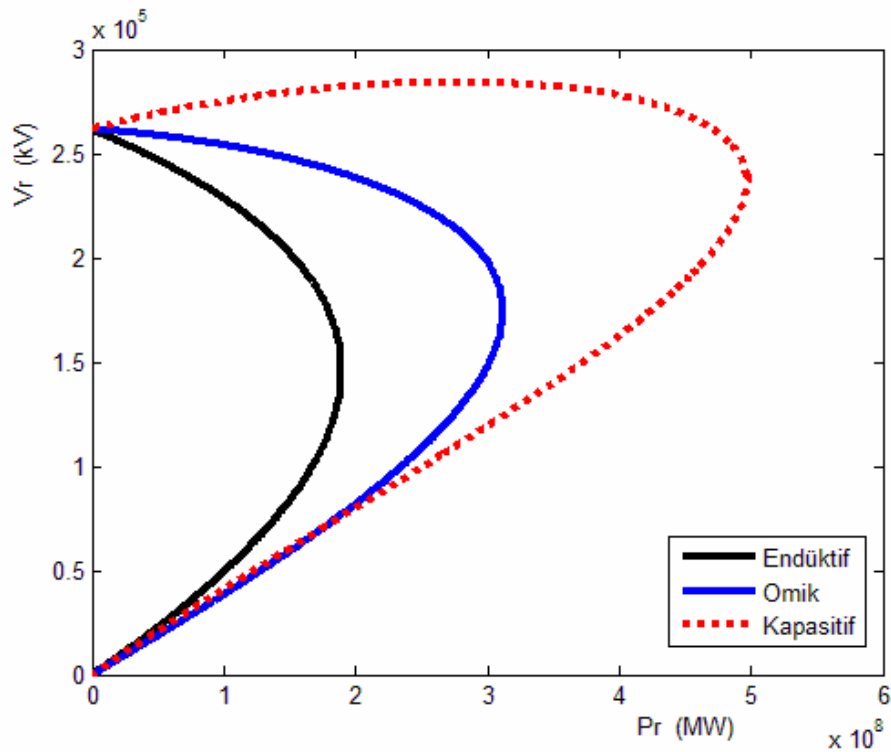
4.7. Güç Sisteminde Kritik Değerler Üzerine Olan Etkiler

Güç sisteminde kararlılık sınırı değerlerinin belirlenirken güç denklemleri içerisinde bulunan bazı büyüklüklerin etkilerini açıkça görmek mümkündür. Bu etkiler güç faktörünün etkisi, hat uzunluğunun etkisi, hat bağlı geriliminin etkisi, paralel hat sayısının etkisi, hat kayıp faktörünün etkisi, seri ve önt kompanzasyonların etkileri olarak ana gruplarda toplanabilirler [4]. Gerilim kararlılığı açısından bu etkilerin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtilen değerlik durumların güç sisteminin kritik değerleri üzerindeki etkileri aşağıda P-V eğrisi yöntemi, formül yöntemi ve sezgisel algoritmalar olan genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama yöntemleri ile incelenmektedir.

4.7.1. Güç faktörünün etkisi

Verilen iki baralı sistemde, $\varphi=30^{\circ}$ ve güç faktörü 0.866 değerinde sabit tutulmak artı ile yük barasının gücü kademe kademe artırılarak her bir durum için V_{r1} , V_{r2} değerleri hesaplanmıştır, bu değerlerin bir eksen takımı üzerinde gösterilmeleri neticesinde değeri 4.2'deki P-V eğrisi elde edilmiştir. Tek bir güç açısı yerine, $\varphi=0^{\circ}$, $\varphi=30^{\circ}$, $\varphi=-30^{\circ}$ gibi değerlik güç açısı değerleri dikkate alınması durumlarında, farklı

güç faktörleri de erleri olan, $\cos\phi=1$ (omik), $\cos\phi=0.86$ (endüktif) ve $\cos\phi=0.86$ (kapasitif) de erleri için yük barasının P-V e rileri çizdirildi inde, ekil 4.8'de gösterilen P-V e rileri elde edilmektedir.



ekil 4.8. De i ik güç katsayıları için P-V e rileri

Verilen örnek iki baralı sistemde de i ik güç katsayılarının kritik durumlara olan etkisi, analitik, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçları ise kar ıla tırmalı olarak a a ıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.15. Yükün güç katsayısı $\cos\phi = -30^\circ$ (Endüktif) olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	δ_{rkrt} (der.)
Formüllerle	189.15	146.14	27.61
Genetik Algoritma	188.51	145.39	27.75
Benzetim Tavlama	188.05	146.28	27.50
Tabu Arama	188.25	146.06	27.58

Tablo 4.16. Yükin güç katsayısı $\cos \phi = 0^\circ$ (Omik) olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	311.65	174.57	42.61
Genetik Algoritma	310.12	174.59	42.51
Benzetim Tavlama	309.92	174.25	42.56
Tabu Arama	309.93	174.52	42.49

Tablo 4.17. Yükin güç katsayısı $\cos \phi = 30^\circ$ (Kapasitif) olması durumunda kritik de erler

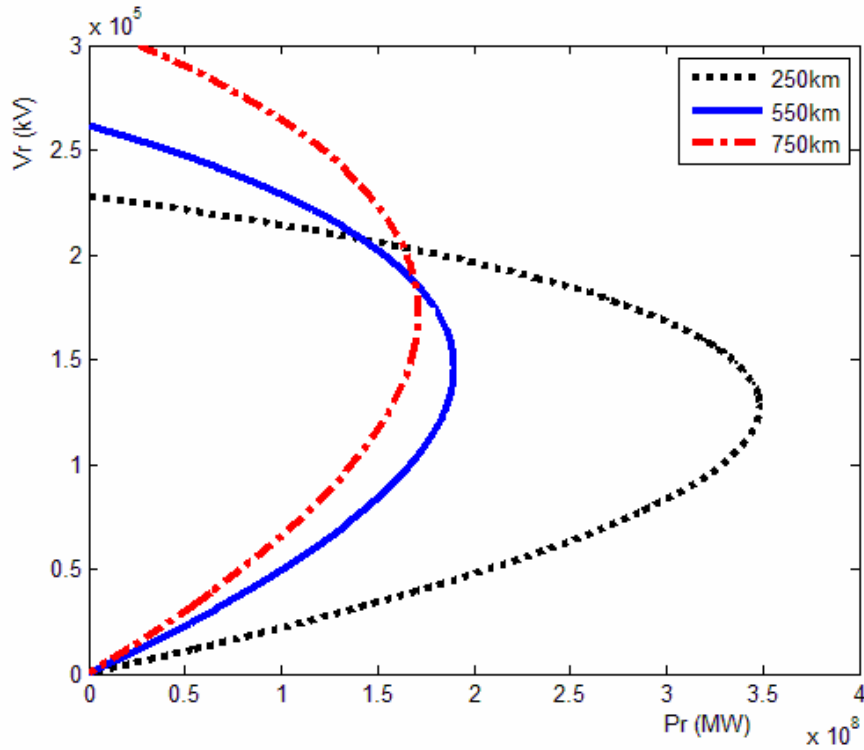
Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	496.42	236.75	57.61
Genetik Algoritma	493.81	236.33	57.52
Benzetim Tavlama	493.72	236.15	57.60
Tabu Arama	493.71	236.08	57.63

ekil 4.8’de elde edilen P-V e rileri ve sezgisel olarak elde edilen de erler incelendi inde güç faktörünün endüktifden kapasitife do ru gitmesine ba lı olarak kritik de erlerin arttı ı görülmektedir [123]. Bu durum enerji iletim hattındaki aktif güç ta ıma kapasitesi bakımından olumlu bir durum gözükse de, yük barasının kritik gerilim de erinin artması bakımında olumsuz bir durumdur. Güç katsayısının belli sınırlar dı ına ta ması durumunda gerilim kararlılı ı açısından güç sistemine kontrollerler vasıtasıyla müdahale edilmesi(önt kapasitelerin devreye alınması gibi) ve yük barasının geriliminin istenilen seviyede tutulması gerekmektedir [81].

4.7.2. Hat uzunlu unun etkisi

Kararlılık açısından hat uzunlu u de i tirilerek sistemin kritik de erlerinin de i tirilmesi daha sonradan mümkün de ildir. Bu sebeple güç sisteminin tasarımı a masında özellikle güzergâh seçiminde, hat uzunlu unun kritik de erler üzerindeki etkisinin incelenmesi gereklidir. İletim hattının omik ve endüktif reaktansı ohm/km, süseptansı ise S/km (kondüktans ihmal edilirse) olarak verildi inden iletim hattının uzunlu unun de i mesi, hattın parametrelerinin (A, B, C, D) de i mesine sebep olur. Bu parametrelerin de i imine ba lı olarak P-V e risi, dolayısıyla güç

sisteminde kritik de erler de de i ir. Verilen sistemde $\cos\phi=0.866$ (end) sabit güç katsayısı altında çalışmakta ve üç farklı uzunluktaki hattın P-V e rileri ekil 4.9'da görülmektedir.



ekil 4.9. De i ik hat uzunlukları için P-V e rileri

Örnek iki baralı sistemde de i ik hat uzunluklarının kritik durumlara olan etkisi, analitik, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçları ise karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.18. Hat uzunluğunun kısa hat olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	δ_{rkrt} (der.)
Formüllerle	346.59	127.16	27
Genetik Algoritma	346.79	127.44	26.98
Benzetim Tavlama	346.56	127.60	26.90
Tabu Arama	346.57	127.28	26.97

Tablo 4.19. Hat uzunluğunun orta hat olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	188.73	145.98	27.43
Genetik Algoritma	188.51	145.39	27.75
Benzetim Tavlama	188.14	145.03	27.76
Tabu Arama	188.13	145.62	27.64

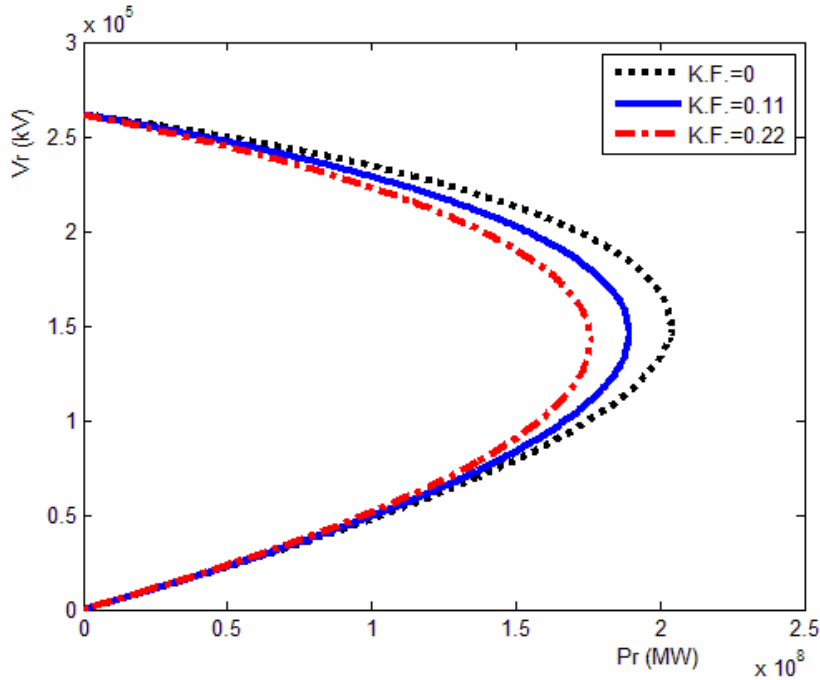
Tablo 4.20. Hat uzunluğunun uzun hat olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	169.82	171.63	28.41
Genetik Algoritma	170.01	170.88	28.19
Benzetim Tavlama	169.82	171.02	28.51
Tabu Arama	169.82	171.49	28.43

ekil 4.9'deki P-V eğrilerinden ve sezgisel algoritmalar sonucu elde edilen değerlerden, görüldüğü gibi hat uzunluğunun artmasına bağlı olarak gerilim kararlılığı açısından olumsuz bir durum ortaya koymaktadır. Enerji iletim hatlarının kısalması gerilim kararlılığı açısından daha kararlı bir durum sergilemektedir.

4.7.3. Hat kayıp faktörünün etkisi

Bir iletim hattında hattın omik direncinin endüktif reaktansına oranına hattın kayıp faktörü denir. Kayıp faktörü enerji iletim hattının yapısal büyüklüklerinden olup $\alpha = r / \omega L$ şeklinde hesaplanır. Kayıp faktörü sıfır olan bir iletim hattının omik direnç değeri de sıfırdır. Hattın kayıp faktörünün değeri hattın omik direncinin endüktif direncine oranını dolayısıyla hattın A, B, C, D sabitlerinin değeri mesine sebep olmaktadır. Bu durumda güç sisteminin kritik değerlerin değeri mese söz konusudur. Örnek sistemde hat verilerinin kullanılması ile kayıp faktörünün 0, 0.11, 0.22 olması durumunda P-V eğrileri ekil 4.10'deki gibi olmaktadır.



ekil 4.10. De i ik kayıp faktörleri için P-V e rileri

Örnek iki baralı sistemde de i ik kayıp faktörlerinin kritik durumlara olan etkisi, analitik, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçları ise karşılaştırmalı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.21. Hat kayıp faktörü, =0 olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{krt} (der.)
Formüllerle	202.30	150.69	30.00
Genetik Algoritma	202.54	150.87	30.02
Benzetim Tavlama	202.91	150.59	30.02
Tabu Arama	202.34	150.34	30.08

Tablo 4.22. Hat kayıp faktörü, =0.11 olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{krt} (der.)
Formüllerle	188.14	145.75	27.62
Genetik Algoritma	188.34	145.91	27.67
Benzetim Tavlama	188.14	145.64	27.64
Tabu Arama	188.12	145.84	27.60

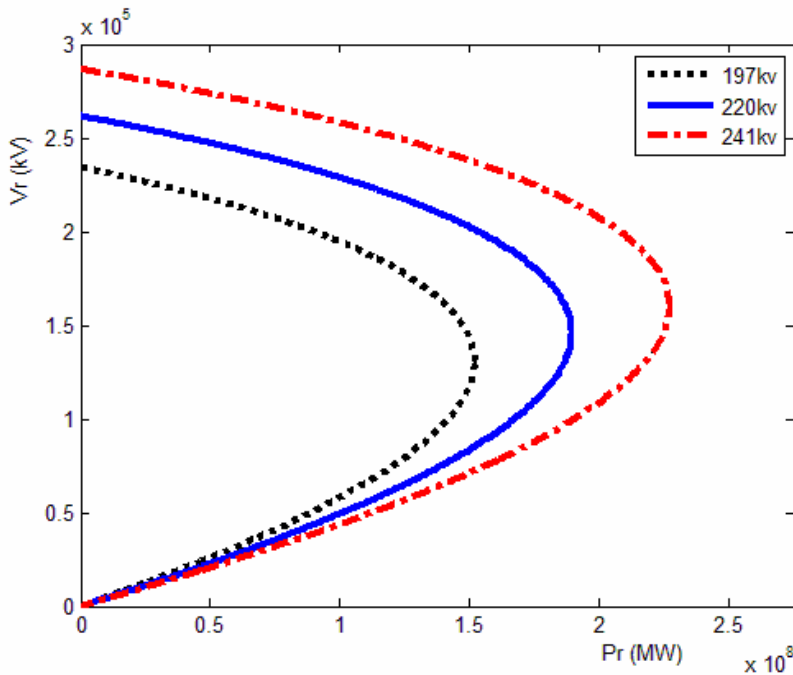
Tablo 4.23. Hat kayıp faktörü, $\alpha=0.22$ olması durumunda elde edilen kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	174.73	141.67	25.31
Genetik Algoritma	174.89	140.44	25.55
Benzetim Tavlama	174.71	141.69	25.30
Tabu Arama	174.75	140.71	25.48

Enerji iletim hattında, hattın omik direncinin endüktif reaktansına oranı olan kayıp faktörü analizinde, P-V eğrileri, formüller ve sezgisel algoritmalar sonucu elde edilen değerler göstermektedir ki; kayıp faktörünün büyümesi gerilimin kritik değeri açısından olumlu olmasına karşılık, kritik yük gücü değeri için olumsuz bir durum meydana getirmektedir. Bu durum şekil 4.10'daki P-V eğrileri ile de gösterilmektedir.

4.7.4. Hat başı geriliminin etkisi

Örnek sistemin verilerinin kullanılması ile hat başı gerilimi %10 adımlar ile artması ve azalması neticesinde güç sisteminin kararlılık değerlerinin değişimi şekil 4.11'de verilmektedir.



Şekil 4.11. Değişik hat başı gerilimleri için P-V eğrileri

Hat ba 1 geriliminin artmasının kritik de erlerin de artmasına sebep oldu u ekil 4.11'de verilen P-V e rilerinden görülmektedir. Sistemde herhangi bir nedenle gerilim kararsızlı ı sonucunda bir dü mesi meydana gelmesi durumunda hat sonu gerilimini büyötmek amacı ile hat ba 1 geriliminin genli i artırılabilir. Bu durumda hattan çekilen aktif güc de erinin de i medi i dü ünölür ise hat sonundaki yük barasının geriliminin daha da dü ece i ekil 4.11'de P-V e risi üzerinden görülmektedir. Buradan yük altında kademe de i tiren trafoların, gerilimin azalması durumunda kademe arttırılması neticesinde hat sonu geriliminin daha da azalmasına neden oldukları sonucu çıkmaktadır. Güc sistemi çok hızlı de i ime sahip bir bozucu etkiye maruz kaldı ında kademe de i tiricilerin yava cevap vermeleri gerilim kararlılı ını sa lamada yetersiz kalmaktadır [124,125].

Sistemde çe itli hat ba 1 gerilim de erlerinin kritik durumlara olan etkisi, analitik, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak elde edilmi tir. Sonuçları ise kar ıla tırılmalı olarak a a ıdaki tablolarda verilmi tir.

Tablo 4.24. Hatba 1 geriliminin 197 kV olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	152.37	131.17	27.62
Genetik Algoritma	152.57	131.21	27.75
Benzetim Tavlama	152.36	131.26	27.59
Tabu Arama	152.36	131.40	27.56

Tablo 4.25. Hatba 1 geriliminin 220 kV olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	188.11	145.74	27.62
Genetik Algoritma	188.51	145.39	27.75
Benzetim Tavlama	188.51	145.39	27.75
Tabu Arama	188.09	145.49	27.66

Tablo 4.26. Hatba 1 geriliminin 241 kV olması durumunda elde edilen kritik değerler

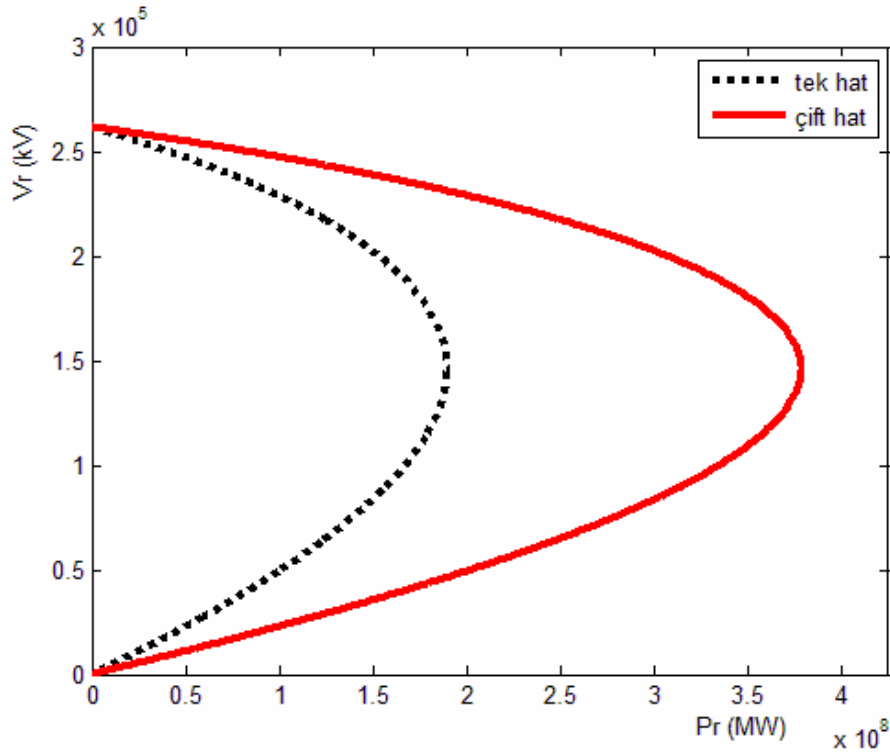
Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	227.62	160.32	27.62
Genetik Algoritma	227.80	160.67	27.75
Benzetim Tavlama	227.63	160.23	27.63
Tabu Arama	227.63	159.98	27.67

Hatba 1 geriliminin artırılması gerilim kararlılığını olumlu olarak etkilediği, elde edilen grafik ve tablolarındaki değerler bunu göstermektedir. Sezgisel yöntemlerle elde edilen değerler ile analitik olarak elde edilen değerler arasında paralellik olduğu gözlenmektedir.

4.7.5. Kullanılan paralel hat sayısının etkisi

iletilecek enerjinin büyüklüğü, güvenilirliği, işletme zorluğu v.b. nedenler ile üretim ve tüketim merkezleri arasında birden fazla sayıda paralel iletim hattı kurulması gerekli olmaktadır. Günümüzde uzun mesafeli enerji iletiminde, birden fazla paralel hattın kurulması ve işletilmesi sıkça rastlanılan bir durumdur. Aynı özelliklere sahip paralel iki hat için örnek sistem verilerine göre P-V eğrisi deşimleri Şekil 4.12’de görülmektedir.

Güç sistemi tek yerine çift hat yapıldığında kritik gerilim değeri fazla değeri mezken kritik güç değeri neredeyse iki kat artmaktadır. Buda transfer edilen aktif güç miktarının iki kat artması demektir. Bu durumun en büyük sakıncası çift hatlı sistemde hatlardan bir tanesi herhangi bir neden ile devre dışı kalırsa güç taşıma kapasitesi azalacağından güç sistemi için aşırı yüklü durum söz konusu olabilir. Ayrıca hat empedansı iki katına çıkacağından hattaki gerilim düşümleri de artacaktır [81].



ekil 4.12. Paralel tek ve çift hatta sahip güç sistemleri için P-V e rileri

Üzerinde çalıştırılan sistemde tek veya birbirine paralel iki hat olması durumunun kritik de erlere olan etkisi, analitik, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçları ise kar ıla tırmalı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.27. Enerji iletim hattının tek olması durumunda kritik de erler

Yöntem	$P_{\text{rkr}} \text{ (MW)}$	$V_{\text{rkr}} \text{ (kV)}$	$r_{\text{kr}} \text{ (der.)}$
Formüllerle	188.11	145.74	27.62
Genetik Algoritma	188.51	145.39	27.75
Benzetim Tavlama	188.12	145.51	27.66
Tabu Arama	188.11	145.56	27.65

Tablo 4.28. Enerji iletim hattının paralel iki hat olması durumunda elde edilen kritik değerler

Yöntem	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (kV)	r_{rkt} (der.)
Formüllerle	376.23	145.74	27.62
Genetik Algoritma	376.23	146.53	27.44
Benzetim Tavlama	376.23	145.44	27.67
Tabu Arama	376.32	145.76	27.62

Analitik ve sezgisel olarak elde edilen değerlerden de görülmektedir ki, paralel hat sayısının artmasıyla gerilim kararlılığı olumlu bir şekilde etkilenmektedir. Tek hat ile güç iletimi durumunda hat sonundaki gerilim ile aynı güç iletiminde paralel hat sonundaki gerilimin farkı bunu en iyi şekilde ortaya koymaktadır.

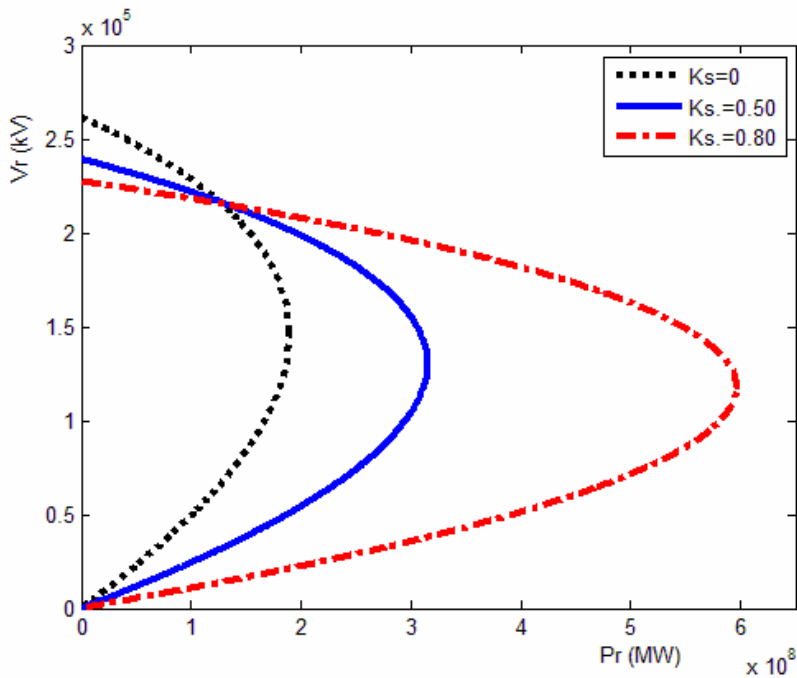
4.7.6. Seri kompanzasyonun etkisi

Enerji iletim sistemine bağlanacak seri kapasitif eleman (kondansatör) ile hattın endüktif reaktansının hat gerilimi üzerindeki etkisi azaltılmaya veya tamamen yok edilmeye çalışılır. Seri kompanzasyon yapılması ile güç sisteminin kritik değerinde değişimler olmaktadır [126]. K_s , seri kompanzasyon oranını ifade etmek üzere, seri kompanzasyon yapılması durumunda, iletim hattının empedansı,

$$Z = R + j(1 - K_s)X \quad (4.14)$$

olarak değerlendirilir [127]. Bunun sonucu olarak seri kompanzasyon ile, güç sistemindeki iletim hattının A, B, C, D katsayıları değişir. Buna bağlı olarak sistemin kararlılık değerleri de değişir. Bu durumu ifade eden P-V eğrileri Şekil 4.13'de gösterilmektedir.

Güç sisteminde seri kompanzasyon, seri kompanzasyon yüzdesi ile ifade edilmektedir. Seri kompanzasyon ile denklem 4.14'de belirtildiği gibi hattın endüktif reaktansı, bağlanan seri kapasitans ile seri olacağından toplam reaktans bunların farkı olacaktır. % 50 seri kompanzasyon, hattın endüktif reaktans değerinin yarıya düşmesi anlamına gelir. Seri kompanzasyon yüzdesi için pratik üst limit % 80 dir [128]. Bu oran % 100 yapılırsa en küçük bir bozucu etkide dahi büyük arıza akımları oluşabilir. Ayrıca temel frekansta seri rezonans da oluşabilir ve bu durumda oluşabilecek transient akım ve gerilimlerin kontrolü son derece zor olmaktadır [81].



ekil 4.13. De i ik seri kompanzasyon oranları için P-V e rileri

Verilen iki baralı sistemde hat üzerinde seri kompanzasyon yapılması durumunun kritik de erlere olan etkisi, analitik, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçları ise kar ılı tırmalı olarak a ıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.29. Seri kompanzasyon oranının 0 olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{krt} (der.)
Formüllerle	189.89	146.44	27.09
Genetik Algoritma	188.51	145.39	27.75
Benzetim Tavlama	188.11	146.59	27.45
Tabu Arama	188.06	146.62	27.44

Tablo 4.30. Seri kompanzasyon oranının 0.50 olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{krt} (der.)
Formüllerle	312.96	130.04	24.51
Genetik Algoritma	313.18	130.44	24.47
Benzetim Tavlama	312.94	130.60	24.40
Tabu Arama	312.96	130.90	24.34

Tablo 4.31. Seri kompanzasyon oranının 0.80 olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	593.10	117.49	16.28
Genetik Algoritma	593.29	118.50	16.16
Benzetim Tavlama	593.13	117.92	16.22
Tabu Arama	593.08	117.22	16.31

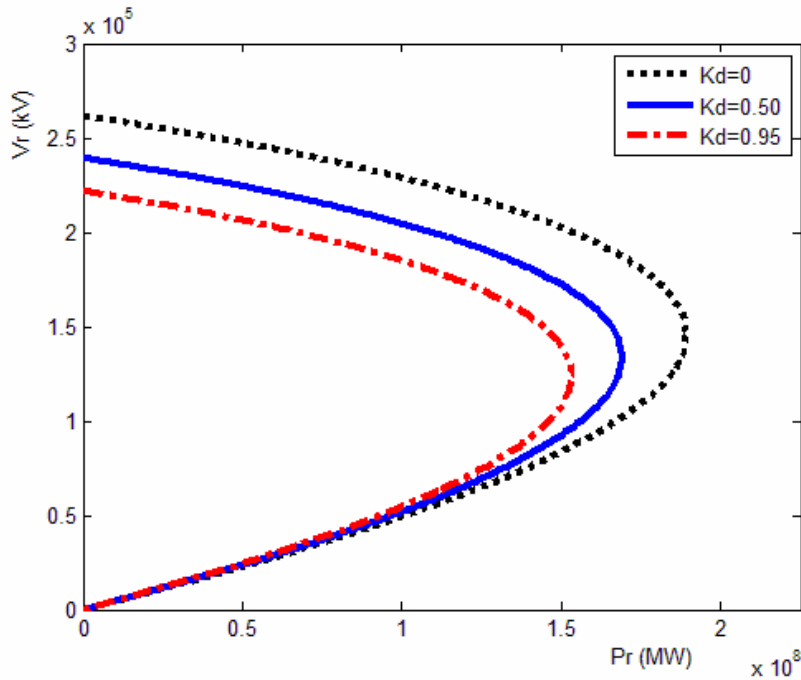
Yukarıdaki tablolardan da görüldüğü gibi, seri kompanzasyon gerilim kararlılığını olumlu yönde etkilediği söylenebilir. Ancak bu da unutulmamalıdır ki seri kompanzasyon oranı % 80'i geçmemelidir.

4.7.7. Önt kompanzasyonun etkisi

Bir güç sisteminde önt kompanzasyonun dikkate alınmadığı durumda, boşa çalışan iletim hattının yük barsı gerilimi kararlı halde en yüksek değere çıkar. Açma-kapama olaylarında da aşırı gerilimler oluşur. Yeterli kompanzasyon yapılmaz ise hat ve sistemden akacak kapasitif akımlar sisteme bağlı cihazlarda aşırı gerilim oluşmasına sebep olur. Bu nedenlerden dolayı uygun yerlere önt reaktörler konulur. Bu reaktörler genellikle iletim hattının ucuna do rudan faz nötr arasına bağlanır [129]. Önt reaktörler iletim hattının Y sabitini önt kompanzasyon oranında azaltırlar. K_d önt kompanzasyon oranını ifade etmek üzere, önt kompanzasyon ile hattın önt kapasitesi,

$$Y_y = (1 - K_d) \times Y \quad (4.15)$$

olarak denir. Önt kompanzasyon oranı (K_d) yüzde olarak ifade edilir. Deneyik önt kompanzasyon yüzdeleri için P-V eğrilerinin değişimi Şekil 4.14'de gösterilmektedir.



ekil 4.14. De i ik önt kompanzasyon oranları için P-V e rileri

Verilen iki baralı sistemde hat üzerinde önt kompanzasyon yapılması durumunun kritik de erlere olan etkisi, analitik, genetik algoritma, benzetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak elde edilmiştir. Sonuçları ise kar ılı tırmalı olarak a a ıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 4.32. önt kompanzasyon oranının 0 olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{krt} (der.)
Formüllerle	189.99	146.44	27.09
Genetik Algoritma	188.51	145.39	27.75
Benzetim Tavlama	188.13	145.51	27.66
Tabu Arama	188.14	146.14	27.54

Tablo 4.33. önt kompanzasyon oranının 0.50 olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{krt} (der.)
Formüllerle	167.97	133.54	27.22
Genetik Algoritma	168.16	134.56	27.10
Benzetim Tavlama	167.94	134.27	27.06
Tabu Arama	167.95	134.36	27.04

Tablo 4.34. önt kompanzasyon oranının 0.95 olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (kV)	r_{rkrt} (der.)
Formüllerle	152.33	123.96	26.89
Genetik Algoritma	152.52	124.11	26.87
Benzetim Tavlama	152.34	123.99	26.88
Tabu Arama	152.33	123.42	27.02

Formül, P-V e rileri ve sezgisel yöntemlerle elde edilen de erler paralellik göstermektedir. Buna göre, önt kompanzasyon yapılması durumunda gerilim kararlılı ı sınırlarının küçüldü ü gözlemlenmektedir.

BÖLÜM 5. N BARALI S STEMDE GER L M KARARLILI I KR T K DE ERLER N N NCELENMES

5.1.Giri

Bir önceki bölümde yapılan çalı mada en basit sistem örne i olan iki baralı sistem ele alınmı , klasik ve sezgisel yöntemler bu sistem üzerine uygulanmı tı. Bu bölümde ise N baralı sistemi temsil eden en küçük sistem olan 3 baralı sistem ele alınacaktır. Daha sonra 6 baralı sistem üzerinde kritik de erlerin belirlenmesi üzerine çalı malar yapılacaktır. En son olarak da 14 baralı bir sistem üzerinde çalı malar gerçekleştirilecektir. Bütün sistemler üzerine klasik ve sezgisel yöntemler sırasıyla uygulanacaktır. Burada yük baralarının kritik aktif güç, gerilim genlik ve açı de erlerinin yük akı ı programı ile belirlenmesinin ardından aynı kritik de erler sezgisel algoritmalar ile de bulunmaya çalı ılacaktır. Ortaya çıkan sonuçlara göre gerilim kararlılı ı kritik de erlerinin belirlenmesinde sezgisel algoritmaların yeni bir yöntem olarak kullanılıp kullanılmayaca ı ara tırılacaktır.

N baralı bir sistemde yük baralarının kritik de erleri sezgisel yöntemlerle aranırken amaç, ceza, kısıt fonksiyonlarının olu turulması gereklidir. Bu durumda kullanılacak olan bu fonksiyonlara dayanak olarak, Newton Raphson yük akı ı denge denklemleri kullanılmı tır.

Sezgisel algoritmalar ile çözüm yapılırken çe itli de erlere ihtiyaç duyulur, bunlar x olarak ifade edilirse,

$$x = \begin{bmatrix} V \\ \delta \\ P \\ Q \end{bmatrix} \quad (5.1)$$

Burada, 5.1 ifadesi açılacak olursa,

$$V = \begin{bmatrix} V_p \\ V_f \end{bmatrix}$$

V_p de eri bilinen gerilim genlik de erlerini ifade etmektedir, bunlar, salınım barası ve PV barasının gerilim genlik de erleridir.

V_f de eri bilinmeyen gerilim de erleridir, bunlar ise yük barasının gerilim genlik de eridir.

$$\delta = \begin{bmatrix} \delta_p \\ \delta_f \end{bmatrix}$$

δ_p de eri bilinen gerilim açı de erleridir, bunlar sadece salınım barasının de erleri olarak alınır.

δ_f de eri bilineyen gerilim açı de erleri, bunlar salınım barası hariç tüm baraların açı de erleridir.

$$P = \begin{bmatrix} P_p \\ P_f \end{bmatrix}$$

P_p de eri bilinen aktif güç de erleridir, bunlar salınım barası hariç tüm baraların yani generatör ve yük baralarının aktif güç de erleri olarak alınır.

P_f de eri bilinmeyen aktif güç de eri, bu de er sadece salınım barsının de eridir.

$$Q = \begin{bmatrix} Q_p \\ Q_f \end{bmatrix}$$

Q_p de eri bilinen reaktif güç de erleri, bunlar sadece yüklerin veya yük baralarının reaktif güç de erleridir.

Q_f de eri bilinmeyen reaktif güç de erleri, bunlar salınım barası ve di er generatör baraları, varsa kompensatörlerin reaktif güç de erleridir.

Güç sistemlerinde, yük baralarının aktif güç de erlerini ifade eden denklemler lineer olmayan bir durum arz ederler. Hangi baranın kritik de eri aranıyorsa o baranın aktif

güç denklemi amaç fonksiyonu olarak alınır. Bu ifade ise, denklem 5.2'deki gibi ifade edilir.

$$P_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (5.2)$$

Bu ifade içindeki semboller açıldığında,

P_i : i . Baraya giren veya i . baradan çıkan toplam güç

v : i . veya j . bara gerilimlerinin genlik değeri

g_{ij}, b_{ij} : i . ve j . baraları arasındaki hatların admitans ifadesinin reel ve sanal kısımları

δ_{ij} : i . ve j . bara gerilimlerinin açı değerlerinin farkı

Kısıt fonksiyonları ise, güç değerleri bilinen bara denklemleridir. Bunlar ise; salınım barası hariç, PV generatörlerin aktif güç denklemlerinin denge durumlarıdır.

Bu durum ifade edilirse,

$$\Delta P_i = P_{gi} - P_i$$

eklinde yazılabilir. Burada,

ΔP_i : i . baranın aktif güç dengesidir

P_{gi} : i . baraya bağlı aktif güç değeri bilinen generatör

P_i : i . baradan sisteme aktarılan aktif güç

Sistemde ikinci kısıt denklemleri olarak ise yük baralarının aktif ve reaktif güç denklemleri alınır.

$$\Delta P_i = P_{Li} - P_i$$

$$\Delta Q_i = Q_{Li} - Q_i$$

eklinde olur. Burada,

P_{Li} : i . baradan çekilen yükün aktif güç miktarı

Q_{Li} : i . baradan çekilen yükün reaktif güç miktarı

Uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ile kısıt fonksiyonlarının toplamı olarak aşağıdaki şekilde ifade edilirse,

$$F(x) = -P_k(x) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq k}}^m r_{1i} (\Delta P_i^2(x) + \Delta Q_i^2(x)) + \sum_{i=M+1}^n r_{2i} (\Delta P_i^2(x) + \Delta Q_i^2(x)) \quad (5.3)$$

eklinde yazılır. Kısıt denklemlerinde elde edilen de erlerin kareleri alınarak ceza fonksiyonunun her zaman pozitif çıkması sa lanır. r 'ler penaltı faktörü olup de erleri büyük bir pozitif do al sayılardır.

Algoritmada kullanılan de i ken kısıtları;

$$v_{i\min} \leq v_i \leq v_{i\max} \quad (\text{pu})$$

$$\delta_{i\min} \leq \delta_i \leq \delta_{i\max} \quad (\text{radyan})$$

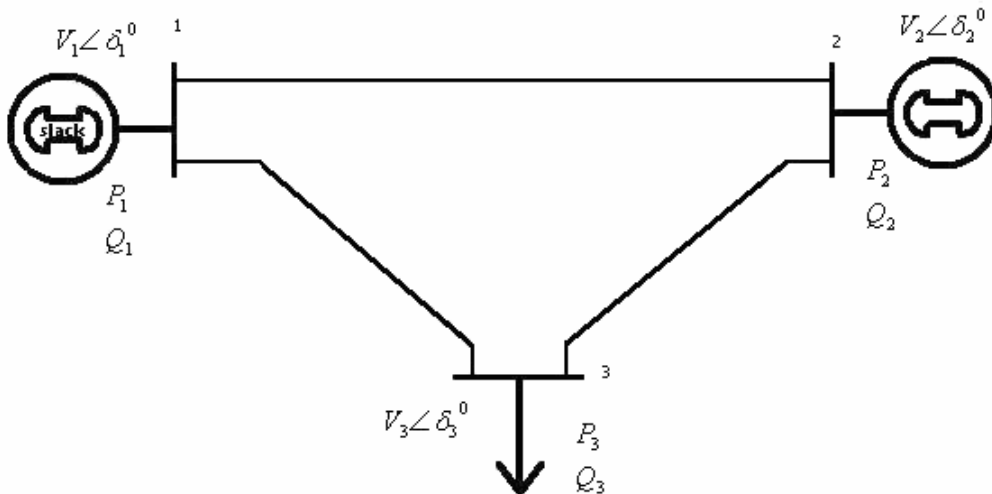
olarak gerilimin genlik ve açısının alabilecekleri en büyük ve en küçük de erler sınırlar olarak tanımlanırlar.

5.2. Üç Baralı Güç Sisteminde Kritik De erlerin Belirlenmesi

Çok baralı sistemi temsil eden ve formüllerle do rudan çözüm üretilemeyen en küçük güç sistemi, üç baralı bir sistemdir. Bu sistemde bir salınım barası, bir PV barası, bir adet de yük barası mevcuttur. Bu üç baralı güç sistemi de i ik çalı ma ko ulları altında i letilerek kritik de erler elde edilecektir. Bu güç sistemi ekil 5.1'de verilmi tir. Sistemin analizinde birim de er kullanılması durumunda, hesaplamalar bir faz üzerinden yapıldı ndan gerilimin ve gücün baz de eri de bir faz de eri olarak verilmektedir. Gerilim ve güç için baz de erleri,

$$V_{baz} = 220 \text{ kV}$$

$$S_{baz} = 100 \text{ MVA} \text{ olarak alınır.}$$



ekil.5.1. Üç baralı güç sistemi

Sistemin hat de erlerinde önt admitans de erleri ihmal edildi inden sadece seri empedans ve seri reaktans etkileri göz önüne alınacaktır. Buna göre hat de erleri Tablo 5.1 verilmi tir.

Tablo 5.1 Üç baralı sistemin hat verileri

Hat		Hat Empedansı		
		R(pu)	X(pu)	B(pu)
1	2	0.07	0.2	0.0
1	3	0.05	0.3	0.0
2	3	0.08	0.3	0.0

Bu sistemde birinci bara, salınım barasını ifade etmekte, ikinci bara PV barası veya generatör barasını ifade etmektedir. Üç nolu bara ise yük barası olup çe itli çalı ma ko ullarında bu baradaki kritik de erler aranacaktır. Sistemin normal çalı ma artları altındaki generatör ve yük verileri Tablo 5.2'de verilmi tir.

Tablo 5.2 Üç baralı sistemin normal çalı ma generatör ve yük verileri

Bara No	Bara Tipi	Üretim		Aktif güç Sınırları		Reaktif güç Sınırları		Gerilim V(pu)
		P(MW)	Q(MVAr)	P _{max}	P _{min}	Q _{max}	Q _{min}	
1	Sal.	0	0	0	0	9900	-9900	1.05
2	Gen.	50	0	50	0	9900	-9900	1.04
3	Yük	80	50	0	0	9900	-9900	1.07

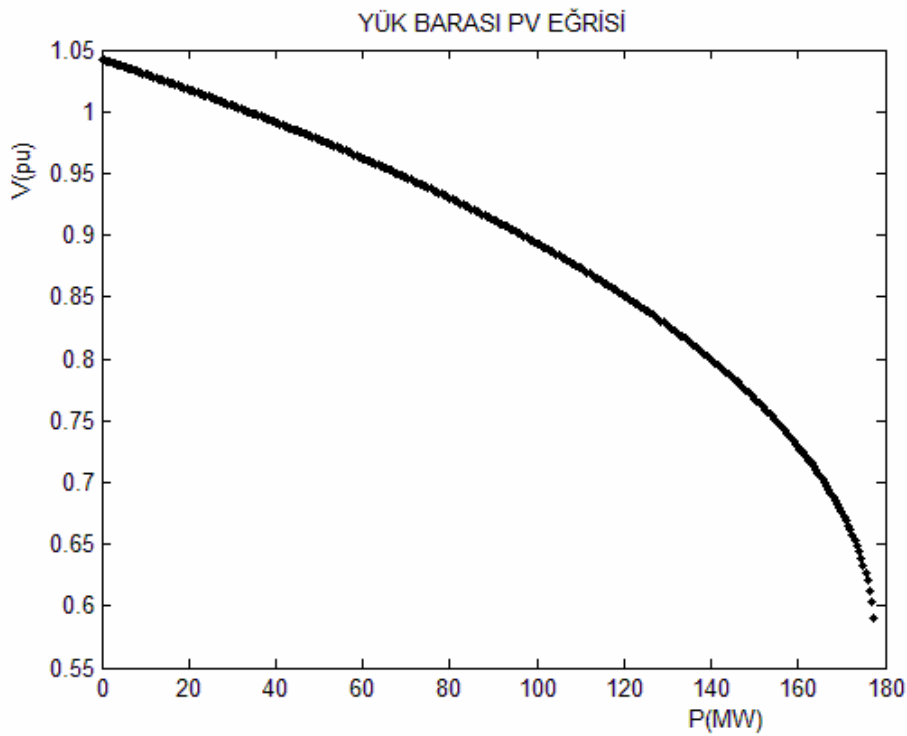
Sistemde yük barasının güç katsayısı $cos \phi = 0.848$ (32°) olarak alınıp, çalı ma boyunca de i tirilmeyecektir.

5.2.1. P-V E risi üzerinden kritik de erlerin belirlenmesi

ekil 5.1 de verilen sistem modeli üzerinde hat dataları kullanılarak, sistemin P-V e rileri çizdirilmekte ve kritik de erler belirlenmektedir. Burada tekil de er analizi yapılarak Newton Raphson yük akı ı yapılmaktadır. Algoritmanın ıraksadı ı noktaya kadar çözüm sürdürülür. Algoritmanın akı ı esnasında kullanılan Jakobyen bir

matrisdir ve tersi alınabilecek durumdadır. Kritik noktaya varıldı ında $J=0$ olur. Bu durum Jakobiyenin tekil oldu unu ve çözümün kararsızlı a gitti ini gösterir.

Çözüm esnasında üç nolu baradaki yük kademe kademe artırılarak PV e risi elde edilir. Çözumsuzlü ün oldu u ilk nokta veya kararsızlı ın elde edildi i ilk noktadan önceki de er kritik de erler olarak belirlenmi tir. PV e risinin elde edildi i ve tekil de er analizi yapılan yük akı ı programının kodları Ek C’de verilmi tir. Sistemin normal çalış ma artları altında yük akı ı sonucu elde edilen PV e risi ekil 5.2 de gösterilmi tir.



ekil 5.2. Üç nolu barada yük akı ı sonucunda elde edilen P-V e risi

Üç nolu barada sabit güç katsayısı altında yapılan güç akı ı sonucu elde edilen kritik de erler Tablo 5.3’de verilmi tir.

Tablo 5.3. Üç nolu barada yük akı ı sonucunda elde edilen kritik de erler

Güç kat. ($\cos \phi$)	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (pu)	δ_{rkt} (der.)
0.848 (32°)	177.5	0.59	-25.04

5.2.2. Sezgisel Algoritmalar ile kritik de erlerin belirlenmesi

Verilen sistemde 3 nolu yük barasının aktif güç de erlerini ifade eden denklem lineer olmayan bir yapıdadır. Üç nolu baranın aktif güç denklemi amaç fonksiyonu olarak alınır. Buradaki 5.2 nolu genel ifade 5.4'deki özel ifadeye dönü ür.

$$P_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij})$$

$$P_3 = v_3 (v_1 g_{31} \cos(\delta_3 - \delta_1) + v_1 b_{31} \sin(\delta_3 - \delta_1) + v_2 g_{32} \cos(\delta_3 - \delta_2) + v_2 b_{32} \sin(\delta_3 - \delta_2) + v_3 g_{33} \cos(\delta_3 - \delta_3) + v_3 b_{33} \sin(\delta_3 - \delta_3)) \quad (5.4)$$

Kısıt fonksiyonları ise denklem 5.4 deki ekildeki genelden 5.5 ve 5.6'deki gibi elde edilirler.

$$\Delta P_i = P_{gi} - P_i \quad (5.5)$$

$$\Delta P_2 = P_{g2} - P_2 = P_{g2} - v_2 \sum_{j=1}^3 v_j (g_{2j} \cos \delta_{2j} + b_{2j} \sin \delta_{2j})$$

$$\Delta P_2 = P_{g2} - v_2 (v_1 g_{21} \cos(\delta_2 - \delta_1) + v_1 b_{21} \sin(\delta_2 - \delta_1) + v_2 g_{22} \cos(\delta_2 - \delta_2) + v_2 b_{22} \sin(\delta_2 - \delta_2) + v_3 g_{23} \cos(\delta_2 - \delta_3) + v_3 b_{23} \sin(\delta_2 - \delta_3)) \quad (5.6)$$

Sistemde ikinci kısıt denklemleri olarak ise yük baralarının aktif ve reaktif güç denklemleri 5.7 ve 5.8'deki gibi ifade edilebilirler.

$$\Delta P_i = P_{Li} - P_i \quad (5.7)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Li} - Q_i \quad (5.8)$$

Ancak verilen bu üç baralı sistemde ba ka yük barası olmadı ında bu kısıt denklemleri kullanılmaz. Bu sistem için ikinci bir kısıt denklemi de yükün güç katsayısı ile denklem 5.9'daki gibi elde edilir.

$$\Delta Q_3 = Q_3 - tg \delta \times P_3 =$$

$$[v_3 (v_1 g_{31} \sin(\delta_3 - \delta_1) - v_1 b_{31} \cos(\delta_3 - \delta_1) + v_2 g_{32} \sin(\delta_3 - \delta_2) - v_2 b_{32} \cos(\delta_3 - \delta_2) + v_3 g_{33} \sin(\delta_3 - \delta_3) - v_3 b_{33} \cos(\delta_3 - \delta_3))] - tg 32^\circ \times$$

$$\left[\begin{array}{l} v_3 (v_1 g_{31} \cos(\delta_3 - \delta_1) + v_1 b_{31} \sin(\delta_3 - \delta_1) + v_2 g_{32} \cos(\delta_3 - \delta_2) + \\ v_2 b_{32} \sin(\delta_3 - \delta_2) + v_3 g_{33} \cos(\delta_3 - \delta_3) + v_3 b_{33} \sin(\delta_3 - \delta_3)) \end{array} \right] \quad (5.9)$$

Uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ile kısıt fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edildiğine göre, denklem 5.10'deki şekilde yazılır.

$$F(x) = -P_k(x) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq k}}^m r_{1i} (\Delta P_i^2(x) + \Delta Q_i^2(x)) + \sum_{i=M+1}^n r_{2i} (\Delta P_i^2(x) + Q_k^2(x)) \quad (5.10)$$

Kısıt denklemlerinde elde edilen değişimlerin kareleri alınarak ceza fonksiyonunun her zaman pozitif çıkması sağlanır. “r”ler penaltı faktörü olup, büyük bir pozitif değeri alırlar.

Algoritmada kullanılan değişim kısıtları;

$$v_{i \min} \leq v_i \leq v_{i \max} \quad (\text{pu})$$

$$\delta_{i \min} \leq \delta_i \leq \delta_{i \max} \quad (\text{radyan})$$

olarak gerilimin genlik ve açısının alabilecekleri en büyük ve en küçük değişimler sınırlar olarak tanımlanırlar.

5.2.2.1. BT algoritması ile kritik değişimlerin belirlenmesi

BT algoritması çalışırken, gerilim için sınır değişimleri,

$$0 \leq v_i \leq 1.05 \quad (\text{pu})$$

$$-1.5 \leq \delta_i \leq +1.5 \quad (\text{radyan})$$

şeklinde alınır. Algoritmada başlangıç değişimleri olarak da güç sisteminin normal çalışma altındaki değişimler alınmıştır.

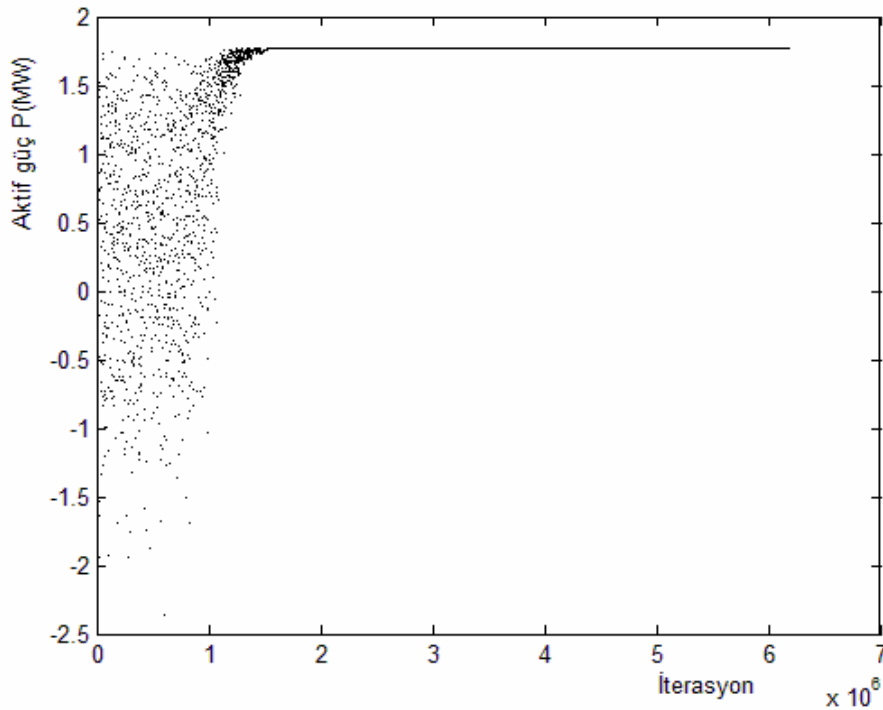
Örnek uygulama için T'nin ilk sıcaklığı 1×10^{27} gibi bir değişim seçilmiştir. Bu sayede T'nin bu değişim için uzayda birçok noktada ara tırma yapılması ve daha fazla komü çözümün incelenmesi sağlanmıştır. T'nin son sıcaklığı ise maliyet fonksiyonunun değişimmediği bir sıcaklık değeri kabul edilen $T < 1$ olarak belirlenmiştir. Böylece tam bir soluma sağlanmıştır. Sıcaklık azaltma işleminde geometrik azaltma algoritması kullanılmış ve çarpan değeri 0,99 olarak belirlenmiştir. Her sıcaklıktaki iterasyon sayısı, algoritmada 1000 olarak alınmıştır. Böylece her T sıcaklığında en uygun değişim elde edilmesi sağlanmıştır.

Benzetim Tavlama yöntemi ile çe itli hat durumlarında elde edilen kritik de erler a a ıdaki Tablo 5.4’de verilmi tir.

Tablo 5.4. Yük barasında BT algoritması ile elde edilen kritik de erler

Bara No	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (pu)	r_{rkt} (der.)
3	177.41	0.58	-26.06

Benzetim Tavlama algoritması çalı ırken iterasyona veya sıcaklık azalmasına ba lı olarak amaç denkleminde i imi ekil 5.3’de verilmi tir.



ekil.5.3. BT algoritmasında amaç fonksiyonunun iterasyona ba lı de i imi

5.2.2.2. TA algoritması ile kritik de erlerin belirlenmesi

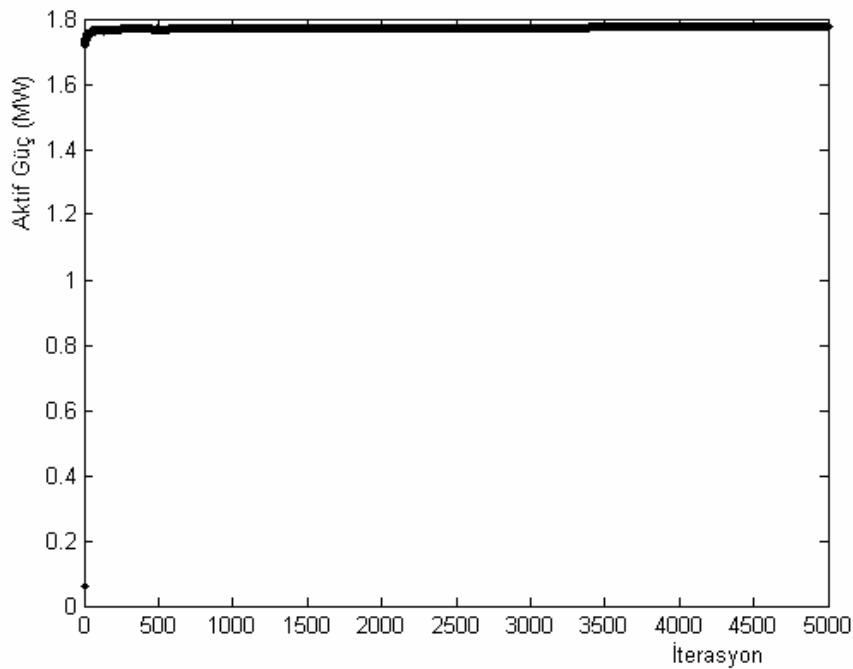
Tabu arama algoritması metodunda kullanılacak amaç fonksiyonu denkleminde 5.4’de ortaya konmu tur. Çalı madaki amaç, fonksiyonu mümkün oldu u kadar en büyük de eri elde etmektir. Bu çalı mada, olu turulan ba langıç çözümleri ve her iterasyonda

elde edilen çözüm, amaç fonksiyonuna uygunluk açısından de erlendirilmi , tanımlanan kısıtlama ve ceza fonksiyonlarına göre de de er almı lardır. Algoritmada tabu listesi uzunlu u 1000 olarak alınmı tır. Her tabu listesinde de 5000 iterasyon yapılarak çözüm üretilmi tir. Çözümü sa layan Tabu Arama algoritmasının kodları Ek C’de verilmi tir. Algoritma sonucu elde edilen kritik de erler Tablo 5.5’de verilmi tir.

Tablo 5.5. Yük barasında TA algoritması ile elde edilen kritik de erler

Bara No	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
3	177.35	0.59	-26.89

Tabu Arama algoritması çalı ırken iterasyona veya tabu listesi de i imine ba lı olarak amaç denklemleri olan aktif gücün de i imi ekil 5.4’de verilmi tir.



ekil.5.4. TA algoritmasında amaç fonksiyonunun iterasyona ba lı de i imi

5.2.2.3. GA ile kritik de erlerin belirlenmesi

Genetik algoritma metodunda kullanılacak amaç fonksiyonu denklem 5.2’deki yük akı ı denklemlerinden elde edilmi tir. Çalı madaki amaç, lineer olmayan

fonksiyonun maksimum de erini elde etmektir. Çalı ma Matlab'da GA Toolbox üzerinden gerçekte tirilmi tir. Toolbox üzerinde popülasyon sayısı 500, de i ken sayısı 3, di er ayarlar sabit alınarak de i tirilmemi tir. Genetik algoritmanın amaç ve kısıt fonksiyon kodları da yine Ek C'de verilmi tir. Algoritma sonucu elde edilen kritik de erler Tablo 5.6'da verilmi tir.

Tablo 5.6. Yük barasında GA algoritması ile elde edilen kritik de erler

Bara No	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (pu)	r_{rkt} (der.)
3	177.02	0.59	-25.20

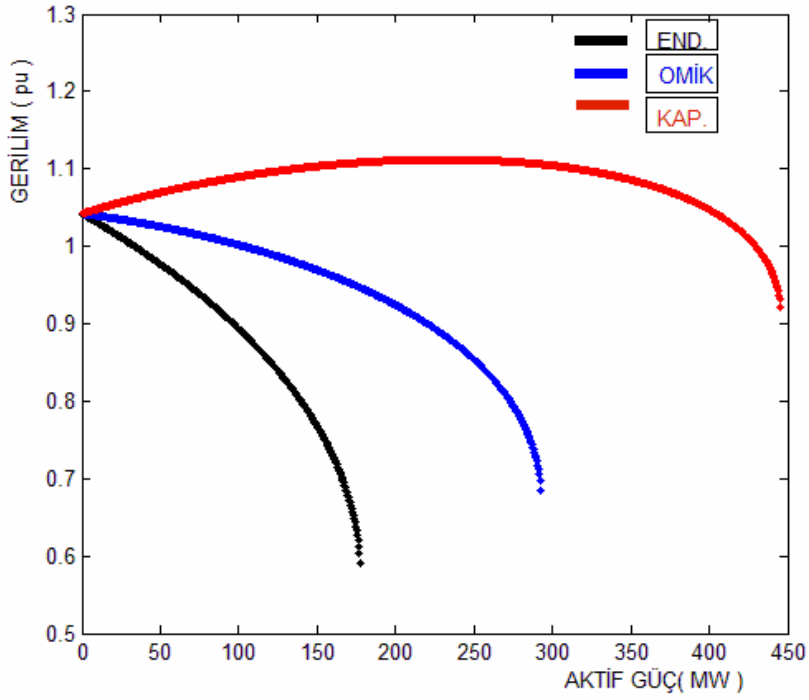
5.2.3. Güç sisteminde kritik de erler üzerine olan etkiler

Üç baralı sistem de i ik çalı ma ko uları altında çalı tırılarak, bu durumların kritik de erlere olan etkileri ve aynı zamanda sezgisel algoritmalarla bu de erlere yakla ımları incelenecektir. De i ik çalı ma artları olarak da; yükün güç katsayısı de i ikli inin etkisi, hatların bazılarının açılması durumu, hatta paralel hat ilave edilmesi durumunda olan etkisi, yük barasına önt kapasite eklenmesi durumu, hatlara çe itli seri kapasiteler eklenmesi durumları incelenecektir.

5.2.3.1. Yük güç katsayısının etkisi

Üç nolu yük barasına ba lı yükün güç katsayısı de i tirilip, omik, endüktif ve kapasitif durumlarda olan etkileri ara tırılacaktır. Önce yük akı ı sonucu PV e rileri ile sonuç elde edilecektir. Daha sonra BT, TA ve GA yöntemleriyle de çözüme gidilecektir.

Yük barası endüktif ve kapasitif yüklemeye $=32^\circ$ olarak alınmı tır. Omik çalı mada bilindi i gibi $=0^\circ$ olarak alınmı tır. Bu durumda elde edilen PV e rileri ekil 5.5'de gösterilmi tir.



ekil.5.5. Çe itli yük artlarında elde edilen PV e rileri

Üç nolu yük barası çe itli güç katsayılı yükler ile yüklenip, yük akı analizi, genetik algoritma, bantetim tavlama ve tabu arama algoritmaları kullanılarak kritik de erler elde edilmi tir. Elde edilen bu de erler kar ıla tırılmalı olarak a a ıdaki tablolarda verilmi tir.

Tablo 5.7. Yük barası Endüktif yüklendi inde($=-32^\circ$) olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	177.50	0.59	-25.04
Genetik Algoritma	177.03	0.59	-25.20
Bantetim Tavlama	177.41	0.59	-26.07
Tabu Arama	177.35	0.59	-25.90

Tablo 5.8. Yük barası Omik yüklendi inde(=0°) olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	292.50	0.68	-44.33
Genetik Algoritma	291.83	0.68	44.18
Benzetim Tavlama	291.70	0.67	-45.33
Tabu Arama	291.64	0.68	-44.57

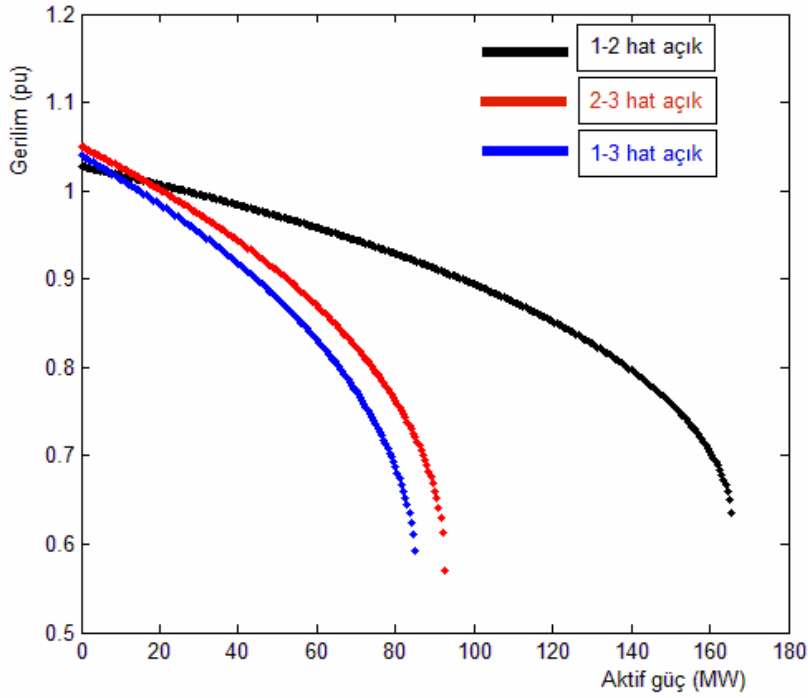
Tablo 5.9. Yük barası Kapasitif yüklendi inde(=32°) olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	445.50	0.92	-64.12
Genetik Algoritma	444.70	0.92	-64.32
Benzetim Tavlama	444.47	0.92	-64.30
Tabu Arama	444.65	0.91	-64.74

Sezgisel ve analitik olarak elde edilen de erler birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir. Sistemde yükün güç katsayısı endüktifden, kapasitife geçerken kritik güç de eri artmaktadır. Buna mukabil ise dü ük olması istenen kritik gerilim de eri yükselmektedir.

5.2.3.2. Hatlardan bazılarının açılması durumu

ekil 5.1 de verilen sistemde yükler ve generatörler arasında bulunan hatlar sırası ile devre dışı bırakılacaktır. Sırasıyla 1-2 nolu hat açılarak slack bara ile PV generatörü ayrılması olacaktır. 1-3 nolu hat açılarak slack bara ile yük barasının bağlantısı açılacaktır. Son olarak da 2-3 hattı açılarak PV generatör ile yük barasının bağlantısı açılacaktır. Bu durumda, kritik de erler önce yük akışı sonucu PV e rileri ile hesaplanacaktır. Daha sonra BT, TA ve GA yöntemleriyle de çözüme gidilecektir. ekil 5.6'da hatların açılması sonucu elde edilen PV e rileri görülmektedir.



ekil.5.6. Hatların açılması durumunda elde edilen PV e rileri

Verilen güç sisteminde bazı hatlar devre dışı kaldığında, yük akı analizi, Genetik Algoritma, Benzetim Tavlama ve Tabu Arama algoritmaları kullanılarak kritik de erler elde edilmiştir. Elde edilen bu de erler karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 5.10. 1–2 nolu hatlar açık olduğu durumda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{krt} (der.)
Tekil De er Analizi	165.50	0.63	-34.04
Genetik Algoritma	165.34	0.62	-35.17
Benzetim Tavlama	165.26	0.62	-34.87
Tabu Arama	165.26	0.62	-35.63

Tablo 5.11. 1–3 nolu hatlar açık oldu u durumda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	85.00	0.59	-26.97
Genetik Algoritma	85.29	0.57	-29.75
Benzetim Tavlama	85.30	0.59	-27.58
Tabu Arama	85.29	0.58	-28.63

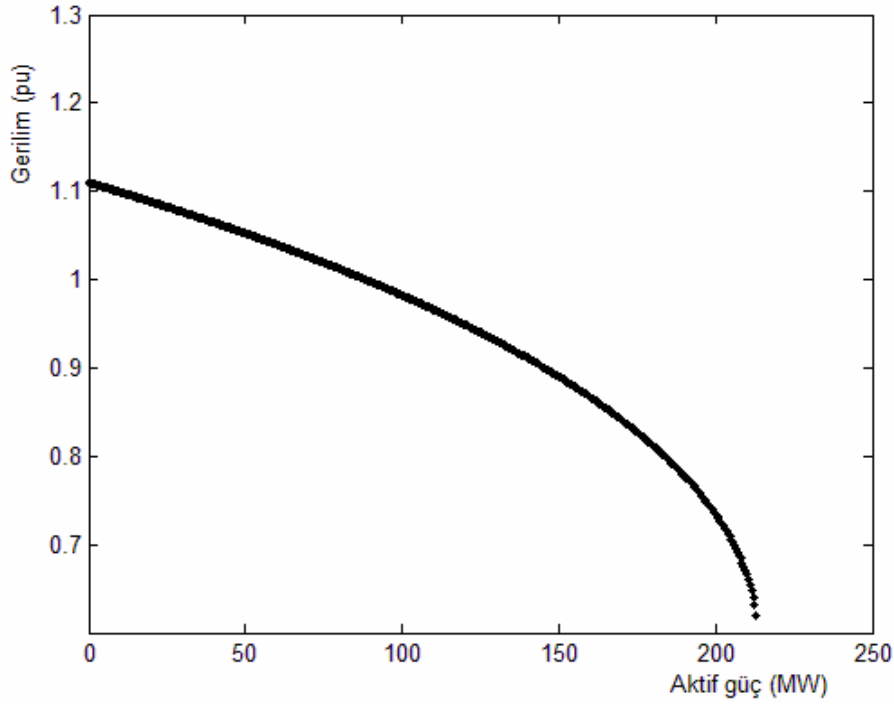
Tablo 5.12. 2–3 nolu hatlar açık oldu u durumda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	92.50	0.57	-24.57
Genetik Algoritma	92.37	0.57	-24.28
Benzetim Tavlama	92.38	0.57	-24.34
Tabu Arama	92.37	0.57	-24.35

Aynı yüklenme durumlarında yük akı analizi ve sezgisel algoritmalar ile elde edilen kritik de erler birbirlerine yakın de erlerde olmu lardır. Sonuçlar incelendi inde do rudan yük barasını etkileyen hatlar açıldı nda çekilebilecek aktif güç de eri azalmaktadır. Buna mukabil kritik gerilim de erinde fazla bir de i im gözükmemektedir. ki generatörü birbirine ba layan hat açıldı nda ise kritik aktif güç de eri fazla de i memekte, ancak kritik gerilim de erinde kötüle me gözlemlenmektedir.

5.2.3.3. Yük barasına önt kapasite eklenmesi durumu

ekil 5.1’de verilen sistemde 3 nolu bara olan yük barasına 50MVAr büyüklü ünde bir kapasite eklenmi tir. Bu durumda sistemde kompanzasyon yapılmı olunmaktadır. önt kapasite eklenmesi durumunda, yük akı ı analizi ile PV e risi ve kritik de erler elde edilmi tir. ekil 5.7’de hatların önt kapasite eklenmesi sonucu elde edilen P-V e risi görülmektedir.



ekil.5.7. Yük barasına önt kapasite eklenmesi durumunda PV e risi

Verilen güç sisteminde yük barasına önt kapasite eklenmesiyle, yük akı analizi, Genetik Algoritma, Benzetim Tavlama ve Tabu Arama algoritmaları kullanılarak kritik de erler elde edilmiştir. Elde edilen bu de erler karşılaştırılmalı olarak aşağıdaki tabloda verilmiştir.

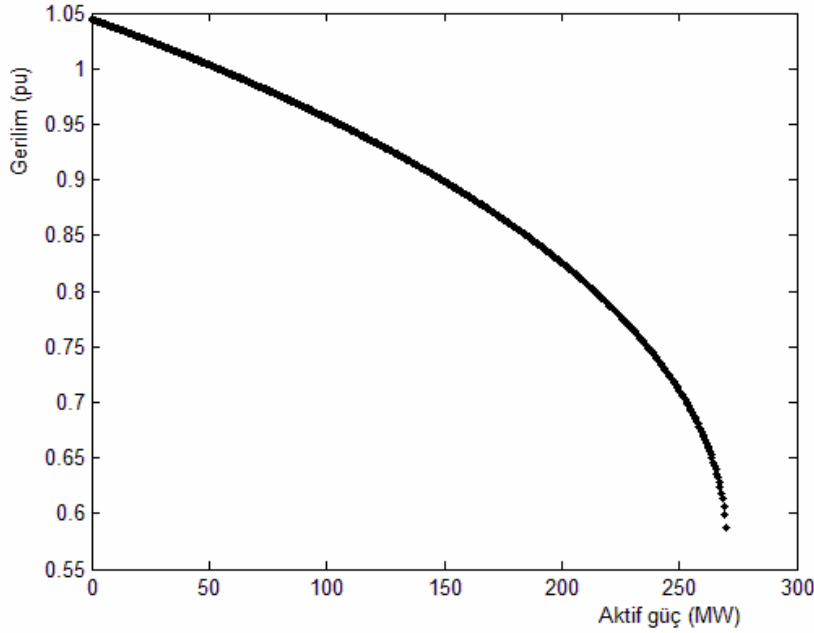
Tablo 5.13. Yük barasına önt kapasite eklenmesi durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{krt} (der.)
Tekil De er Analizi	213.00	0.62	-30.93
Genetik Algoritma	212.95	0.60	-31.90
Benzetim Tavlama	212.95	0.60	-31.65
Tabu Arama	212.98	0.60	-31.08

Yük barasına önt kapasite eklenmesiyle beklendi i üzere hattan çekilen aktif güç de eri artmış ve yük barasında kritik aktif güç ve gerilim de erinde iyile me gözlemlenmiştir.

5.2.3.4. Sistemde paralel hat ilave edilmesi durumu

ekil 5.1’de verilen sistemde sadece bir hatta paralel hat ilave edilmi tir. Bu hat olarak 1–3 nolu hat seçilmi tir. Bu hat salınım barası ile yük barasındaki hat olup sistem kararlılı mını en fazla etkileyebilecek olan hattır. ekil 5.8’de tekil de er analizi ile elde edilen PV e risi görülmektedir.



ekil.5.8. 1-3 hattına paralel hat eklenmesi durumunda PV e risi

Verilen güç sisteminde yük barası ile salınım barası arasına paralel hat ilave edilmesiyle, yük akı analizi, Genetik Algoritma, Benzetim Tavlama ve Tabu Arama algoritmaları kullanılarak kritik de erler elde edilmi tir. Elde edilen bu de erler kar ıla tırılmalı olarak a a ıdaki tabloda verilmi tir.

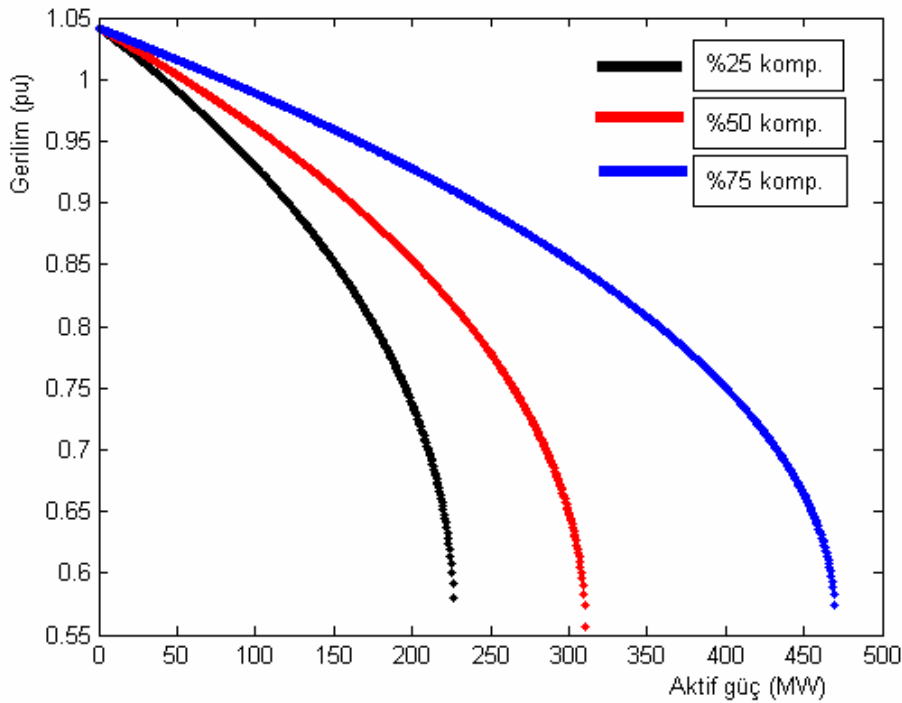
Tablo 5.14. 1-3 nolu hatta paralel hat eklenmesi durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	270.00	0.59	-24.62
Genetik Algoritma	270.07	0.58	-25.04
Benzetim Tavlama	270.19	0.58	-25.24
Tabu Arama	270.01	0.58	-25.61

Sisteme paralel hat ilave edilmesiyle sistemden çekilebilecek aktif güç miktarı %150 gibi bir de erde artmı tır. Bunun sonucu olarak hattın kritik de erleri de yükselmi tir. Sistem tek hatlı sistem ile kıyaslandı nda iyile meler görülmü tür.

5.2.3.5. Hatlara seri kapasite ilave edilmesi durumu

ekil 5.1’de verilen sistemde yük barasına ba lı hatlar üzerine seri kapasiteler ilave edilmi tir. Bu hatlar; 1–3 hattı, yük barası ile salınım barası arasındaki hattı. 2–3 hattı, yük barası ile PV generatör barası arasındaki hattır. ekil 5.9’da elde edilen PV görülmektedir. Bu sistemde seri kompanzasyon yapılırken, seri kompanzasyon üst sınırı olan %80 de eri de göz önüne alınmı tır [4].



ekil.5.9. Seri kompanzasyon yapılması durumunda PV e rileri

Yük barası ile salınım barası arasına ve yük barası ile generatör barası arasına %25, %50, %75 seri kompanzasyon yapılması durumunda analitik ve sezgsel algoritmalar ile hesaplanan kritik de erler a a ıdaki tablolarda verilmi tir.

Tablo 5.15. %25 seri kompanzasyon yapılması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	226.50	0.58	-25.08
Genetik Algoritma	226.52	0.58	-25.63
Benzetim Tavlama	226.69	0.57	-25.92
Tabu Arama	226.68	0.57	-25.67

Tablo 5.16. %50 seri kompanzasyon yapılması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	310.50	0.56	-25.28
Genetik Algoritma	310.46	0.56	-25.29
Benzetim Tavlama	310.39	0.55	-25.32
Tabu Arama	310.29	0.56	-25.32

Tablo 5.17. %75 seri kompanzasyon yapılması durumunda kritik de erler

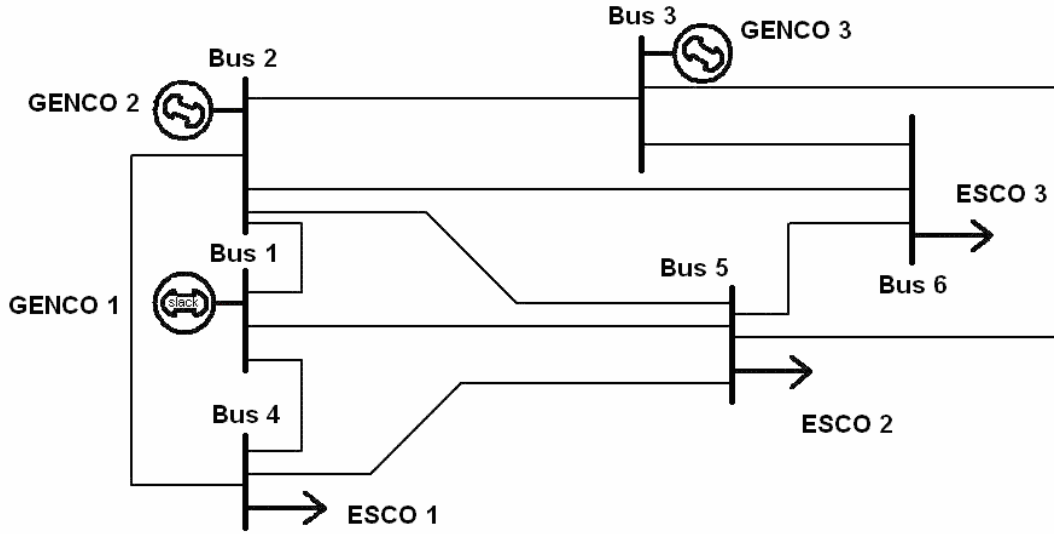
Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	469.50	0.57	-21.96
Genetik Algoritma	469.55	0.57	-22.15
Benzetim Tavlama	469.01	0.57	-22.01
Tabu Arama	468.51	0.57	-22.75

Bu kapasiteler sayesinde hatların reaktans de erleri de i mi ve hatlardan çekilebilecek aktif güç de erleri de de i mi tir. Seri kompanzasyon oranına ba lı olarak sistemden çekilecek olan aktif gücün miktarı artmaktadır. Buna ba lı olarak da gerilim kararlı lı nda iyile meler yukarıdaki tablolardan gözlemlenmektedir.

5.3. Altı Baralı Güç Sisteminde Kritik De erlerin Belirlenmesi

Gerilim kararlı lı ı açısından incelenecek olan altı baralı örnek sistem ekil 5.10'da verilmektedir [130]. N baralı sistemi alt düzeyde temsil eden bu güç sisteminde üç tane generatör üç tane de yük barası bulunmaktadır. Bir numaralı bara salınım barası olarak seçilmektedir. Dört, be ve altı numaralı yük baraları için kararlılık çalı ması

yapılmaktadır. Bu üç yük barasının kritik aktif güç, gerilim genlik ve açı değerlerinin yük akışı programı ile belirlenmesinin ardından aynı kritik değerler sezgisel algoritmalar ile de bulunmaya çalışılacaktır. Ortaya çıkan sonuçlara göre gerilim kararlılığı kritik değerlerinin belirlenmesinde sezgisel algoritmaların yeni bir yöntem olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılacaktır.



ekil.5.10. Altı baralı güç sistemi

Kararlılık sınır değerleri olan kritik değerleri bulunacak altı baralı örnek güç sisteminin hat verileri olan empedans ve admitans (kondüktans ihmal edildi inden admitans değeri süseptans değeri eittir) elemanları olan R, X, B bileşenlerinin değerleri Tablo 5.18'de verilmektedir.

Tablo 5.18. Altı baralı sistemin hat verileri

Hat		Hat Empedansı		
		R(pu)	X(pu)	B(pu)
1	2	0.1	0.2	0.04
1	4	0.05	0.2	0.04
1	5	0.08	0.3	0.06
2	3	0.05	0.25	0.06
2	4	0.05	0.1	0.02
2	5	0.1	0.3	0.04
2	6	0.07	0.2	0.05
3	5	0.12	0.26	0.05
3	6	0.02	0.1	0.02
4	5	0.2	0.4	0.08
4	6	0.1	0.3	0.06

Sistemin analizinde birim de er kullanılması durumunda, hesaplamalar bir faz üzerinden yapıldı ından gerilimin ve gücün baz de eri de bir faz de eri olarak verilmektedir. Gerilim ve güç için baz de erler, a a ıdaki ekilde alınmı tır.

$$V_{baz} = 220 \text{ kV}$$

$$S_{baz} = 100 \text{ MVA}$$

ekil 5.10'da verilen altı baralı örnek güç sisteminin 1, 2 ve 3 numaralı generatör baralarına ba lı bulunan generatörlerin verileri Tablo 5.19'da 4, 5 ve 6 numaralı baralarına ba lı yüklerin verileri ise Tablo 5.20'de verilmektedir.

Tablo 5.19. Altı baralı sistem generatör verileri

Bara No	Bara Tipi	Üretim		Aktif güç Sınırları		Reaktif güç Sınırları		Gerilim V(pu)
		P(MW)	Q(MVAr)	P _{max}	P _{min}	Q _{max}	Q _{min}	
1	Sal.	0	0	0	0	9900	-9900	1.06
2	PV	50	0	0	0	9900	-9900	1.05
3	PV	60	0	0	0	9900	-9900	1.07

Tablo 5.20. Altı baralı sistemin normal çalı madaki yük de erleri

Bara no	Bara tipi	Yük De eri		Güç Açısı (derece)
		P(MW)	Q(MVAr)	
4	PQ	70	70	45
5	PQ	70	70	45
6	PQ	70	70	45

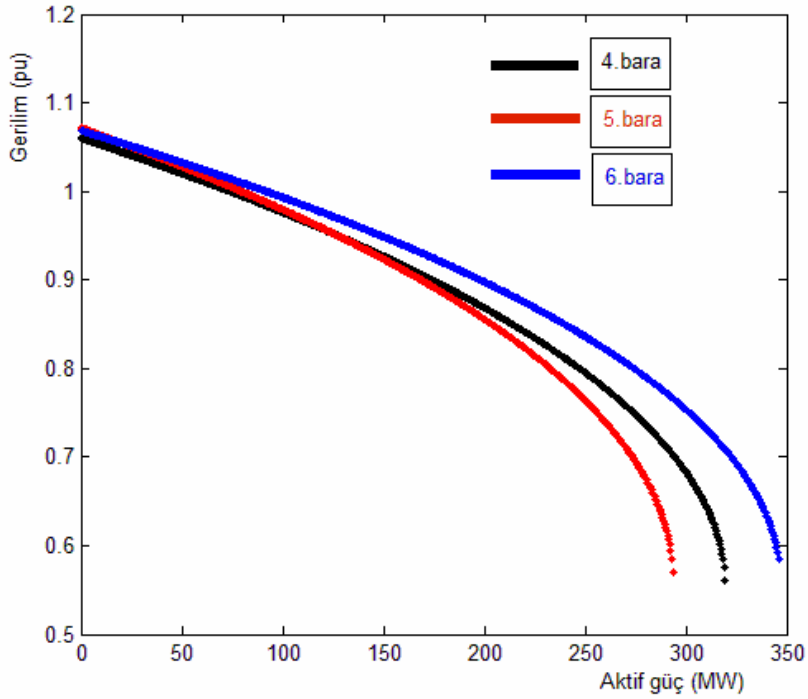
5.3.1. Yük akı ı analizi ile kritik de erlerin bulunması

ekil 5.10'da verilen örnek sistem için Newton Raphson yük akı ı yöntemi ile yük akı ı yapıldı ında yük akı ı sonuçları Tablo 5.21'de verilmektedir [130]. Yük akı ı simülasyon programı ile elde edilen de erlerin gerçek de erler oldu u kabul edilmektedir. Bunun sonucunda, uygulanacak sezgisel yöntemler ile elde edilen sonuçların bu gerçek kabul edilen de erlerle kar ıla tırılması yapılır.

Tablo 5.21 Altı baralı sistemde normal çalışma durumunda yük akışı sonuçları

Bara No	P (MW)	Q (MVar)	V (pu)	(der.)
1	108	27	1.06	0
2	50	64	1.05	-3.33
3	60	88	1.07	-3.94
4	70	70	0.99	-3.98
5	70	70	0.99	-5.02
6	70	70	1.00	-5.62

Yük akışı analizi sonucu elde edilen değerlerden, şekil 5.11’de görülen her bir yük barasına ait P-V eğrileri elde edilmiştir.



Şekil 5.11. Yük baralarına ait P-V eğrileri

Yük baraları için yapılan yük akışı neticesinde, bu yük baralarının sınır değerleri kritik değerler olarak elde edilmektedir. Bunlara ait sonuçlar ise Tablo 5.22’de verilmektedir.

Tablo 5.22. Altı baralı örnek sistemde yük akı 1 analizi ile elde edilen kritik de erler

Bara No	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	δ_{rkrt} (der.)
4	313.50	0.56	-28.07
5	282.50	0.57	-30.80
6	341.50	0.58	-56.81

5.3.2. Sezgisel Algoritmalarla kritik de erlerin belirlenmesi

ekil 5.10'da verilen 6 baralı örnek güç sisteminde yük baralarının kritik de erleri sezgisel yöntemler kullanılarak aranır. Sezgisel algoritmalarda kullanılacak denklemler Newton Raphson yük akı ında kullanılan denklemlerdir.

Bu sistemde 4, 5 ve 6 nolu yük baralarının aktif güç de erlerini ifade eden denklemler nonlinear bir durum arz ederler. Hangi baranın kritik de eri aranıyorsa o baranın aktif güç denklemi amaç fonksiyonu olarak alınır. Bu ifade ise, denklem 5.12'deki ekinde yazılır.

$$P_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (5.12)$$

Denklem 5.12 ifadesi, örnek olması bakımından 5. baraya göre amaç denklemi olarak açık ekinde yazıldı ında denklem 5.13 elde edilir,

$$P_5 = v_5 (v_1 g_{51} \cos(\delta_5 - \delta_1) + v_1 b_{51} \sin(\delta_5 - \delta_1) + v_2 g_{52} \cos(\delta_5 - \delta_2) + v_2 b_{52} \sin(\delta_5 - \delta_2) + v_3 g_{53} \cos(\delta_5 - \delta_3) + v_3 b_{53} \sin(\delta_5 - \delta_3) + v_4 g_{54} \cos(\delta_5 - \delta_4) + v_4 b_{54} \sin(\delta_5 - \delta_4) + v_5 g_{55} \cos(\delta_5 - \delta_5) + v_5 b_{55} \sin(\delta_5 - \delta_5) + v_6 g_{56} \cos(\delta_5 - \delta_6) + v_6 b_{56} \sin(\delta_5 - \delta_6)) \quad (5.13)$$

Kısıt fonksiyonları ise, güç de erleri bilinen bara denklemleridir. Bunlar ise;

Salınım barası hariç, PV geneatörlerin aktif güç denklemlerinin denge durumlarıdır.

Bu ifade denklem 5.14 ile ifade edilirse,

$$\Delta P_i = P_{gi} - P_i \quad (5.14)$$

Yukarıdaki ifade bu sisteme göre açık olarak yazıldı ında, sistemde 2. ve 3. generatörler PV generatörleridir. Buna ba lı olarak denge denklemleri, denklem 5.15 ve 5.16 ekinde yazılabilir.

$$\Delta P_2 = P_{g_2} - P_2 = P_{g_2} - v_2 \sum_{j=1}^6 v_j (g_{2j} \cos \delta_{2j} + b_{2j} \sin \delta_{2j}) \quad (5.15)$$

ve

$$\Delta P_3 = P_{g_3} - P_3 = P_{g_3} - v_3 \sum_{j=1}^6 v_j (g_{3j} \cos \delta_{3j} + b_{3j} \sin \delta_{3j}) \quad (5.16)$$

Sistemde ikinci kısıt denklemleri olarak ise yük baralarının aktif ve reaktif güç denklemleri 5.17 ve 5.18 ekinde yazılır.

$$\Delta P_i = P_{L_i} - P_i \quad (5.17)$$

$$\Delta Q_i = Q_{L_i} - Q_i$$

(5.18)

Bu ifade örnek olarak alınan altı baralı sisteme uyarlanacak olursa, 4, 5 ve 6 nolu olan yük baralarına göre düzenlenir. Yukarıdaki denklemler 4. baraya göre yazılırsa, 5.19 ve 5.20 nolu denklemler elde edilmiş olur.

$$\Delta P_4 = P_{L_4} - P_4 = P_{L_4} - v_4 \sum_{j=1}^6 v_j (g_{4j} \cos \delta_{4j} + b_{4j} \sin \delta_{4j}) \quad (5.19)$$

$$\Delta Q_4 = Q_{L_4} - Q_4 = Q_{L_4} - v_4 \sum_{j=1}^n v_j (g_{4j} \sin \delta_{4j} - b_{4j} \cos \delta_{4j}) \quad (5.20)$$

Uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ile kısıt fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edilmişine göre denklem 5.21 ekinde yazılabilir.

$$F(x) = -P_k(x) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq k}}^m r_{1i} (\Delta P_i^2(x) + \Delta Q_i^2(x)) + \sum_{i=M+1}^n r_{2i} (\Delta P_i^2(x) + w_{1k} \Delta Q_k^2(x)) \quad (5.21)$$

ekinde yazılır. Kısıt denklemlerinde elde edilen de erlerin kareleri alınarak ceza fonksiyonunun her zaman pozitif çıkması sağlanır. r 'ler penaltı faktörü olup de eri büyük bir pozitif do al sayı olarak alınır.

Algoritmada kullanılan de i ken kısıtları;

$$v_{i \min} \leq v_i \leq v_{i \max} \quad (\text{pu})$$

$$\delta_{i \min} \leq \delta_i \leq \delta_{i \max} \quad (\text{radyan})$$

olarak gerilimin genlik ve açısının alabilecekleri en büyük ve en küçük de erler sınırlar olarak tanımlanırlar.

5.3.2.1. BT algoritması ile kritik de gerilerin bulunması

BT algoritması çalışırken, gerilim için sınır de geriler,

$$0 \leq v_i \leq 1.05 \quad (\text{pu})$$

$$-1.5 \leq \delta_i \leq +1.5 \quad (\text{radyan})$$

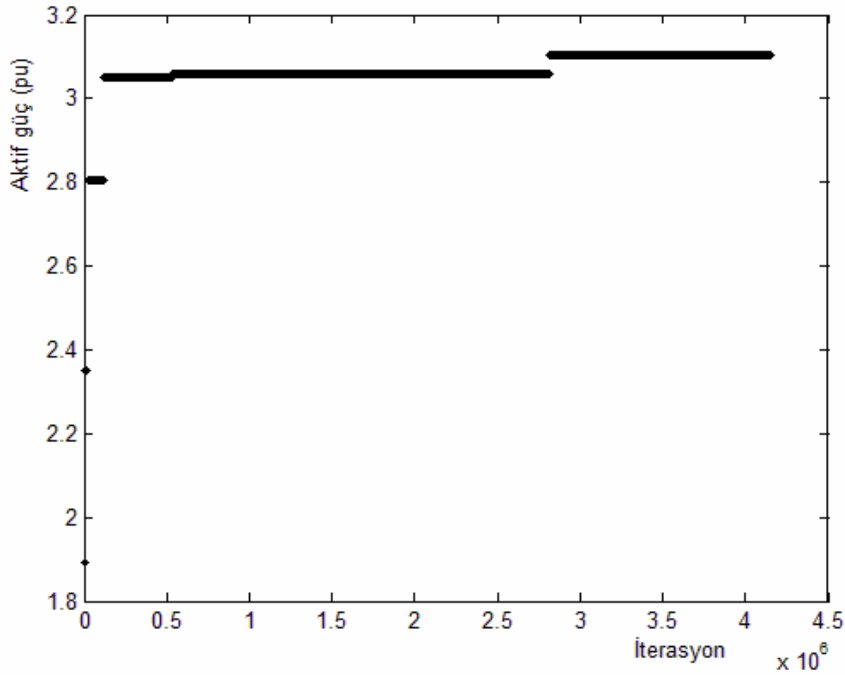
eklinde alınır. Algoritmada başlangıç de gerileri olarak da güç sisteminin normal çalışma altındaki de geriler alınmıştır.

Örnek uygulama için T'nin ilk sıcaklığı 1.10^{35} gibi bir yüksek de ger seçilmiştir. Bu sayede T'nin bu de geri için uzayda birçok noktada ara tırma yapılması ve daha fazla kom u çözümün incelemesi sağlanmıştır. T'nin son sıcaklığı ise maliyet fonksiyonunun de germediği bir sıcaklık de geri kabul edilen $T < 0,001$ olarak belirlenmiştir. Böylece tam bir so umaya sağlanmıştır. Sıcaklık azaltma i leminde geometrik azaltma algoritması kullanılmış ve çarpan de geri 0,98 olarak belirlenmiştir. Her sıcaklıktaki iterasyon sayısı, algoritmada 1000 olarak alınmıştır. Böylece her T sıcaklığında en uygun de gerin elde edilmesi sağlanmıştır. Tablo 5.23'de her bir yük barasında elde edilen kritik de geriler verilmiştir.

Tablo 5.23. Altı baralı örnek sistemde BT algoritması ile elde edilen kritik de geriler

Bara No	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	δ_{rkrt} (der.)
4	314	0.53	-27.17
5	280	0.53	-36.28
6	343	0.57	-56.72

Benzetim tavlama algoritması çalışırken so umaya başlı olarak amaç fonksiyonu olan 5 nolu baradan çekilen aktif gücün de gerim e risi ekil 5.12'de gösterilmiştir.



ekil 5.12. 4. barada iterasyona ba lı amaç fonksiyonunun de i imi

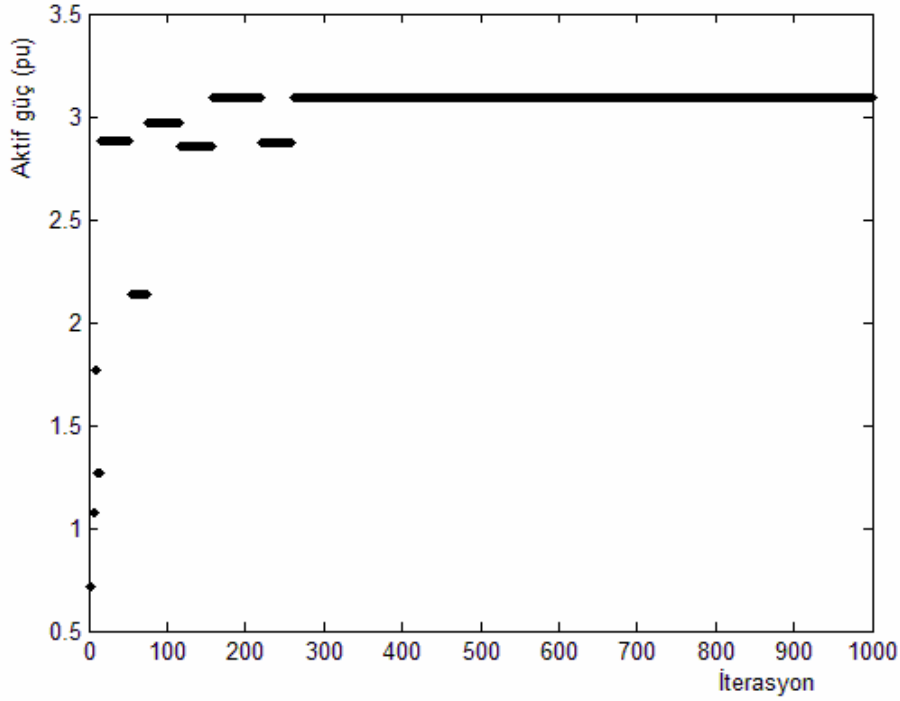
5.3.2.2. TA algoritması ile kritik de erlerin bulunması

Tabu arama algoritması metodunda kullanılacak amaç fonksiyonu denklem 5.9'da ortaya konmu tur. Çalı madaki amaç, fonksiyonun mümkün oldu u kadar en büyük de er almasını sa lamaktır. Bir ba ka ifadeyle baralardan çekilecek olan aktif güçleri maksimum yapmaktır. Bu çalı mada, olu turulan ba langıç çözümü ve her iterasyonda elde edilen çözüm, amaç fonksiyonuna uygunluk açısından de erlendirilmi , tanımlanan kısıtlama ve ceza fonksiyonlarına göre de de er almı lardır. Çalı mada tabu listesi uzunlu u olarak 5000 alınımı ve her liste de i iminde 1000 iterasyon yapılmı tır. Her bir yük barası için elde edilen kritik de erler Tablo 5.24'de verilmi tir.

Tablo 5.24. Tabu arama algoritması ile yük baralarında elde edilen kritik de erler

Bara No	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (Der.)
4	316	0.55	-30.08
5	291	0.58	-27.78
6	339	0,57	-49.14

Algoritma çalışması sırasında iterasyona bağlı olarak aktif gücün maksimum olma grafiği ekil 5.13'de gösterilmiştir.



ekil 5.13. 4. barada iterasyona bağlı amaç fonksiyonunun değişimi

5.3.2.3. GA ile kritik değerlerin bulunması

Genetik algoritma metodunda kullanılacak amaç fonksiyonu denklem 5.9'de yük akışı denklemlerinden elde edilmiştir. Çalışmadaki amaç, lineer olmayan fonksiyonun maksimum değerini elde etmektir. Çalışma Matlab'da GA Toolbox üzerinden gerçekleştirilmiştir. Toolbox üzerinde popülasyon sayısı 1000, deyimken sayısı 8, diğer ayarlar sabit alınarak gerçekleştirilmiştir. Algoritma sonucu elde edilen kritik değerler Tablo 5.25'de verilmiştir.

Tablo 5.25. Genetik algoritma ile yük baralarında elde edilen kritik değerler

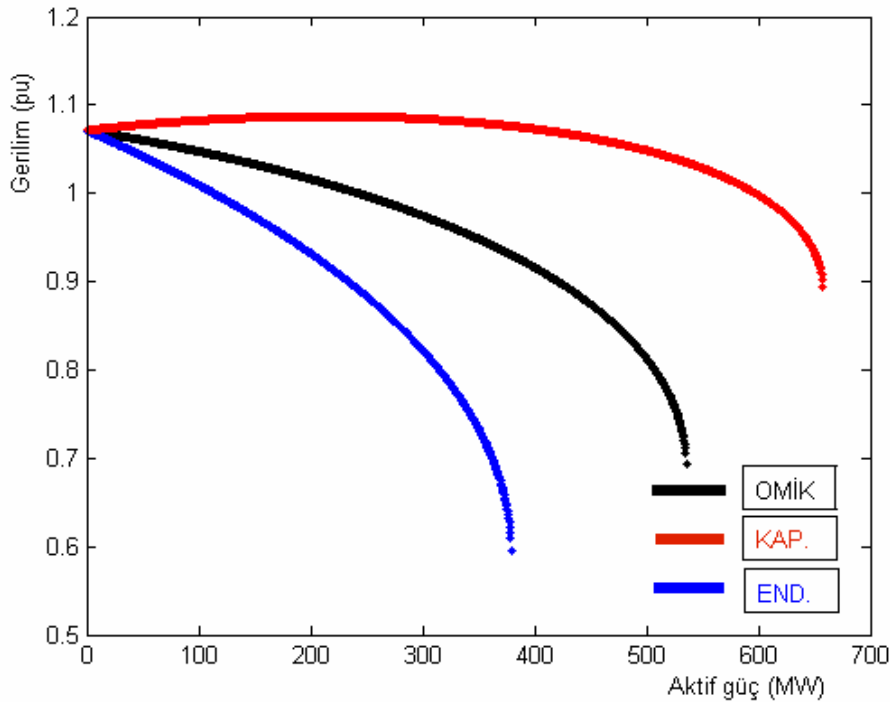
Bara No	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	δ_{rkrt} (der.)
4	312	0.57	-29.53
5	281	0.58	-32.12
6	338	0.58	-55.21

5.3.3. Güç sisteminde kritik de erler üzerine olan etkiler

Altı baralı sistem de i ik çalı ma ko uları altında çalı tırılarak, bu durumların kritik de erlere olan etkileri ve aynı zamanda sezgisel algoritmalarla bu de erlere yakla ımları incelenecektir. De i ik çalı ma artları olarak da; yükün güç katsayısı de i ikli inin etkisi, hat uzunluklarının etkisi, hat ba ı geriliminin etkisi, farklı salınım baralarının seçilmesi durumları incelenecektir.

5.3.3.1. Yük güç katsayısının etkisi

ekil 5.10'da verilen güç sisteminde 4. ve 6. yük barası Tablo 5.20'deki yükler ile yüklenmi tir. 5. bara ise de i ik güç katsayıları ile yüklenmi tir. Bu bara endüktif ($=-30^\circ$), omik ($=0^\circ$) ve kapasitif ($=30^\circ$) yükler ile yüklenmi tir. Bu durumda yük akı ı analizi sonucu elde dilen PV e rileri ekil 5.14'de gösterilmi tir.



ekil 5.14. 5. baranın güç katsayılarının de i tirilmesi ile elde edilen P-V e rileri

5.yük barası endüktif, omik, kapasitif yüklenmesi sonucunda, tekil de er analizi ve sezgisel algoritmalar sonucu elde edilen kritik de erler a a idaki tablolarda verilmi tir.

Tablo 5.26. 5.baranın Endüktif ($=-30^\circ$) yüklenmesi durumunda kritik de erler

Bara No	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (pu)	r_{rkt} (der.)
Tekil De er Analizi	379.5	0.59	-42.49
Genetik Algoritma	376	0.58	-41.65
Benzetim Tavlama	378	0.59	-41.88
Tabu Arama	373	0.60	-38.84

Tablo 5.27. 5.baranın Omik ($=0^\circ$) yüklenmesi durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (pu)	r_{rkt} (der.)
Tekil De er Analizi	535.5	0.69	-63.79
Genetik Algoritma	533	0.68	-64.18
Benzetim Tavlama	533	0.69	-56.81
Tabu Arama	534	0.70	-54.45

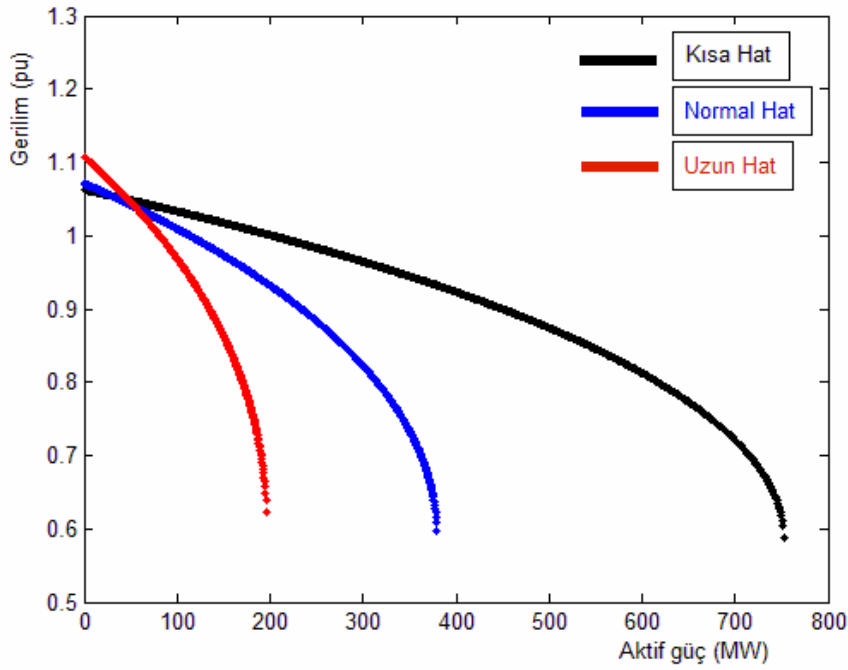
Tablo 5.28. 5.baranın Kapasitif ($=30^\circ$) yüklenmesi durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (pu)	r_{rkt} (der.)
Tekil De er Analizi	657.5	0.89	-78.48
Genetik Algoritma	658	0.87	-68.63
Benzetim Tavlama	655	0.88	-75.40
Tabu Arama	668	0.92	-66.69

Analitik ve sezgisel olarak elde edilen de erlere bakıldı nda uyumluluk gözükmemektedir. Ancak sezgisel algoritmalar bazen yakınsamada az da olsa problem ya amaktadır. Yük barasına ba lanan yükün karakteristi ine göre hattın aktif güç ta ıma kabiliyeti artmakta, yani o baranın kritik güç de eri yükselmektedir. Buna ba lı olarak ise gerilim kritik gerilim de eri iyile meler gözlemlenmektedir.

5.3.3.2. Hat uzunluklarının etkisi

5. baraya göre hat uzunlukları esas alınmak artı ile kritik de erler ara tırıldı nda normal çalı ma durumu normal hat olarak alınmı . Buna göre kısa ve uzun hatlar olu turulmu tur. Sistemde bütün hatların boyları uzatılmı ve kısaltılmı tur. Be inci baranın güç katsayısı 0.577 endüktif olarak ($\phi = 30^\circ$) alınmı tur. Buna göre kritik de erlerin elde edildi i P-V e rileri ekil 5.15’de gösterilmi tir.



ekil 5.15. Altı baralı sistemde 5. baranın çe itli hat uzunluklarına ait P-V e rileri

Sistemde tüm hatlar yarıya bölünmü ve ikiye katlanarak çe itli boylarda hatlar olu turulmu tur. Bu durumlara göre tekil de er analizi ve sezgisel algoritmalar sonucu elde edilen kritik de erler a a ıdaki tablolarda verilmi tir.

Tablo 5.29. Hatların kısa hat olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkt} (MW)	V_{rkt} (pu)	r_{rkt} (der.)
Tekil De er Analizi	753	0.58	-43.10
Genetik Algoritma	755	0.57	-41.18
Benzetim Tavlama	750	0.56	-42.13
Tabu Arama	747	0.53	-40.04

Tablo 5.30. Hatların orta hat olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil Değer Analizi	379.5	0.59	-42.50
Genetik Algoritma	376	0.60	-40.61
Benzetim Tavlama	378	0.58	-44.86
Tabu Arama	375	0.58	-27.79

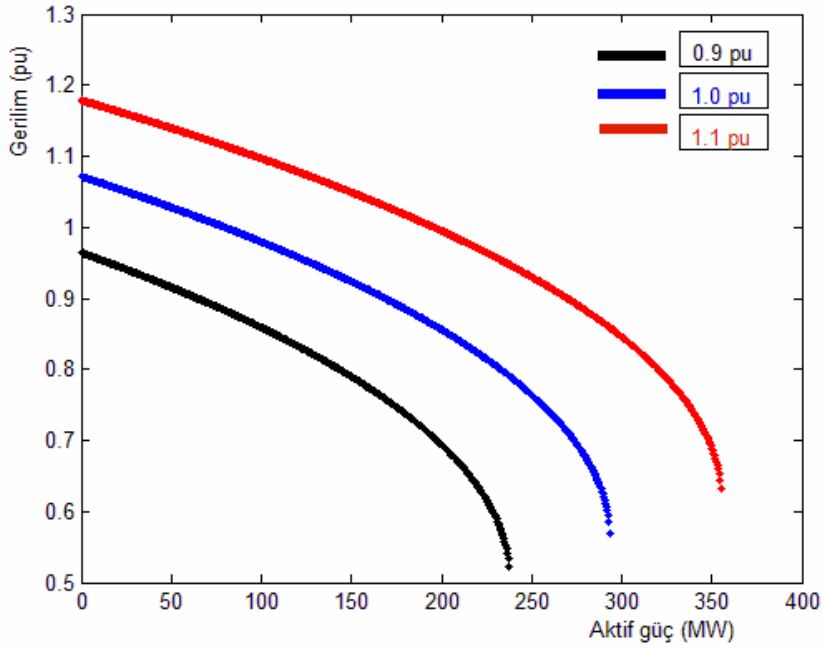
Tablo 5.31. Hatların uzun hat olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil Değer Analizi	196	0.62	-42.0
Genetik Algoritma	199	0.63	-43.21
Benzetim Tavlama	201	0.61	-38.19
Tabu Arama	200	0.61	-39.18

Hat uzunluğunun değişimi sonucu, uzunluğuna bağlı değerler olan r , x , y değerleri de değişecektir. Tablolardan da görüldüğü üzere iletim hattının uzunluğu arttıkça kritik güç değeri azalmakta, gerilim kararlılığı da kötüleşmektedir.

5.3.3.3. Hat başı geriliminin etkisi

Hat başı gerilimlerinin etkisini incelemek üzere bütün generatörlerin gerilimleri değiştirilmiştir. İlk olarak normal çalışma durumunda yüklerden çekilen aktif güçler, reaktif güçlere eşit olarak alınmış ($\phi = 45^\circ$) ve yük akışı analizi yapılmıştır. İlk olarak sabit güç katsayısında bütün generatörlerin gerilimleri $0.9 pu$ 'e düşürülmüştür, ikinci olarak generatör gerilimleri $1.1 pu$ 'a artırılarak olarak yük akışı analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda elde edilen P-V eğrileri Şekil 5.16'da gösterilmiştir.



ekil 5.16. Hat ba ı gerilim etkilerinin, 5. baraya ait P-V e rileri

Sistemde hat ba ı gerilim kayna ı olarak generatörler kabul edilmi tir. Bu genratörlerin gerilimleri de i tirilerek, be inci bara üzerindeki kritik de erlere olan etkileri analitik ve sezgisel olarak a ıdaki tablolarda gösterilmi tir.

Tablo 5.32. Hatba ı geriliminin ($0.9*V_g$) olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	237.5	0.52	-30.69
Genetik Algoritma	236	0.53	-31.32
Benzetim Tavlama	243	0.53	-32.54
Tabu Arama	238	0.52	-31.65

Tablo 5.33. Hatba ı geriliminin ($1.0*V_g$) olması durumunda kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	282.5	0.56	-32.81
Genetik Algoritma	283	0.57	-31.15
Benzetim Tavlama	280	0.57	-33.28
Tabu Arama	281	0.58	-29.79

Tablo 5.34. Hatba 1 geriliminin ($1.1 \cdot V_g$) olması durumunda kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil Değer Analizi	355	0.63	-30.93
Genetik Algoritma	358	0.62	30.21
Benzetim Tavlama	360	0.64	-32.14
Tabu Arama	354	0.63	-30.95

Tekil değer analizi ve sezgisel algoritmalar sonucu elde edilen değerler yukarıdaki tablolara ilişkinidir. Elde edilen değerler birbirlerine yakın sonuçlar vermektedir. Tablolardan da görüleceği üzere hatba 1 geriliminin artırılması gerilim kararlılığını olumlu yönde etkilemektedir. Baradan çekilebilecek aktif güç değeri de hatba 1 gerilimine orantılı olarak artmaktadır.

5.3.3.4. Farklı salınım barası seçilmesinin kritik değerlere olan etkisi

Güç sisteminde yapılan hesaplamalarda olması gerekenden daha farklı salınım barası seçilmesi halinde elde edilen kritik değerler de farklı olacaktır. Altı baralı örnek güç sistemindeki üç adet generatör baralarının sıra ile salınım barası seçilmesi durumlarında güç sistemindeki kritik değerlerin değişimi, analitik ve sezgisel olarak aşağıdaki tablolarda gösterilmektedir. Örnek güç sistemi üzerindeki uygulamada salınım barası değiştirilirken, daha önce salınım barası olarak seçilen generatör barası verileri ile yeni salınım barası seçilen diğer generatör barası verilerinin yerleri değiştirilmektedir.

Tablo 5.35. Salınım barasının 1. bara olması durumunda kritik değerlerin değişimi

Yöntem	P_{rkrt} (MW)			V_{rkrt} (pu)			r_{rkrt} (der.)		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
Tekil Değer Analizi	313.5	282.5	341.5	0.56	0.57	0.58	-28.07	-30.86	-56.81
Genetik Algoritma	315	280	344	0.57	0.58	0.59	-26.13	-29.59	-53.96
Benzetim Tavlama	309	280	343	0.58	0.53	0.57	-25.15	-36.38	-56.72
Tabu Arama	316	291	339	0.55	0.58	0.57	-30.08	-27.79	-49.18

Tablo 5.36. Salınım barasının 2. bara olması durumunda kritik de erlerin de i imi

Yöntem	P_{rkt} (MW)			V_{rkt} (pu)			r_{rkt} (der.)		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
Tekil De er Analizi	314	299	346.5	0.54	0.56	0.56	-14.52	-18.75	-28.18
Genetik Algoritma	318	292	341	0.53	0.55	0.55	-16.54	-17.13	-29.82
Benzetim Tavlama	320	299	346	0.56	0.53	0.56	-13.35	-19.82	-28.93
Tabu Arama	316	300	347	0.53	0.54	0.55	-15.15	-18.14	-25.29

Tablo 5.37. Salınım barasının 3. bara olması durumunda kritik de erlerin de i imi

Yöntem	P_{rkt} (MW)			V_{rkt} (pu)			r_{rkt} (der.)		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
Tekil De er Analizi	312	291	365	0.56	0.55	0.56	-37.61	-24.37	-20.47
Genetik Algoritma	307	292	359	0.57	0.56	0.54	-33.69	-23.77	-20.16
Benzetim Tavlama	306	290	355	0.56	0.56	0.56	-34.04	-23.42	-21.71
Tabu Arama	310	286	360	0.58	0.56	0.57	-39.61	-26.58	-21.64

5.3.3.5. Sistemdeki hatların açılması durumu

Güç sistemindeki iletim hatlarından bir veya birkaç tanesinin kısa devre, bakım gibi herhangi bir neden ile devre dı ı kalması durumunda gerilim kararlılı ı kritik de erleri de de i mektedir. Örnek te kil etmesi bakımından altı baralı örnek güç sistemindeki en tehlikeli durum olarak dü ünülen, salınım barasına ba lı paralel hatlar olan, 1- 4 numaralı baralar arasındaki iletim hattının bir arıza sonucu devre dı ı kaldı ı varsayımı yapılmı tır. Bu arıza öncesi ve sonrasındaki güç sisteminin kritik de er de i imleri, analitik ve sezgisel olarak a a ıdaki tablolarda gösterilmi tir.

Tablo 5.38. 1–4 nolu iletim hattı devrede iken kritik de erlerin de i imi

Yöntem	P_{rkt} (MW)			V_{rkt} (pu)			r_{rkt} (der.)		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
Tekil De er Analizi	319.5	293.5	344.5	0.56	0.57	0.57	-27.67	-31.29	-51.94
Genetik Algoritma	312	285	340	0.57	0.54	0.57	-29.17	-33.56	-54.62
Benzetim Tavlama	309	280	343	0.58	0.53	0.57	-25.15	-36.38	-56.72
Tabu Arama	316	291	339	0.55	0.58	0,57	-30.08	-27.79	-49.42

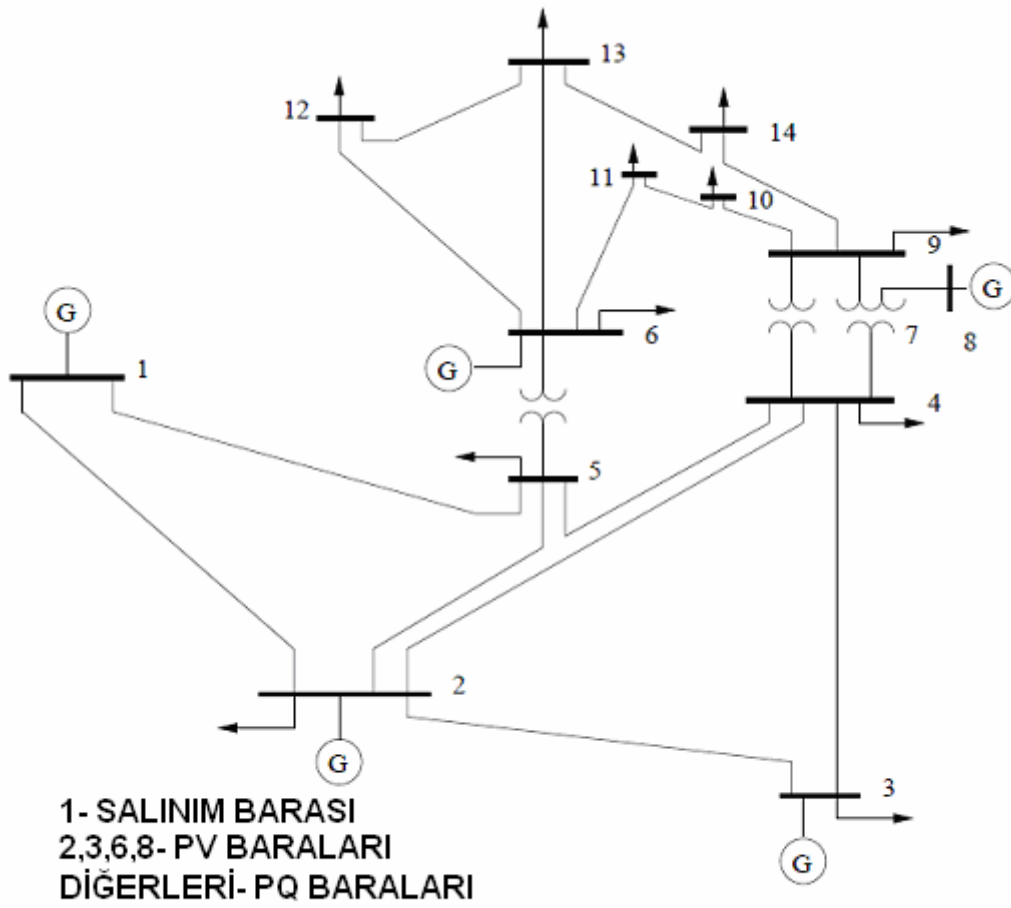
Tablo 5.39. 1–4 nolu iletim hattı devre dı nda iken kritik de erlerin de i imi

Yöntem	P_{rkt} (MW)			V_{rkt} (pu)			r_{rkt} (der.)		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
Tekil De er Analizi	217	276.5	334.5	0.55	0.60	0.60	-40.42	-41.97	-75.12
Genetik Algoritma	214	278	335	0.55	0.62	0.61	-42.38	-38.62	-68.21
Benzetim Tavlama	212.2	275.5	333.4	0.54	0.61	0.60	-39.24	-35.24	-62.91
Tabu Arama	211	273	334	0.54	0.61	0.62	-37.81	-35.94	-70.05

Yukarıdaki tablolarda, salınım barasına paralel ba lı tüm hatların normal i letme artlarında çalı malarını sürdürdükleri ve yük akı ı görevlerini yerine getirdikleri, “Devrede” kelimesi ile belirtilirken, hatların yük akı ı görevlerini sürdüremedikleri durum “Devre Dı ı” kelimesi ile ifade edilmi tir. Güç sisteminde bazı iletim hatlarının devre dı nda kalması durumunda, yük baralarının kritik aktif güç de erlerinin önemli ölçüde azaldıkları görülmektedir. Elde edilen verilere göre hat açmalarının maksimum güç transferi açısından olumsuz bir durum olu turdu unu göstermektedir.

5.4. IEEE 14 Baralı Sistemde Kritik Değerlerin Elde Edilmesi

14 baralı sistem olarak IEEE'nin test sistemi kullanılmaktadır. Sistemde generatörler, yükler, indirici transformatörler mevcuttur. Şekil 5.17'de sistemin şekli ve bağlanan elemanlar görülmektedir. Sistemde 1 nolu bara salınım barası, 2., 3., 6. ve 8. baralar generatör baralarıdır. Diğer baralar ise yük barası olarak çalışmaktadır.



Şekil.5.17. IEEE 14 baralı test sistemi

Verilen sistemin hat verileri ve transformatörlerin verileri Tablo 5.40'da ayrıntılı olarak verilmiştir. Tablo 5.41'de sisteme bağlı bulunan generatörlerin verileri ve çalışma sınır aralıkları verilmiştir. Sisteme bağlı yüklerin verileri ise Tablo 5.42'de verilmiştir.

Tablo 5.40. IEEE 14 baralı sistemin hat verileri

Hat		Hat Empedansı			
		R(pu)	X(pu)	1/2 B(pu)	Tap ratio
1	2	0.01938	0.05917	0.0528/2	
1	5	0.05403	0.22304	0.0492/2	
2	3	0.04699	0.19797	0.0438/2	
2	4	0.05811	0.17632	0.0340/2	
2	5	0.05695	0.17388	0.0346/2	
3	4	0.06701	0.17103	0.0128/2	
4	5	0.01335	0.04211	0	
4	7	0	0.20912	0	0.978
4	9	0	0.55618	0	0.969
5	6	0	0.25202	0	0.932
6	11	0.09498	0.1989	0	
6	12	0.12291	0.25581	0	
6	13	0.06615	0.13027	0	
7	8	0	0.17615	0	
7	9	0	0.11001	0	
9	10	0.03181	0.0845	0	
9	14	0.12711	0.27038	0	
10	11	0.08205	0.19207	0	
12	13	0.22092	0.19988	0	
13	14	0.17093	0.34802	0	

Tablo 5.41. IEEE 14 baralı sistem generatör verileri

Bara no	Bara tipi	Üretim		Aktif güç Sınırları		Reaktif güç Sınırları		Gerilim V(pu)
		P(MW)	Q(MVAr)	P _{max}	P _{min}	Q _{max}	Q _{min}	
1	Sal.	0	0	0	0	9900	-9900	1.06
2	PV	40	0	0	0	9900	-9900	1.045
3	PV	80	0	0	0	9900	-9900	1.01
6	PV	40	0	0	0	9900	-9900	1.07
8	PV	60	0	0	0	9900	-9900	1.09

Tablo 5.42. IEEE 14 baralı sistem yük verileri

Bara no	Bara tipi	Yük De eri		Güç Açısı (derece)
		P(MW)	Q(MVAr)	
2	PQ	30.38	17.78	30.33
3	PQ	131.88	26.60	11.40
4	PQ	66.9	5.6	4.78
5	PQ	10.6	2.2	11.72
6	PQ	15.7	10.5	33.77
7	PQ	0.0	0.0	0.0
8	PQ	0.0	0.0	0.0
9	PQ	41.3	23.2	29.32
10	PQ	12.6	8.1	32.73
11	PQ	4.9	2.5	27.03
12	PQ	8.5	2.2	14.51
13	PQ	10	4.3	23.26
14	PQ	20.8	7	18.60

IEEE 14 baralı sistemde yük baralarının kritik de erlerini bulurken, sabit güç katsayısı altında çalı tıkları kabul edilmektedir. Hangi baranın kritik de eri aranıyorsa o baraya ba lı yükün de eri, güç katsayısı sabit kalmak artı ile kademe kademe artırılarak, çözümsüzlük durumuna kadar yük akı ı yapılır. Çözümsüzlük durumuna ula tı ı ilk nokta jakobien matrisinin tekil oldu u noktayı ifade etmektedir. Buraya denk gelen de erler ise kritik de erler olarak bulunur. Bu esnada sisteme ba lı di er tüm yüklerin de erleri sabit olarak tutulmaktadır. Yapılan yük akı ı çalı ması sonucu, yük baralarında elde edilen kritik de erler Tablo 5.43'de verilmi tir.

Tablo 5.43. IEEE 14 baralı sistemde yük baralarında yük akı ı ile elde edilen kritik de erler

Bara No	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
14	131	0.59	-48.36
13	266	0.63	-71.30
12	181	0.57	-73.93
11	183	0.57	-61.13
10	164	0.59	-47.42
9	255	0.61	-54.38
5	620	0.72	-51.66
4	740	0.69	-68.26

5.4.1. IEEE 14 baralı sistemde sezgisel algoritmalar ile kritik de erlerin belirlenmesi

14 baralı sistemde sezgisel algoritmalar ile kritik de erler bulunurken, yük akı ı denklemleri kullanılacaktır. Hangi baranın kritik de eri aranıyorsa o baranın aktif güç denklemi amaç fonksiyonu olarak alınır. Bu ifade ise, denklem 5.22'deki eilde yazılır.

$$P_i = v_i \sum_{j=1}^n v_j (g_{ij} \cos \delta_{ij} + b_{ij} \sin \delta_{ij}) \quad (5.22)$$

Kısıt fonksiyonları ise, güç de erleri bilinen bara denklemleridir. Bunlar ise; Salınım barası hariç, PV geneatörlerin aktif güç denklemlerinin denge durumlarıdır. Bu ifade denklem 5.23 ile ifade edilir.

$$\Delta P_i = P_{g_i} - P_i \quad (5.23)$$

Yukarıdaki ifade bu sisteme göre açık olarak yazıldı ında, sistemde 2,3,6 ve 8. generatörler PV generatörleridir. Buna ba lı olarak denge denklemleri, a a ıdaki eilde yazılabilir.

$$\Delta P_2 = P_{g_2} - P_2 = P_{g_2} - v_2 \sum_{j=1}^{14} v_j (g_{2j} \cos \delta_{2j} + b_{2j} \sin \delta_{2j}) \quad (5.24)$$

$$\Delta P_3 = P_{g_3} - P_3 = P_{g_3} - v_3 \sum_{j=1}^{14} v_j (g_{3j} \cos \delta_{3j} + b_{3j} \sin \delta_{3j}) \quad (5.25)$$

$$\Delta P_6 = P_{g_6} - P_6 = P_{g_6} - v_6 \sum_{j=1}^{14} v_j (g_{6j} \cos \delta_{6j} + b_{6j} \sin \delta_{6j}) \quad (5.26)$$

$$\Delta P_8 = P_{g_8} - P_8 = P_{g_8} - v_8 \sum_{j=1}^{14} v_j (g_{8j} \cos \delta_{8j} + b_{8j} \sin \delta_{8j}) \quad (5.27)$$

Sistemde ikinci kısıt denklemleri olarak ise yük baralarının aktif ve reaktif güç denklemleri 5.28 ve 5.29 ekinde yazılır.

$$\Delta P_i = P_{Li} - P_i \quad (5.28)$$

$$\Delta Q_i = Q_{Li} - Q_i \quad (5.29)$$

Bu ifade örnek olarak alınan altı baralı sisteme uyarlanacak olursa, yük baralarına göre düzenlenir. Yukarıdaki denklemler 4. baraya göre yazılırsa, 5.30 ve 5.31 nolu denklemler elde edilmiş olur.

$$\Delta P_4 = P_{L4} - P_4 = P_{L4} - v_4 \sum_{j=1}^{14} v_j (g_{4j} \cos \delta_{4j} + b_{4j} \sin \delta_{4j}) \quad (5.30)$$

$$\Delta Q_4 = Q_{L4} - Q_4 = Q_{L4} - v_4 \sum_{j=1}^{14} v_j (g_{4j} \sin \delta_{4j} - b_{4j} \cos \delta_{4j}) \quad (5.31)$$

Uygunluk fonksiyonu, amaç fonksiyonu ile kısıt fonksiyonlarının toplamı olarak ifade edildiğine göre denklem 5.32 ekinde yazılabilir.

$$F(x) = -P_k(x) + \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq k}}^m r_{1i} (\Delta P_i^2(x) + \Delta Q_i^2(x)) + \sum_{i=M+1}^n r_{2i} (\Delta P_i^2(x) + \Delta Q_i^2(x)) \quad (5.32)$$

ekinde yazılır. Kısıt denklemlerinde elde edilen değerlerin kareleri alınarak ceza fonksiyonunun her zaman pozitif çıkması sağlanır. r 'ler penaltı faktörü olup deeri büyük bir pozitif doal sayı olarak alınır.

Algoritmada kullanılan deeri kısıtları;

$$v_{i \min} \leq v_i \leq v_{i \max} \quad (\text{pu})$$

$$\delta_{i \min} \leq \delta_i \leq \delta_{i \max} \quad (\text{radyan})$$

olarak gerilimin genlik ve açısının alabilecekleri en büyük ve en küçük deeri sınırlar olarak tanımlanırlar.

Yapılan çalımlar sonucunda sezgisel algoritmalar ve tekil deeri analizi sonucu yük baralarında elde edilen kritik deeri a a ıdaki tablolarda karılaştırılmalı olarak verilmiştir. Yapılan analiz sonuçlarına göre elde edilen deeri birbirleri ile uyum göstermektedir. Ancak 14 baralı sistemde elde edilen deeri incelendi inde, generatör baralarına yakın baraların kritik güç deerlerinin iyilemekte oldu u

gözlemlenmektedir. Çekilebilecek maksimum gücün 4 kata kadar arttı 1 görülmü tür.

Tablo 5.44. IEEE 14 baralı sistemde 14. yük barasında elde edilen kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	131	0.59	-48.36
Genetik Algoritma	137	0.56	-44.81
Benzetim Tavlama	132	0.57	-47.40
Tabu Arama	135	0.56	-51.61

Tablo 5.45. IEEE 14 baralı sistemde 13. yük barasında elde edilen kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	266	0.63	-71.30
Genetik Algoritma	260	0.62	-74.54
Benzetim Tavlama	269	0.65	-68.09
Tabu Arama	264	0.66	-66.84

Tablo 5.46. IEEE 14 baralı sistemde 12. yük barasında elde edilen kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	181	0.57	-73.93
Genetik Algoritma	183	0.55	-69.05
Benzetim Tavlama	180	0.56	-71.27
Tabu Arama	179	0.56	-71.40

Tablo 5.47 IEEE 14 baralı sistemde 11. yük barasında elde edilen kritik de erler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil De er Analizi	183	0.57	-61.13
Genetik Algoritma	182	0.58	-57.41
Benzetim Tavlama	186	0.60	-55.45
Tabu Arama	181	0.60	-63.31

Tablo 5.48. IEEE 14 baralı sistemde 10. yük barasında elde edilen kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil Değer Analizi	164	0.59	-47.42
Genetik Algoritma	160	0.56	-50.53
Benzetim Tavlama	163	0.57	-49.58
Tabu Arama	162	0.59	-52.51

Tablo 5.49. IEEE 14 baralı sistemde 9. yük barasında elde edilen kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil Değer Analizi	255	0.61	-54.38
Genetik Algoritma	252	0.64	-52.20
Benzetim Tavlama	258	0.62	-55.41
Tabu Arama	251	0.65	-55.05

Tablo 5.50. IEEE 14 baralı sistemde 5. yük barasında elde edilen kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil Değer Analizi	620	0.72	-51.66
Genetik Algoritma	623	0.70	-48.51
Benzetim Tavlama	618	0.71	-54.39
Tabu Arama	617	0.69	-56.53

Tablo 5.51. IEEE 14 baralı sistemde 4. yük barasında elde edilen kritik değerler

Yöntem	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (pu)	r_{rkrt} (der.)
Tekil Değer Analizi	740	0.69	-68.26
Genetik Algoritma	737	0.66	-65.23
Benzetim Tavlama	738	0.68	-63.23
Tabu Arama	743	0.66	61.12

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geleneksel yöntemlerle bulunan gerilim kararlılığı sınır değerleri olan kritik değerler (P_{krt} , V_{krt} , I_{krt}), Sezgisel Algoritmalar, Benzetim Tavlama, Tabu Arama ve Genetik Algoritma yöntemleri kullanılarak tespit edilmiştir. Bu çalışma ile sezgisel algoritma yöntemlerinin bu tip çalışmalarda kullanılabilirliklerini ortaya koymuştur. Geleneksel yöntemler ile elde edilen gerilim kararlılığı sınır değerlerinin, sezgisel yöntemler ile bulunan gerilim kararlılığı sınır değerleri sonuçlarının uyumlu oldukları gözlemlenmiştir.

Gerilim kararlılığı kritik değerleri ilk olarak iki baralı elektrik güç sisteminde değerlendirilmiştir. İletim koefisienleri için belirlenmiştir. Güç sistemi üzerindeki değerlendirilmeler, gerilim kararlılığı üzerindeki tesiri ortaya konulmuş ve enerji iletim sistemi için en uygun durum belirlenmeye çalışılmıştır. İki baralı sistemde çözümler analitik olarak P-V eğrileri üzerinden ve formül yardımıyla gerçekleştirilmiştir. İkinci amaçta ise iki bara için elde edilen kritik değer formülleri sezgisel algoritmalara uyarlanarak çözüme gidilmiştir.

İki baralı sistem için yapılan çalışmalar, ileri bir amaç olarak N baralı sistemlere de uygulanmıştır. Sezgisel Algoritmalar ilk olarak 3 baralı bir sistem için değerlendirilmiştir. İletim koefisienleri altında çalıştırılmış ve kritik değerler elde edilmiştir. Bu algoritmalar daha sonra, 6 ve 14 baralı sistemlere de çeşitli çalışmaları sırasında uygulanmıştır. N baralı sistemde analitik olarak kritik değerler, tekil değer analizi yöntemi ile elde edilmiştir. Burada yük barasının gücü, sabit güç katsayısı altında ve diğer yük baralarının gücü sabit kalmak üzere artı ile kademe kademe arttırılmıştır. Her artışta yük akışı analizi yapılarak elde edilen jakobyen matrisin determinantına bakılarak tekillik araştırılmıştır. Determinantın sıfır olduğu nokta kritik değerler olarak belirlenmiştir. Sezgisel algoritmalarda ise amaç, uygunluk ve kısıt fonksiyonları oluşturulurken, yük akışı analizinde kullanılan Newton Raphson

denklemlerinden faydalanılarak çözüme gidilmiştir. Böylece sezgisel algoritmaların N baralı sistemlerde de kritik de erlerin belirlenmesinde kullanılabilmesi ortaya konulmuştur. Yapılan incelemelerde varılan sonuçlar özetle aşağıda verilmiştir.

Yük akışı analizleri ve sezgisel algoritmalarla BT, TA, GA ile yapılan analizler kararlaştırılmalı olarak ele alındığında, önerilen yöntemlerle, iki baralı sistemlerde %99 ile %100 oranında başarı sağlanmıştır. 3 baralı sistemde ise yaklaşık olarak %98 ile %99 gibi doğruluk payları ile kritik gerilim ve kritik güç noktaları belirlenmiştir. Yapılan çalışmada bara sayısının artmasına bağlı olarak 6 ve 14 baralı sistemlerde algoritmanın doğru çözüme ulaşması %99 ile %95 gibi değerler arasında değişmektedir. Bu hata paylarının oluşmasında birkaç faktör vardır. Bunlardan biri bara sayısı arttığında değişken sayısı artacaktır. Mesela 2 baralı sistemde değişken sayısı 2, 6 baralı sistemde 8 iken 14 baralı sistemde bu sayı 22 olmaktadır. Başka bir faktör, sezgisel algoritmaların yakınsama mantığından kaynaklanmaktadır. Diğer bir faktör ise yük akışı algoritmalarının kararsızlık noktaları çevresindeki yakınsama probleminin sonucunda meydana gelmektedir. Zira iki farklı simülasyon programı ile yapılan güç akışı değerlerinde de küçük farkların ortaya çıkabildiği gözlemlenmiştir.

Yapılan çalışmalar bir bütün olarak ele alındığında Sezgisel Algoritmalarla Benzetim Tavlama, Tabu Arama, Genetik Algoritma yöntemlerinin, güç sistemi kritik de erlerinin bulunması problemine, başarılı bir şekilde uygulanabilmesi ortaya konulmuştur.

Gerilim kararlılığı konusunda yapılan bu çalışmaların sonucunda, önerilebilecek yeni çalışmalar özetle aşağıda verilmiştir.

Bu çalışmada sezgisel algoritmaların sadece bir kısmı ile gerilim kararlılığı analizi yapılmıştır. Oysa sezgisel algoritmaların farklı çeşitleri de vardır. Bu algoritmaların bu tip problem çözümlerinde daha iyi sonuç verip vermeyeceği araştırılabilir. (Örnek olarak; ABC Artificial Bee Colony-Arı Algoritması, Ant Colony-Karınca Algoritması, PSO Particle Swarm-Parçacık Sürü Algoritması, GSA Gravitational Search-Yer çekimi Algoritması gibi)

Bu alı mada yk barasından çekilen g artı na ba lı olarak en dü Ėk gerilim genlik de eri ara tırılmı tır. Oysa bazen baralarda yk atması sonucu gerilim yükselmesi olayları ya nabilir. Bu durum da gerilim kararsızlı ı olarak kar ıma çıkar. Bu kararsızlık üzerine gidilerek, üst kritik g ve gerilim de erleri üzerine çalı ma yapılabilir.

Bu alı mada Sezgisel Algoritmalar ile yarı dinamik güç sistemlerinin gerilim kararlılı ı incelenmi tir. Güç sistemlerinde dinamik modeller üzerinden gerilim kararlılı ının ayrıntılı olarak incelenmesi önemlidir. Bu modeller zerine Sezgisel Algoritmalar uygulanarak dinamik gerilim kararlılı ı incelenebilir.

Önerilen yöntemlerle Güç sisteminin optimal çalı ma artları da belirlenebilir. Optimal alı ması d ünülen bir sistemde gerilim kararlılı ı da sa lanmaya çalı lmalıdır. Örne in hat kayıpları minimum tutulmaya çalı ılırken yük barası de erleri de n görülen aralıklarda kalması sa lanmalı. Bu durumdaki kritik de erler de önceden belirlenebilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] American National Standards Institute, Inc., For Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hertz), Approved December 6, 2006
- [2] KARLSSON, D., BROSKE, L., and GANESAN, S., "Maximizing Power System Stability through Wide Area Protection," in 57th Annual Conference for Protective Relay Engineers, p. 15, 2004
- [3] VAN CUTSEM, T., VOURNAS, C.D., "Voltage Stability of Electric Power Systems", Kluwer Academic Publishers, 1998
- [4] YALÇIN, M.A., "Enerji İletim Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşım ile İncelenmesi", Doktora Tezi, İ.T.Ü., F.B.E., 1995
- [5] TAYLOR, C.W., "Power System Voltage Stability", Mc Graw-Hill, Inc., 1994
- [6] JOHANSSON, S., "Long-Term Voltage Stability in Power Systems Alleviating the Impact of Generator Current Limiters", Doctoral Thesis, Technical Report No 235 , Department of Electric Power Engineering School of Electrical and Computer Engineering, Chalmers University of Technology, 1998
- [7] GLAVIC, M., "Power System Voltage Stability A short Tutorial", University of Liege , Electrical Engineering and Computer Science Department , 2003
- [8] BEGOVIC, M.M., PHADKE, A.G, Control Of Voltage Stability Using Sensitivity Analysis, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No. 1, p.114–123, 2002
- [9] REPO, S., "On-Line Voltage Stability Assessment of Power System an Approach of Black-Box Modelling", Phd. Thesis, Tampere University of Technology, Publication 344, Tampere, 2001
- [10] ANDERSON, P.M., FOUAD, A.A., Power System Control And Stability, The Iowa State University Press, 4.th printing, 1986
- [11] VASSEL, G.S., Northeast blackout of 1965, IEEE Power Engineering Review, p.4-8, 1991

- [12] KUNDUR, P., "Power System Stability and Control", New York: McGraw-Hill, 1994
- [13] KUNDUR, P., and G.K., MORISON, "A review of definitions and classification of stability problems in today's power systems", Panel Session on Stability Terms and Definitions, IEEE PES Winter Meeting, New York, 1997
- [14] CIGRE Task Force 38.01.07 on Power System Oscillations, "Analysis and control of power system oscillations", CIGRE Technical Brochure, no. 111, 1996
- [15] IEEE PES Working Group on System Oscillations, "Power System Oscillations", IEEE Special Publication 95-TP-101, 1995
- [16] CIGRE Task Force 38.02.14 Rep., "Analysis and Modeling Needs of Power Systems Under Major Frequency Disturbances", 1999
- [17] GLAVIC, M., "Power System Voltage Stability A short Tutorial", University of Liege, Electrical Engineering and Computer Science Department, 2003
- [18] YANG, S., "Design of Secondary Voltage and Stability Controls With the Multiple Control Objectives", Degree Doctorate of Philosophy, Georgia Institute of Technology, 2009
- [19] BEGOVIC, M.M., PHADKE, A.G., "Control of Voltage Stability Using Sensitivity Analysis", IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 7, No.1, p.114–123, 1992
- [20] CIGRE Task Force 38–02–10, "Modelling Of Collapse Including Dynamic Phenomena", 1993
- [21] IEEE Committee Report, "Voltage Stability Of Power Systems: Concepts, Analytical Tools and Industry Experience", IEEE PES 90, 1990
- [22] IEEE TF Report, "Proposed Terms and Definition for power system stability", IEEE Trans. Power Apparatus and Systems, vol. PAS–101, p.1894–1897, 1982
- [23] PAL, M.K., "Voltage Stability: Analysis Needs, Modelling Requirement and Modelling Adequacy", IEEE proceedings-C, vol.140, No.4, p.279-286, 1993
- [24] CIGRE Working group 38.01, "Planning Against voltage collapse", Electra, p.55–75, 1987
- [25] KIRSCHEN, D., and STRBAC, G., "Why investments do not prevent blackouts", The Electricity Journal vol. 17, p.7, Mar, 2004
- [26] http://www.iea.lth.se/sed/L1_03.pdf, (2010)

- [27] VARGAS, L., QUINTANA, V.H., “Voltage collapse scenario in the Chilean interconnected system”, IEEE Transactions on Power Systems, vol. 14, no. 4, p.1415–1421, 1999
- [28] VOURNAS, C., “Technical summary on the Athens and southern Greece blackout of July”, 12, 2004
- [29] VOURNAS, C., MANOS, G.A., KABOURIS, J., VAN CUTSEM, T., “Analysis of a voltage instability incident in the Greek power system”, IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, vol. 2, 23–27, p.1483–1488, Jan. 2000
- [30] HUANG, J.S., CHANG, C.S., “Worst-Case Identification of Reactive Power Margin and Local Weakness of Power System”, Electric Power Research 44, 77-83, 1998
- [31] BAEK, Y.S., GU, M.Y., “Optimal Placement for FACTS to Improve Static Voltage Stability”, IEEE International Transactions on Power System, Vol.4-A No.3, p.141-145, 2004
- [32] [http://users.ece.utexas.edu/~baldick/classes/ Power Systems and Energy Conversion Technical Area.ppt](http://users.ece.utexas.edu/~baldick/classes/Power%20Systems%20and%20Energy%20Conversion%20Technical%20Area.ppt) (2010)
- [33] GLOVER, J.D., SARMA, M.S., “Power System Analysis and Design”, 3rd ed., Brooks/Cole, 2001
- [34] VENIKOV, V.A., STROEV, V.A., IDELCHICK, V.A., TARASOV, V.A., “Estimation of Electric Power System Steady-State Stability in Load-Flow Calculation”, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-94, No.3, p.1034-1041, 1975
- [35] AJJARAPU, V., CHRISTY, C., “The Continuation Power Flow: A Tool for Steady State Voltage Stability Analysis”, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. 7, No.1, p.416–423, 1992
- [36] DAS, D., “Electrical Power System”, New Age international Publishers, 2006
- [37] TIRANUCHIT, A., and THOMAS, R.J., “A Posturing Strategy Against Voltage Instabilities in Electric Power Systems”, IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems, Vol. 3, No.1, p.87–93, 1988
- [38] ÇAKIR, H., “Enerji İletimi(Elektrik Hesapları)”, Nesil Yayıncılık San. Tic. A ., stanbul, 1986
- [39] ELGERD, O.I., “Electric Energy Systems Theory an Introduction” McGraw-Hill Book Com., 1971
- [40] GONEN, T., “Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design”, John Willey&Sons Inc., 1988

- [41] DE SOUZA, A.C.Z., QUINTANA, V.H., “New Technique of Network Partitioning for Voltage Collapse Margin Calculations” IEE Proc-Gener. Trans. Dist., Vol.141, No.6. p.630-636, 1994
- [42] INDULKAR, C.S., VIAWANATHAN, B., VENKATA, S.S., “Maximum Power Transfer Limited by Voltage Stability in Series and shunt Compensated for A.C. Transmission Systems”. IEEE Trans. On Power Del., Vol.4, No.2, p.1246–1252, 1989
- [43] YALCIN, M.A., YUKSELER, N.H., “A New Method in Determining Critical Values for The Large Scale Power Systems Voltage Stability”, Melecon 98, 9th Mediterian Electrotechnical Conference, srael Vol.2, p.946-949, 1998
- [44] CANIZARES, C.A., and ALVARADO, F.L., “Point of Collapse and Continuation Methods for Large AC/DC Systems”, IEEE Trans. On Power Systems, Vol.8, No:1, p.1–8, 1993
- [45] KESSEL, P., and GLAVITSCH, H., “Estimating The Voltage Stability Of a Power System”, IEEE Trans. Power Delivery, Vol. PWRD–1, p.346–354, 1986
- [46] BANSILAL, D., THUKARAM, D., PARTHASARATY, K., “Optimal Reactive Power Dispatch for Voltage Stability Improvement”, Elec. Power Energy Sys. 18, p.461–468, 1996
- [47] THUKARAM, D., and at al, “Voltage Stability Improvement Case Studies of Indian Power Networks”, Elec. Power Syst., 44, p.35-44, 1998
- [48] AYASUN, S., “Tekil Noktaların Güç Sistemlerin Dinami ine Olan Etkileri”, Elektrik-Elektronik-bilgisayar mühendisli i 10. ulusal kongresi, shf.28–33, 2003
- [49] BOGOVIC, M., MILOSEVIC, B., NOVOSEL, D., MEMBER, S., “A Novel Method for Voltage Instability Protection”, Proceeding of the 35th Havai International Conferance System Science, 2002
- [50] KURU, L., “Nonlinear Dinamik Yük çeren Güç Sistemlerinde Hopf Çatalla ması Sonucu Olu an Kaotik Olayların Gerilim Karalılı na Etkileri”, Doktora tezi, SÜ FBE, 2005
- [51] <http://www.powerworld.com>, (2010)
- [52] RAY, D.Z., DEQ ANG, G., “MATPOWER User’s Manual”, December 24, 1997
- [53] MILANO, F., “Three-Dimensional Visualization and Animation for Power Systems Analysis”, Electric Power System Research, Vol. 79, No. 12, p.1638–1647, 2009.

- [54] MILANO, F., VANFRETTI, L., MORATAYA, J.C., “An Open Source Power System Virtual Laboratory: The PSAT Case and Experience”, IEEE Transactions on Education, Vol. 51, No. 1, p.17–23, 2008.
- [55] CURA, T., “Modern Sezgisel Teknikler ve Uygulamaları”, Papatya Yayıncılık, İstanbul, Türkiye 2008
- [56] BAL H., “Optimizasyon Teknikleri”, G.Ü Yayını, Yayın No:207, 1995
- [57] APRIL J., GLOVER F., LAGUNA M., “Simulation/Optimization Using Real World Applications”, Proceedings of the 2001 Winter Conference
- [58] YOUSSEF H., SAIT S.M., ADICHE H., “Evolutionary Algorithms, Simulated Annealing and A Tabu Search A Comparative Study”, Engineering Applications of B. Artificial Intelligence, Vol 14, p.167, 2001
- [59] TOSUN, S., OZTURK, A., and YALCIN, M.A., “Investigation of Critical Bus Values in Electric Power System Using Simulated Annealing and Tabu Search Algorithms”, Scientific Research and Essays Vol. 5, p. 2673–2680, 2010
- [60] OZTURK, A., COBANLI, S., ERDOGMUS, P., and TOSUN, S., “Reactive Power Optimization With Artificial Bee Colony Algorithm”, Scientific Research and Essays Vol. 5, p. 2848–2857, 2010
- [61] ROA-SEPULVEDA, C.A., PAVEZ-LAZO, B.J., “A Solution to the Optimal Power Flow Using Simulated Annealing”, Elect. Power Energy Syst., Vol. 25, p.47-57, 2003
- [62] WONG, K.P., WONG, Y.W., “Genetic and Genetic/Simulated-Annealing Approaches to Economic Dispatch”, IEE Proceedings Generation, Transmission and Distribution, Vol. 5, p.507-513, 1994
- [63] CHETTIH, S., KHIAT, M., CHAKER, A., “Optimal Distribution of the Reactive Power and Voltages Control in Algerian Network Using the Genetic Algorithm Method”. Inf. Technol., J. , Vol. 7., P.1170-1175, 2008
- [64] DURAIRAJ, S., KANNAN, S., “Improved Genetic Algorithm Approach for Multi-Objective contingency constrained Reactive Power Planning”, IEEE Indicon 2005 Conference, India, 2005
- [65] YOSHIDA, H., FUKUYAMA, Y., “A Particle Swarm Optimization for Reactive Power and Voltage Control in Electric Power Systems Considering Voltage Security Assessment”, The 1999 IEEE Systems, Man, and Cybernetics Conference (SMC'99) Tokyo International Forum, Japan, 1999
- [66] LIN, W., LI, Y., XU, X., LI, M., “Reactive Power Optimization in Area Power Grid Based on Improved Tabu Search Algorithm”, DRPT2008 Nanjing, China, 2008

- [67] TOSUN, S., OZTURK, A., ERDOĞMU , P., BICEN, Y., HASIRCI, U., “Determination of The Economic Dispatch in Electric Power Systems Using Simulated Annealing(SA) Algorithm”, 5th International Advanced Technologies Symposium (IATS’09), p.254–258, Turkey, 2009
- [68] TOSUN, S., OZTURK, A., YALCIN, M.A., “ Loading Analysis Using Simulated Annealing Algorithm in Electric Power Systems”, IV th. International Workshop on Applications of Wavelets to Real World Problems IWW 2009, Turkey, 2009
- [69] TOSUN, S., OZTURK, A., YALCIN, M.A., “Determination of Voltage Stability Critical Loading Values Using Simulated Annealing”, Eleco 2009 6 Th. International Conference on Electrical and Electronics Engineering, p.75-79, Turkey, 2009
- [70] OZTURK, A., DUMAN, S., DOSOGLU, M.K., and TOSUN, S., "The Determination of the Bundled Conductor Distance Used in High Voltage Transmission Lines by Genetic Algorithm", International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, (INISTA 2009), p.481-484, 2009
- [71] COBANLI, S., OZTURK, A., GUVENC, U., TOSUN, S., "Active Power Loss Minimization in Electric Power Systems through Artificial Bee Colony Algorithm" , International Review of Electrical Engineering, Vol. 5, p.2217-2223, 2010
- [72] TOSUN, S., OZTURK, A., DUMAN, S., YALCIN, M.A., AND DOSOGLU, K., “The Determination of the Distange Between the Conductors in Bundled Conductor Used in High Voltage Transmission Lines by Simulated Annealing”, e-Journal of New World Sciences Academy, Vol. 5, p.428-434, 2010
- [73] ÖZTÜRK, A., TOSUN, S., ERDOĞMU , P., HASIRCI, U., “Elektrik Enerji Da ıtım Sisteminde Aktif Güç Da ıtımının Genetik Algoritma ile Belirlenmesi”, Eski ehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi Cilt:XXII, Sayı:3, 2009
- [74] TOSUN, S., YALÇIN, M.A., ÖZTÜRK, A., “Elektrik Güç Sistemlerinde Kritik Bara De erlerinin Tabu Arama Algoritması ile Belirlenmesi”, Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu, Türkiye, 2010
- [75] CHAMBERS, L. “Practical Handbook of Ge-netic Algorithms Applications”, CRC Press, Vol: 1, New York, 1995
- [76] CHAMBERS, L., “Practical Handbook of Genetic Algorithms New Frontiers”, CRC Press, Vol: 2, New York, 1995
- [77] MAZUMDER, P., RUNICK, E.M., “Genetic Algorithm For VLSI Design Layout Test Otomation”, Prentice Hall PTR, 1999

- [78] WHITLEY, L.D., "Foundations of Genetic Algorithms-2", Morgan Kaufmann Publishers, Inc., California, 1993
- [79] GOLDBERG, D.E., "Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning, Addison –Wesley Longman, 1989
- [80] ORTAÇ, Y., ÖZEL, C., ALL, H., "Genetik Algoritmalar ile İki Kademeli Düz Döndürücü Redüktör Mekanizmaları için Optimum Hacim ve Ağırlık Tasarımı 2004 Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu YTÜ, 2004
- [81] ÖZTÜRK, A., "Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma ile İncelenmesi", Sakarya Üniversitesi F.B.E., Doktora Tezi, 2007
- [82] FLETCHER, R., "Practical Methods of Optimization", 2nd ed., New York, Wiley, 1990
- [83] ÖZTÜRK, A., ERDOĞMUŞ, P., YALCIN, M.A., "Genetik Algoritma ile Elektrik Güç Sistemlerinin Kritik Değerlerinin Deterministik Çalışma Koşulları için Bulunması", Conference for Computer Aided Engineering and System Modeling, 11th FGES Users Conference, Turkey, 2006
- [84] VENKATRAMAN, S., YEN, G.G., "A Generic Framework for Constrained Optimization Using Genetic Algorithms", IEEE Transactions on Evolutionary Computation Vol.9, No.,4, p.424-435, 2005
- [85] JOINES, J., HOUCK, C., "On the Use of Non-Stationary Penalty Functions to Solve Nonlinear Constraint Optimization Problems with GAs". IEEE International Conference on Evolutionary Computation, p. 579–584, IEEE Press, 1994
- [86] CARBONO, A.J.J., MENEZES, I.F.M., MARTHA, L.F., "Mooring Pattern Optimization Using Genetic Algorithms", 6th. World Congresses of Structural and Multidisciplinary Optimization, Brazil, 2005
- [87] MICHALEWICZ, Z., "Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs", Springer, Verlag Berlin Heidelberg, New York, 1999
- [88] SARUHAN, H., UYGUR, I., "Design Optimization of Mechanical Systems Using Genetic Algorithms", S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.Cilt, 2.Say1, 2003
- [89] MAN, K.F., TANG, K.S., KWONG, S., "Genetic Algorithms : Concepts and Applications", IEEE Trans on Industrial Electronics, Vol.43, No.5, 1996
- [90] DAVIS, L., "Handbook of Genetic Algorithms", New York, Van Nostrand, 1991

- [91] WOOK, C., RAMAKR SHNA, R.S., “Elitism-Based Compact Genetic Algorithms“, IEEE, Transactions on Evolutionary Computation, Vol.7, No.4, p.367-385, 2003
- [92] SHEBLE, G.B., MAIFELD, T.T., BR TT RG, K., FAHD, G., “Unit Commitment by Genetic Algorithm with penalty method and a Comparison of Lagrangran Search and Genetic Algorithm-Economic Dispatch Algorithm”, Int. Journal of Electric Power Energy Systems, Vol.18, No.6, p. 339-346, 1996
- [93] LU, W., “Optimum Design of Cold-Formed Stell Purlins Using Genetic Algorithms”, Helsinki University of Techonology Laboratory of Steel Structunes Publications 25, 2003
- [94] ELKAMCHOUCHI, H.M., WAGIB, M.M., “Failure Restoration and Array Synthesis Using Genetic Algorithms” Eighteenth National Kadio Science Conference, Mansoura Univ., p.123-130, Egypt, 2001
- [95] MICHAWICZ, Z., “Genetic Algorithms +Data Structurs= Evolution Programs Springer-Verlag Berlin Heidenberg New York, Third, Revised Extended Edition ,1999
- [96] TU, Z., LU, Y., “A Robust Stochastic Genetic Algorithms (St GA) for Global Numerical Optimization”, IEEE Transactions Evolutionary Computation, Vol.,8, No.5, p.456-470, 2004
- [97] ESBENSEN, H., KULT, E.S., “A Performance –Driven IC/MCM Placement Algorithm Featuring Explicit Design Space Exploration”, ACM Trans. On Design Automation of Electronic Systems , Vol.2, p.62-80, 1997
- [98] METROPOLIS, N., ROSENBLUTH, A., TELLER, E., "Equation of State Calculations by Fast Computing Machines", J. Chem. Phys., Vol. 21, p. 1087-1092, 1953
- [99] KIRKPATRICK, S., GERLATT, C.D., and VECCHI, M.P., “Optimization by Simulated Annealing”, Science, Vol. 220, p. 671-680, 1983
- [100] INGBER, K.L., “Simulated Annealing: Practiceversus Theory”, Mathematical and Computer Modeling, Vol. 18 p. 29-57, 1993
- [101] AARTS, E., and KORST, J.M., “Simulated Annealing and Boltzmann Machines: a Stochastic Approach to Combinatorial Optimization and Neural Computing”, John Wiley, New York, 1989
- [102] REEVES, C.R., “Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems”, McGraw-Hill, London, 1995
- [103] <http://www.answers.com /topic/simulated-annealing>, (2010)

- [104] KOCHETOV, Y.A., “Computational Capabilities of Local Search in Combinatorial Optimization”, Computational Mathematics and Mathematical Physics, Vol. 48, No. 5, p.788–807, 2008
- [105] <http://www.cs.nott.ac.uk/~gxx/aim/notes/simulatedannealing.doc>, (2010)
- [106] KARABO A, D., “Yapay Zeka Algoritmaları”, Atlas Yayıncılık, stanbul, Türkiye, 2004
- [107] AARTS, E., KORST, J., “Simulated Annealing and Boltzmann Machines”, JohnWiley & Sons, 1989
- [108] KWANG, Y.L., EL-SHARKAW , M.A., “Modern Heuristic Optimization Techniques”, Wiley-Interscience, 2008
- [109] LUNDY, M., MEES, A., “Convergence of an Annealing Algorithm”, Math. Prog., Vol. 34, p.111-124, 1986
- [110] IRVING, M.R., and STERLING, M.J.H., ‘Optimum Network Tearing Using Simulated Annealing’, IEE Proceedings, Vol. 137, p.69–72, 1990
- [111] <http://tdkterim.gov.tr/bts>, (2010)
- [112] GLOVER, F., “Future Paths for Integer Programming and Links to Artificial Intelligence”, Computers and Operations Research, Vol. 5, p.533–549, 1986
- [113] HANSEN, P., “The Steepest Ascent Mildest Descent Heuristic for Combinatorial Programming”, Congress on Numerical Methods in Combinatorial Optimization, Italy, 1986
- [114] HAO, J.K., DORNE, R., and GALINIER, P., “Tabu Search For Frequency Assignment In Mobile Radio Networks”, Journal of Heuristics, Vol 4, No 1, p.47-62, 1998
- [115] USAMI, H.M., “Unit Commitment Using Tabu search with Restricted Neighborhood”, Proc. of ISAP’96, p.422–427, USA, 1998
- [116] DE ERTEK N, Ö., HAYAL O LU, S., ÜLKER, M., “Geometrik Olarak Lineer Olmayan Uzay Çelik Çerçevelerinin Tabu Arama Yöntemi ile Optimum Boyutlandırılması”, Sigma, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Vol. 1, p.117–128, 2006
- [117] BENNAGE, W.A., and DH NGRA, A.K., “Optimization of Truss Topology Using Tabu Search”, International Journal for Numerical Methods in Engineering”, Vol. 38, p.4035–4052, 1995
- [118] KOCHETOV, Y.A., “Computational Capabilities of Local Search in Combinatorial Optimization “, Computational Mathematics and Mathematical Physics, Vol. 48, No. 5, p. 788–807, 2008

- [119] IEEE System Dynamic Performance Subcommittee of The Power System Engineering Committee of The PES, “Voltage Stability of Power Systems: Concepts, Analytical Tools, and Industry Experience”, IEEE Tech. Rep., 90TH0358-2-PWR, 1990
- [120] AJJARAPU, V., CHRISTY, C., “The Continuation Power Flow. A Tool For Steady State Analysis “, IEEE Transactions on Power System, Vol.5, No.1, 1992
- [121] YENIAY, O., “Penalty Function Methods for Constrained Optimization with Genetic Algorithms”, Mathematical and Computational Applications, Vol.10, No.1, p. 45–56, 2005
- [122] LIN, C.H., WU, W.H., “The Second Generation of Self – Organizing Adaptive Penalty Strategy for Constrained Genetic Search”, Advances in Engineering Software 35, p. 815-825, 2004
- [123] GUSTAFSSON, M., KRANTZ, N., “Voltage Collapse In Power Systems Analysis Power System Model”, Technical Report No 15L , Chalmers University of Technology, Department of Electrical Power Engineering , Göteborg, 1995
- [124] ABE, S., FUKUNOVA, Y., ISONO, A., KONDO, B., “Power System Voltage Stability” IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems , Vol. 101, No.10, p.3830–3840, 1982
- [125] OHTSKI, H., YOKOYAMA, A., SEKINE, Y., “Reverse Action of on-Load Tap Changer in Association with Voltage Collapse “, Vol.6, No.1, pp. 300–306, 1991
- [126] PARASAD, M.T.K., THAPAR, B., ”Best Location and Percentage Series Compensation of Long ,transmission Line for Maximum Power Transfer”, IE(I), Journal –EL, Vol.55, p.147-150, 1975
- [127] PANG, K.S., ” Required Shunt Compensation for an EHV Transmission Line” , Bachelor of Engineerind Thesis, The University of Queensland, In The Division of Information Technology and Electrical Engineering, 2003
- [128] ZHANG, J.J., “An Introduction Evolutinary Computation “, Department of Computer Science Western Washington University, 2003
- [129] MILLER, T.J.E., “Reactive Power Control in Electric Power System “, John Wiley&Sons, Inc., 1982
- [130] SHEBLE, G.B., “Computational Auction Mechanism for Restructured Power Industry Operation”, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1998

EKLER

Ek A P-V E rilerinin Analitik fadeleri

V_s, I_s ; Kaynak (generatör) gerilim ve akımı

V_r, I_r ; Yük gerilim ve akımı

A , B ; Uzun iletim hattı sabitleri olmak üzere kaynak gerilimi bilinen ekli ile,

$$V_s = A.V_r + B.I_r \quad (\text{Ek A1})$$

olarak ifade edilir . Bu denklemdeki A, B, V_r , I_r ifadelerinin açık halleri,

$$A = a_1 + ja_2, \quad (\text{Ek A2})$$

$$B = b_1 + jb_2 \quad (\text{Ek A3})$$

$$V_r = V_{r1} + jV_{r2} \quad (\text{Ek A4})$$

$$S_r = P_r + jQ_r = V_r.I_r^* \quad (\text{Ek A5})$$

$$I_r = \frac{P_r - jQ_r}{V_r^*} \quad (\text{Ek A6})$$

eklinde belirtilir. P_r ve Q_r yükün aktif ve reaktif gücünü sembolize eder. Ek A1 de e itli in sa tarafındaki ifadelerin açık halleri yazır ise,

$$V_s = (a_1 + ja_2).(V_{r1} + jV_{r2}) + (b_1 + jb_2) * \left(\frac{P_r - jQ_r}{V_r^*}\right) \quad (\text{Ek A7})$$

denklemi elde edilir. Bu denklemin her iki tarafı V_r^* ile çarpılır ve

$$|V_r|^2 = V_{r1}^2 + V_{r2}^2 \quad (\text{Ek A8})$$

bilinen denklemi de göz önünde bulundurulur ise,

$$V_s.V_r^* = (a_1 + ja_2).|V_r|^2 + (b_1 + jb_2)(P_r - jQ_r) \quad (\text{Ek A9})$$

denklem düzenlenir ise,

$$V_s.V_r^* = (a_1.|V_r|^2 + b_1.P_r + b_2.Q_r) + j(a_2.|V_r|^2 + b_2.P_r - b_1.Q_r) \quad (\text{Ek A10})$$

denklemini elde edilir. E itli in her iki tarafı e leni i ile çarpılır ise sonuç de i mez. Buna göre e itli in iki tarafı da e leni i ile çarpıldı ında,

$$|V_s|^2 \cdot |V_r|^2 = (a_1 \cdot |V_r|^2 + b_1 \cdot P_r + b_2 \cdot Q_r)^2 + (a_2 \cdot |V_r|^2 + b_2 \cdot P_r - b_1 \cdot Q_r)^2 \quad (\text{Ek A11})$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde e itli in sa tarafında bulunan parantezlerin kareleri alındı ında,

$$|V_s|^2 \cdot |V_r|^2 = (a_1^2 + a_2^2) \cdot |V_r|^4 + [2 \cdot P_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2) + 2 \cdot Q_r \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)] \cdot |V_r|^2 + (b_1^2 + b_2^2) \cdot (P_r^2 + Q_r^2) \quad (\text{Ek A12})$$

denklemini elde eldir.

$$a_1^2 + a_2^2 = |A|^2 \quad (\text{Ek A13})$$

$$b_1^2 + b_2^2 = |B|^2 \quad (\text{Ek A14})$$

Ek A13 ve Ek A14 ifadeleri Ek A12 denkleminde yerine yazılır ve yeniden düzenlenirse denklem,

$$|A|^2 \cdot |V_r|^4 + [2 \cdot P_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2) + 2 \cdot Q_r \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)] \cdot |V_r|^2 + |B|^2 \cdot (P_r^2 + Q_r^2) = 0 \quad (\text{Ek A15})$$

olarak ifade edilir. Bu denklemde φ güç açısı olmak üzere,

$$Q_r = P_r \times \tan \varphi \quad (\text{Ek A16})$$

denklemini Ek A15'de yerine yazıldı ında,

$$|A|^2 \cdot |V_r|^4 + [2 \cdot P_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2) + 2 \cdot P_r \cdot \tan \varphi (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)] \cdot |V_r|^2 + |B|^2 \cdot (P_r^2 + (P_r \cdot \tan \varphi)^2) = 0 \quad (\text{Ek A17})$$

denklemini elde edilir. Bu denklemde $|V_r|^2 = x$ olarak dü ünüldü ünde Ek A17'de ifade edilen denklem,

$$a \cdot x^2 + b \cdot x + c = 0 \quad (\text{Ek A18})$$

formatında ifade edilebilen ikinci dereceden bir denklem haline gelmi olur. Güç sisteminin uzun iletim hattı sabitlerinin bulunması ile $a_1, a_2, b_1, b_2, |A|, |B|$, katsayıları elde edilir. Çalı malar sabit güç katsayısı altında yapıldı ından, yükün güç açısı olan φ de eri de bellidir. P_r yük barasının aktif gücü sıfırdan itibaren adım adım artırılması ile her defasında ikinci dereceden denklem çözümlenerek denklemin bilinmeyen olan $|V_r|$ hesaplanır. $|V_r|$ 'nin hesaplanması için denklemler

$$a = |A|^2 \quad (\text{Ek A19})$$

$$b = [2.P_r.(a_1.b_1 + a_2.b_2) + 2.P_r.\tan\varphi.(a_1.b_2 - a_2.b_1)] \quad (\text{Ek A20})$$

$$c = |B|^2.(P_r^2 + (P_r.\tan\varphi)^2) \quad (\text{Ek A21})$$

$$\Delta = b^2 - 4.a.c \quad (\text{Ek A22})$$

$$V_{r1,2} = \sqrt{\frac{-b \mp \sqrt{\Delta}}{2.a}} \quad (\text{Ek A23})$$

olarak ifade edilir. Bu ekinde elde edilen çok sayıda çözümün olu turdu u de erler uygun bir bilgisayar programı yardımı ile bir e ri ekinde çizdirilmesi ile güç sisteminin P-V e risi olu turulur.

EK B Yük Barasının Kritik Değerlerinin Hesaplandırılması Formülleri

Kaynak ve yük gerilimleri,

$$V_s = V_s \angle 0^\circ \quad (\text{Ek B1})$$

$$V_r = V_r \angle -\delta = V_r \cdot (\cos \delta - j \sin \delta) \quad (\text{Ek B2})$$

olmak üzere, denklem Ek A1, Ek A2 ve Ek A3 göz önünde bulundurulduğunda yük barasının akımı ve bu akımın eksenleri,

$$I_r = \frac{V_s - A V_r \angle -\delta}{B} = \frac{V_s - (a_1 + j a_2) V_r \cdot (\cos \delta - j \sin \delta)}{b_1 + j b_2} \quad (\text{Ek B3})$$

$$I_r^* = \frac{V_s - (a_1 - j a_2) V_r \cdot (\cos \delta + j \sin \delta)}{b_1 - j b_2} \quad (\text{Ek B4})$$

olarak ifade edilir. S_r yük barasının görünür gücünü ifade etmek üzere, yük barasının görünür gücü,

$$S_r = V_r \angle -\delta \cdot I_r^* \quad (\text{Ek B5})$$

$$S_r = V_r \cdot (\cos \delta - j \sin \delta) \cdot I_r^* \quad (\text{Ek B6})$$

$$S_r = \frac{V_s \cdot V_r \cdot (\cos \delta - j \sin \delta) - (a_1 - j a_2) \cdot V_r^2 \cdot (\cos^2 \delta + \sin^2 \delta)}{b_1 - j b_2} \quad (\text{Ek B7})$$

denklemini elde edilir. $(\cos^2 \delta + \sin^2 \delta) = 1$ olduğu bilinmektedir. Bu denklemin pay ve paydası $b_1 + j b_2$ ile çarpılır ise, yük barasının görünür gücü,

$$S_r = \frac{V_s \cdot V_r \cdot (\cos \delta - j \sin \delta) \cdot (b_1 + j b_2) - (a_1 - j a_2) \cdot V_r^2 \cdot (b_1 + j b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B8})$$

denklemini ile ifade edilir. Ek B7 denkleminin gerçekte bileşeni yük barasının aktif gücünü, sanal bileşeni ise yük barasının reaktif gücünü ifade eder. Denklem açık hale getirilip, gerçekte ve sanal bileşenleri ayrıldığında elde edilen yük barasının aktif ve reaktif güç denklemleri aşağıda ifade edilir;

$$P_r = \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_1 \cdot \cos \delta + b_2 \cdot \sin \delta) - V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B9})$$

$$Q_r = \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_2 \cdot \cos \delta - b_1 \cdot \sin \delta) - V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B10})$$

Denklem Ek B9 ve Ek B10 ile verilen yük barası aktif ve reaktif güç ifadelerinin de göz önünde bulundurulması ile Newton yük akı ındaki jakobiyen matrisi elde etmek için

$$f_1(V_s, V_r, \delta) = P_r - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_1 \cdot \cos \delta + b_2 \cdot \sin \delta) - V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B11})$$

$$f_2(V_s, V_r, \delta) = Q_r - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (b_2 \cdot \cos \delta - b_1 \cdot \sin \delta) - V_r^2 \cdot (a_1 \cdot b_2 + a_2 \cdot b_1)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B12})$$

Denklemleri elde edilir. Newton yük akı ında V_S sabit , δ , V_r de i ken oldu undan, Jakobiyen matris,

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \delta} & \frac{\partial f_1}{\partial V_r} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \delta} & \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \end{bmatrix}$$

olarak ifade edilir. Matris elemanları ise ;

$$\frac{\partial f_1}{\partial \delta} = 0 - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (-b_1 \cdot \sin \delta + b_2 \cdot \cos \delta)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B13})$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial V_r} = 0 - \frac{V_s \cdot (b_1 \cdot \cos \delta + b_2 \cdot \sin \delta) + 2 \cdot V_r \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B14})$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial \delta} = 0 - \frac{V_s \cdot V_r \cdot (-b_2 \cdot \sin \delta - b_1 \cdot \cos \delta)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B15})$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial V_r} = 0 - \frac{V_s \cdot (b_2 \cdot \cos \delta - b_1 \cdot \sin \delta) + 2 \cdot V_r \cdot (a_1 \cdot b_2 - a_2 \cdot b_1)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B16})$$

olarak ifade edilebilirler. Maksimum aktif güç noktası jakobiyen matrisin determinantının sıfır oldu u durum için bulunur. Jakobiyen matrisin determinatının sıfır oldu u nokta ise,

$$\left(\frac{\partial f_1}{\partial \delta} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \right) - \left(\frac{\partial f_1}{\partial V_r} \cdot \frac{\partial f_2}{\partial \delta} \right) = 0 \quad (\text{Ek B17})$$

denklemleri ile bulunur. Ek B13, Ek B14, Ek B15, Ek B16, denklemleri Ek B17

denkleminde yerine yazılır ve ara i lemler yapılır ise,

$$V_s = 2 \cdot V_r \cdot (a_1 \cdot \cos \delta + a_2 \cdot \sin \delta) \quad (\text{Ek B18})$$

denklemleri elde edilir. Bu denklem jakobiyen matrisin determinantının sıfır oldu u anda elde edilen denklem oldu undan, bu denklemi sa layan V_S , δ de erleri kritik de erlerdir. Ek B18 denklemi Ek B9 de belirtilen edilen yük barasının aktif güç

ifadesinde yerine yazılır ise, hat sonundaki yük barasından çekilen gücün kritik de erini ifade eden denklem elde edilir. Denklem Ek B18 denklem Ek B10 da yerine yazılırsa yük barasından çekilen reaktif gücün kritik de erini veren denklem elde edilir. A a ıda kritik de erlerin hesaplandı ı formüller elde edilecektir, denklem Ek B9 ve Ek B10' in kullanılması ile,

$$\tan \varphi = \frac{Qr}{Pr} = \frac{V_s.V_r.(b_2.\cos \delta - b_1.\sin \delta) - V_r^2.(a_1.b_2 - a_2.b_1)}{V_s.V_r.(b_1.\cos \delta + b_2.\sin \delta) - V_r^2.(a_1.b_1 + a_2.b_2)} \quad (\text{Ek B19})$$

denklemini elde edilir. Kritik nokta durumunda bu denklemdeki V_S ifadesi yerine Ek B18 denklemini yazılabilir. Bu durumda,

$$\tan \varphi = \frac{2.V_r.(a_1.\cos \delta + a_2.\sin \delta).V_r.(b_2.\cos \delta - b_1.\sin \delta) - V_r^2.(a_1.b_2 - a_2.b_1)}{2.V_r.(a_1.\cos \delta + a_2.\sin \delta).V_r.(b_1.\cos \delta + b_2.\sin \delta) - V_r^2.(a_1.b_1 + a_2.b_2)} \quad (\text{Ek B20})$$

denklemini elde edilir.

$$2.\cos 2\delta - 1 = \cos 2\delta \quad (\text{Ek B21})$$

$$1 - \sin 2\delta = \cos 2\delta \quad (\text{Ek B22})$$

$$2.\cos \delta.\sin \delta = \sin 2\delta \quad (\text{Ek B23})$$

Bilinen trigonometrik ba lantılar, Ek B20 denkleminin parantezsiz açık halinde yerine yazılmasından sonra,

$$\tan \delta = \frac{a_1.b_2.\cos 2\delta + a_2.b_1.\cos 2\delta + \sin 2\delta.(a_2.b_2 - a_1.b_1)}{a_1.b_1.\cos 2\delta - a_2.b_2.\cos 2\delta + \sin 2\delta.(a_1.b_2 + a_2.b_1)} \quad (\text{Ek B24})$$

fadesi elde edilir. Bu ifadenin pay ve paydası $\cos 2\delta$ ile bölünür ise ,

$$\tan \delta = \frac{a_1.b_2 + a_2.b_1 + \tan 2\delta.(a_2.b_2 - a_1.b_1)}{a_1.b_1 - a_2.b_2 + \tan 2\delta.(a_1.b_2 + a_2.b_1)} \quad (\text{Ek B25})$$

Denklemini elde edilir. bu denklemde iç dı çarpımının yapılmasının ardından $\tan 2\delta$ katsayılı terimler e itli in bir tarafında olacak ekilde düzenlenen denklem sayesinde, $\tan 2\delta$ ifadesi elde edilir. Bu ifade,

$$\tan 2\delta = \frac{a_1.b_2 + a_2.b_1 - a_1.b_1.\tan \varphi + a_2.b_2.\tan \varphi}{a_1.b_1 - a_2.b_2 + a_1.b_2.\tan \varphi + a_2.b_1.\tan \varphi} \quad (\text{Ek B26})$$

olarak elde edilir. Bu denklemin pay ve paydası için,

$$K_1 = a_1.b_2 + a_2.b_1 - a_1.b_1.\tan \varphi + a_2.b_2.\tan \varphi \quad (\text{Ek B27})$$

$$K_2 = a_1.b_1 - a_2.b_2 + a_1.b_2.\tan \varphi + a_2.b_1.\tan \varphi \quad (\text{Ek B28})$$

kısaltmaları yapılabilir. Bu durumda Ek B16 denklemini,

$$\tan 2\delta = \frac{K_1}{K_2} \quad (\text{Ek B27})$$

olarak ifade edilebilir. Bu i lemler jakobiye n matrisin determinantının sıfır oldu u nokta için yapıldı ndan δ de eri kritik de erdir. Bu neden ile $\delta = \delta_{krtk}$ yazılabilir.

Bu durumda denklem Ek B27'den yük barasının kritik açı de erini veren formül,

$$\delta_{krtk} = \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{K_1}{K_2}\right) = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \cdot \tan^{-1}\left(\frac{K_2}{-K_1}\right) \quad (\text{Ek B28})$$

olarak elde edilir. Kritik noktada çalı ıldı ndan denklem Ek B18'de $V_r = V_{krtk}$ yazılabilir. Kritik yük açısı formülü denklem Ek B18 'de yerine yazıldı nda,

$$V_{krtk} = \frac{V_s}{2 \cdot (a_1 \cdot \cos \delta_{krtk} + a_2 \cdot \sin \delta_{krtk})} \quad (\text{Ek B29})$$

Yük barasının kritik gerilim de erini veren formül elde edilir. Yük barası için, gerilim ve açı de erleri kritik de erlerini aldı nda aktif güç ifadesi de kritik de erini alır. Bu durumda denklem Ek B9 yeniden düzenlenir ise bu ifade,

$$P_{krtk} = \frac{V_s \cdot V_{krtk} \cdot (b_1 \cdot \cos \delta_{krtk} + b_2 \cdot \sin \delta_{krtk}) - V_{krtk}^2 \cdot (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B30})$$

Olarak yazılabilir. Denklem Ek B28 ve Ek B29'daki δ_{krtk} , V_{krtk} ifadelerinin açık hali denklem Ek B27 yerine yazılması ve,

$$K_3 = (b_1 \cdot \cos \delta_{krtk} + b_2 \cdot \sin \delta_{krtk}) \quad (\text{Ek B31})$$

$$K_4 = (a_1 \cdot \cos \delta_{krtk} + a_2 \cdot \sin \delta_{krtk}) \quad (\text{Ek B32})$$

kısaltmalarının da kullanılması neticesinde,

$$P_{krtk} = \frac{V_s^2 \cdot [2 \cdot K_3 \cdot K_4 - (a_1 \cdot b_1 + a_2 \cdot b_2)]}{(b_1^2 + b_2^2) \cdot 4 \cdot K_4^2} \quad (\text{Ek B33})$$

ifadesi elde edilir. Böylece hat sonundan yük barası tarafından çekilen kritik aktif güç de erinin hesaplandı ı formül belirlenmi olur.

EK C 3 Baralı Sistemde Kritik Değer Çalımlarının Program Kodları

EK C.1. Yük akı analizi kodları

```

% 3 baralı bir sistemde 3. yük barasına göre P-V eğrisi
clear all
clc

for k=0:0.5:177.5;
    p=k;
    q=0.625*p;
basemva = 100; accuracy = 0.001; maxiter = 10;

%      Sistem Dataları
%      -Bara- Gerilim Acı    ---Yük----  -----Generator---  Kompan.
%      No  code Mag.  Degree  MW  Mvar MW  Mvar Qmin Qmax  Mvar
busdata=[1  1  1.05  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0 -9900 9900  0
          2  2  1.04  0.0  0.0  0.0  50  0.0 -9900 9900  0
          3  0  1.07  0.0  p    q    0.0  0.0 -9900 9900  0
          ];

%      Bara      R      X      1/2 B      = 1 hatlar için
%      nl  nr  p.u.  p.u.  p.u.  > 1 or < 1 tr.
linedata=[1  2  0.07  0.2  0.00  1
           1  3  0.05  0.3  0.00  1
           2  3  0.08  0.3  0.00  1
           ];

%bara admitans matrisi

j=sqrt(-1); i = sqrt(-1);
nl = linedata(:,1); nr = linedata(:,2); R = linedata(:,3);
X = linedata(:,4); Bc = j*linedata(:,5); a = linedata(:, 6);
nbr=length(linedata(:,1)); nbus = max(max(nl), max(nr));
Z = R + j*X; y= ones(nbr,1)./Z;
for n = 1:nbr
if a(n) <= 0 a(n) = 1; else end
Ybus=zeros(nbus,nbus);
% köşegen dışı elemanalar
for k=1:nbr;
    Ybus(nl(k),nr(k))=Ybus(nl(k),nr(k))-y(k)/a(k);
    Ybus(nr(k),nl(k))=Ybus(nl(k),nr(k));
    end
end
% köşegen elemanlar
for n=1:nbus
    for k=1:nbr
        if nl(k)==n
            Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k)/(a(k)^2) + Bc(k);
        elseif nr(k)==n
            Ybus(n,n) = Ybus(n,n)+y(k) +Bc(k);
        else, end
    end
end
clear Pgg

```

```

%yük akışı

ns=0; ng=0; Vm=0; delta=0; yload=0; deltad=0;
nbus = length(busdata(:,1));
for k=1:nbus
n=busdata(k,1);
kb(n)=busdata(k,2); Vm(n)=busdata(k,3); delta(n)=busdata(k, 4);
Pd(n)=busdata(k,5); Qd(n)=busdata(k,6); Pg(n)=busdata(k,7); Qg(n) =
busdata(k,8);
Qmin(n)=busdata(k, 9); Qmax(n)=busdata(k, 10);
Qsh(n)=busdata(k, 11);
    if Vm(n) <= 0 Vm(n) = 1.0; V(n) = 1 + j*0;
    else delta(n) = pi/180*delta(n);
        V(n) = Vm(n)*(cos(delta(n)) + j*sin(delta(n)));
        P(n)=(Pg(n)-Pd(n))/basemva;
        Q(n)=(Qg(n)-Qd(n)+ Qsh(n))/basemva;
        S(n) = P(n) + j*Q(n);
    end
end
for k=1:nbus
if kb(k) == 1, ns = ns+1; else, end
if kb(k) == 2 ng = ng+1; else, end
ngs(k) = ng;
nss(k) = ns;
end
Ym=abs(Ybus); t = angle(Ybus);
m=2*nbus-ng-2*ns;
maxerror = 1; converge=1;
iter = 0;
% iterasyona başlangıç
clear A DC J DX
while maxerror >= accuracy & iter <= maxiter
for i=1:m
for k=1:m
    A(i,k)=0; %Jacobian matris başlangıcı
end, end
iter = iter+1;
for n=1:nbus
nn=n-nss(n);
lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
J11=0; J22=0; J33=0; J44=0;
    for i=1:nbr
        if nl(i) == n | nr(i) == n
            if nl(i) == n, l = nr(i); end
            if nr(i) == n, l = nl(i); end
            J11=J11+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));
            J33=J33+ Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));
            if kb(n)~=1
                J22=J22+ Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
                J44=J44+ Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) + delta(l));
            else, end
            if kb(n) ~= 1 & kb(l) ~=1
                lk = nbus+l-ngs(l)-nss(l)-ns;
                ll = l -nss(l);
                % jakobienin köşegen dışı elemanlar J1
                A(nn, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));
                if kb(l) == 0 % köşegen dışı elemanlar J2

```

```

                A(nn, lk) =Vm(n)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));end
                if kb(n) == 0 % köşegen dışı elemanlar J3
                A(lm, ll) =-Vm(n)*Vm(l)*Ym(n,l)*cos(t(n,l)-
delta(n)+delta(l)); end
                if kb(n) == 0 & kb(l) == 0 % köşegen dışı elemanlar
J4
                A(lm, lk) =-Vm(n)*Ym(n,l)*sin(t(n,l)- delta(n) +
delta(l));end
                else end
                else , end
                end
                Pk = Vm(n)^2*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J33;
                Qk = -Vm(n)^2*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J11;
                if kb(n) == 1 P(n)=Pk; Q(n) = Qk; end % salınım barası P
                if kb(n) == 2 Q(n)=Qk;
                if Qmax(n) ~= 0
                Qgc = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
                if iter <= 7
                if iter > 2
                if Qgc < Qmin(n),
                Vm(n) = Vm(n) + 0.01;
                elseif Qgc > Qmax(n),
                Vm(n) = Vm(n) - 0.01;end
                else, end
                else,end
                else,end
                end
                if kb(n) ~= 1
                A(nn,nn) = J11; %köşegen eleman J1
                DC(nn) = P(n)-Pk;
                end
                if kb(n) == 0
                A(nn,lm) = 2*Vm(n)*Ym(n,n)*cos(t(n,n))+J22; %köşegen eleman J2
                A(lm,nn)= J33; %köşegen eleman J3
                A(lm,lm) =-2*Vm(n)*Ym(n,n)*sin(t(n,n))-J44; %köşegen eleman J4
                DC(lm) = Q(n)-Qk;
                end
                end
                DX=A\DC'
                for n=1:nbus
                nn=n-nss(n);
                lm=nbus+n-ngs(n)-nss(n)-ns;
                if kb(n) ~= 1
                delta(n) = delta(n)+DX(nn); end
                if kb(n) == 0
                Vm(n)=Vm(n)+DX(lm); end
                end
                maxerror=max(abs(DC));
                if iter == maxiter & maxerror > accuracy
                fprintf('\nDikkat: iterativ cozum yok ')
                fprintf('%g', iter), fprintf(' iterasyon.\n\n')
                fprintf(iterasyon ve basim islemleri icin enter tusuna basin \n')
                converge = 0; pause, else, end

                end

                if converge ~= 1
                tech= ( ' iterativ cozum yok ');
                else,

```

```

    tech=( '                                yuk akis cozumu Newton-Raphson
Method' );
end
V = Vm.*cos(delta)+j*Vm.*sin(delta);
deltad=180/pi*delta;
i=sqrt(-1);
k=0;
for n = 1:nbus
    if kb(n) == 1
        k=k+1;
        S(n)= P(n)+j*Q(n);
        Pg(n) = P(n)*basemva + Pd(n);
        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
        Pgg(k)=Pg(n);
        Qgg(k)=Qg(n);
    elseif kb(n) ==2
        k=k+1;
        S(n)=P(n)+j*Q(n);
        Qg(n) = Q(n)*basemva + Qd(n) - Qsh(n);
        Pgg(k)=Pg(n);
        Qgg(k)=Qg(n);
    end
yload(n) = (Pd(n)- j*Qd(n)+j*Qsh(n))/(basemva*Vm(n)^2);
end
busdata(:,3)=Vm'; busdata(:,4)=deltad';
Pgt = sum(Pg); Qgt = sum(Qg); Pdt = sum(Pd); Qdt = sum(Qd); Qsht =
sum(Qsh);

J=[J11 J22;    J33 J44];

%sonuclar
disp(tech)
fprintf('                                Maximum Power Mismatch = %g \n',
maxerror)
fprintf('                                No. of Iterations = %g \n\n',
iter)
head =['   Bus Voltage Angle   -----Load-----   ---
Generation---   Injected'
      '   No. Mag.   Degree   MW   Mvar   MW
Mvar   Mvar '
      '];
disp(head)
for n=1:nbus
    fprintf(' %5g', n), fprintf(' %7.3f', Vm(n)),
    fprintf(' %8.3f', deltax(n)), fprintf(' %9.3f', Pd(n)),
    fprintf(' %9.3f', Qd(n)), fprintf(' %9.3f', Pg(n)),
    fprintf(' %9.3f ', Qg(n)), fprintf(' %8.3f\n', Qsh(n))
end
    fprintf(' \n'), fprintf(' Total ')
    fprintf(' %9.3f', Pdt), fprintf(' %9.3f', Qdt),
    fprintf(' %9.3f', Pgt), fprintf(' %9.3f', Qgt), fprintf('
%9.3f\n\n', Qsht)

plot(p,Vm(3),'k.','LineWidth',2) % P-V e risinin çizilmesi
hold on

Ybus
% kayıpların bulunması

```

```

SLT = 0;
fprintf('\n')
fprintf('
                                Line Flow and Losses \n\n')
fprintf('      --Line--  Power at bus & line flow      --Line loss--
Transformer\n')
fprintf('      from to      MW      Mvar      MVA      MW      Mvar
tap\n')

for n = 1:nbus
busprt = 0;
    for L = 1:nbr;
        if busprt == 0
            fprintf('      \n'), fprintf('%6g', n), fprintf('      %9.3f',
P(n)*basemva)
                fprintf('%9.3f', Q(n)*basemva), fprintf('%9.3f\n',
abs(S(n)*basemva))

                busprt = 1;
            else, end
            if nl(L)==n      k = nr(L);
                In = (V(n) - a(L)*V(k))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(n);
                Ik = (V(k) - V(n)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(k);
                Snk = V(n)*conj(In)*basemva;
                Skn = V(k)*conj(Ik)*basemva;
                SL = Snk + Skn;
                SLT = SLT + SL;
            elseif nr(L)==n  k = nl(L);
                In = (V(n) - V(k)/a(L))*y(L) + Bc(L)*V(n);
                Ik = (V(k) - a(L)*V(n))*y(L)/a(L)^2 + Bc(L)/a(L)^2*V(k);
                Snk = V(n)*conj(In)*basemva;
                Skn = V(k)*conj(Ik)*basemva;
                SL = Snk + Skn;
                SLT = SLT + SL;
            else, end
                if nl(L)==n | nr(L)==n
                    fprintf('%12g', k),
                    fprintf('%9.3f', real(Snk)), fprintf('%9.3f', imag(Snk))
                    fprintf('%9.3f', abs(Snk)),
                    fprintf('%9.3f', real(SL)),
                        if nl(L) ==n & a(L) ~= 1
                            fprintf('%9.3f', imag(SL)), fprintf('%9.3f\n', a(L))
                        else, fprintf('%9.3f\n', imag(SL))
                        end
                    else, end
                end
            end
        SLT = SLT/2;
        fprintf('      \n'), fprintf('      Total loss
                                ')
        fprintf('%9.3f', real(SLT)), fprintf('%9.3f\n', imag(SLT))
        clear Ik In SL SLT Skn Snk
    end
end

```

EK C.2. Benzetim Tavlama kodları

```

clc
clear
%_____admitans de erleri_____

y=[ 2.10-j*7.70    -1.56+j*4.45    -0.54+j*-0.54
    -1.56+j*4.45    2.39-j*7.57    -0.83+j*3.11
    -0.54+j*3.24    -0.83+j*3.11    1.37-j*6.36 ];
b=imag(y);
g=real(y);

% bilinenler-kontrol de işkenleri
v1=1.05; tetal=0; v2=1.04; P2=0.5;
% bilinmeyenler- durum de işkenleri
%başlangıç de erleri
v3o=1;
teta3o=0;
teta2o=0;
%_____Benzetim Tavlama_____
a=0;
it=0;
T = 1*10^(27);
rho = .99; % so utma faktörü
k=1.380650524*10^(-23);% boltzman sabiti
n=1000;
while a==0;
    for i=1:n
        it=it+1;
        v3=0.5+rand*(1.0-0.5);%Aday çözümler
        teta2=-rand*(0.785);
        teta3=-rand*(0.785);
        % denge veya kısıtlar
        tp2=v2*(v1*g(2,1)*cos(teta2-tetal)+v1*b(2,1)*sin(teta2-tetal)+...
            v2*g(2,2)*cos(teta2-teta2)+v2*b(2,2)*sin(teta2-teta2)+...
            v3*g(2,3)*cos(teta2-teta3)+v3*b(2,3)*sin(teta2-teta3))-P2;
        P3y=v3*(v1*g(3,1)*cos(teta3-tetal)+v1*b(3,1)*sin(teta3-tetal)+...
            v2*g(3,2)*cos(teta3-teta2)+v2*b(3,2)*sin(teta3-teta2)+...
            v3*g(3,3)*cos(teta3-teta3)+v3*b(3,3)*sin(teta3-teta3));
        tq3=v3*(v1*g(3,1)*sin(teta3-tetal)-v1*b(3,1)*cos(teta3-tetal)+...
            v2*g(3,2)*sin(teta3-teta2)-v2*b(3,2)*cos(teta3-teta2)+...
            v3*g(3,3)*sin(teta3-teta3)-v3*b(3,3)*cos(teta3-teta3))-
        (0.625*P3y);

        % cezalandırma

        P=10^3*(max(0, tp2-0.0001)^2)+10^7*(max(0, tq3-0.0001)^2);

        % amaç fonksiyonu
        %yeni çözüm
        P3y =v3*(v1*g(3,1)*cos(teta3-tetal)+v1*b(3,1)*sin(teta3-tetal)+...
            v2*g(3,2)*cos(teta3-teta2)+v2*b(3,2)*sin(teta3-teta2)+...
            v3*g(3,3)*cos(teta3-teta3)+v3*b(3,3)*sin(teta3-teta3))+P;
        %eski çözüm
        P3x =v3o*(v1*g(3,1)*cos(teta3o-tetal)+v1*b(3,1)*sin(teta3o-
tetal))+...

```

```

v2*g(3,2)*cos(teta3o-teta2o)+v2*b(3,2)*sin(teta3o-
teta2o)+...
v3o*g(3,3)*cos(teta3o-teta3o)+v3o*b(3,3)*sin(teta3o-
teta3o));

    if P3y<P3x
        v3o=v3;
        teta2o=teta2;
        teta3o=teta3;
        P3x=P3y-P;
    else
alp = exp(-(P3y-P3x)/(k*T)); %kabul edilme kriteri
        if rand<alp
            v3o=v3;
            teta2o=teta2;
            teta3o=teta3;
            P3x=P3y-P;
        end
    end

end

T = T*rho;
if T<1
    break
end

plot(it,-P3x,'k')
hold on
end
    %reaktif güç
Q3x=v3o*(v1*g(3,1)*sin(teta3o-teta1)-v1*b(3,1)*cos(teta3o-teta1)+...
v2*g(3,2)*sin(teta3o-teta2o)-v2*b(3,2)*cos(teta3o-
teta2o)+...
v3o*g(3,3)*sin(teta3o-teta3o)-v3o*b(3,3)*cos(teta3o-
teta3o));

'3.Yük barasından çekilen aktif ve reaktif güçler'
P3max=-P3x
Q3max=-Q3x
q2=v2*(v1*g(2,1)*sin(teta2o-teta1)-v1*b(2,1)*cos(teta2o-
teta1)+...
v2*g(2,2)*sin(teta2o-teta2o)-v2*b(2,2)*cos(teta2o-
teta2o)+...
v3o*g(2,3)*sin(teta2o-teta3o)-v3o*b(2,3)*cos(teta2o-
teta3o))
disp('gücü max yapan gerilim ve açı de eri:')
v3o
teta3=teta3o*180/pi
teta2=teta2o*180/pi

```

EK C.3. Tabu Arama kodları

```

clc
clear
y=[ 2.10-j*7.70    -1.56+j*4.45    -0.54+j*3.24
   -1.56+j*4.45    2.39-j*7.57    -0.83+j*3.11
   -0.54+j*3.24   -0.83+j*3.11    1.37-j*6.36 ];
b=imag(y);
g=real(y);

% bilinenler-kontrol de işkenleri
v1=1.05; tetal=0; v2=1.04;
P2=0.5;

% Kısa Dönemli Tabu Arastirma ile bulunan çözüm
% bilinmeyenler- durum de işkenleri
%başlangıç de erleri
x1o=1; % v3 gerilimi
x2o=0; % teta3 açısı
x3o=0; % teta2 açısı
nbiter=0;
bestiter=0;

%En iyi sonucun bulundu u iterasyon
bestsol1=x1o;
bestsol2=x2o;
bestsol3=x3o;
T=[];
%Tabu listesi
N=1000
nbmax=5000;%Max iterasyon
%Aspirasyon fonksiyonu
while nbiter<nbmax
    nbiter=nbiter+1;
    for i=1:N;
        x1c(i)=round(400+rand*(1000-400))*0.001;%baslangıc de er
        x2c(i)=round(-rand*(785))*0.001;
        x3c(i)=round(-rand*(785))*0.001;

        penalty1=abs(penaltyy(x1c(i),x2c(i),x3c(i)));
        penalty2=penalty1-0.001;
%Aday çözüm uyg fonksiyonu
        yc(i)=flocal1(x1c(i),x2c(i),x3c(i))+ max(0,penalty2)^2*10^7;
    end
    [yc,index]=sort(yc);
    i=1;
    if isempty(find(T==yc(i)))
        %E er aday çözümün de eri tabu listesinde yoksa;
        sy1=x1c(index(i));
        sy2=x2c(index(i));
        sy3=x3c(index(i));

        T=[T yc(i)];
        %Güncelleme
        if flocal1(sy1,sy2,sy3)<flocal1(bestsol1,bestsol2,bestsol3)
            bestsol1=x1o;
            bestsol2=x2o;

```



```

        bestsol3=x3o;

        bestiter=nbiter;
        x1o=sy1;
        x2o=sy2;
        x3o=sy3;

    end;

    end;
    if length(T)>N
        T=T(end-N:end);
    end
p3=-flocal1(bestsol1,bestsol2,bestsol3);
    plot(nbiter,p3,'k.')
    hold on
end
format short
format compact
' Tabu Search ile bulunan en minimum de er'
v3=bestsol1
teta3=bestsol2*180/pi
teta2=bestsol3*180/pi
p3=-flocal1(bestsol1,bestsol2,bestsol3)

Q3=-1*bestsol1*(v1*g(3,1)*sin(bestsol2-tetal)-
v1*b(3,1)*cos(bestsol2-tetal)+...
        v2*g(3,2)*sin(bestsol2-bestsol3)-
v2*b(3,2)*cos(bestsol2-bestsol3)+...
        bestsol1*g(3,3)*sin(bestsol2-bestsol2)-
bestsol1*b(3,3)*cos(bestsol2-bestsol2))
P1=v1*(v1*g(1,1)*cos(tetal-tetal)+v1*b(1,1)*sin(tetal-tetal)+...
        v2*g(1,2)*cos(tetal-bestsol3)+v2*b(1,2)*sin(tetal-
bestsol3)+...
        bestsol1*g(1,3)*cos(tetal-bestsol2)+bestsol1*b(1,3)*sin(tetal-
bestsol2))

Q1=v1*(v1*g(1,1)*sin(tetal-tetal)-v1*b(1,1)*cos(tetal-tetal)+...
        v2*g(1,2)*sin(tetal-bestsol3)-v2*b(1,2)*cos(tetal-
bestsol3)+...
        bestsol1*g(1,3)*sin(tetal-bestsol2)-bestsol1*b(1,3)*cos(tetal-
bestsol2))

Q2=v2*(v1*g(2,1)*sin(bestsol3-tetal)-v1*b(2,1)*cos(bestsol3-
tetal)+...
        v2*g(2,2)*sin(bestsol3-bestsol3)-v2*b(2,2)*cos(bestsol3-
bestsol3)+...
        bestsol1*g(2,3)*sin(bestsol3-bestsol2)-
bestsol1*b(2,3)*cos(bestsol3-bestsol2))
function z=flocal1(a,b,c)
y=[ 2.10-j*7.70    -1.56+j*4.45    -0.54+j*3.24
    -1.56+j*4.45    2.39-j*7.57    -0.83+j*3.11
    -0.54+j*3.24    -0.83+j*3.11    1.37-j*6.36 ];
i=imag(y);
g=real(y);
% bilinenler-kontrol de işkenleri
v1=1.05; tetal=0; v2=1.04;
P2=0.5;
z=a*(v1*g(3,1)*cos(b-tetal)+v1*i(3,1)*sin(b-tetal)+...

```

```

v2*g(3,2)*cos(b-c)+v2*i(3,2)*sin(b-c)+...
a*g(3,3)*cos(b-b)+a*i(3,3)*sin(b-b));

function p=penaltyy(a,b,c)
y=[ 2.10-j*7.70    -1.56+j*4.45    -0.54+j*3.24
    -1.56+j*4.45    2.39-j*7.57    -0.83+j*3.11
    -0.54+j*3.24   -0.83+j*3.11    1.37-j*6.36 ];
i=imag(y);
g=real(y);
% bilinenler-kontrol de işkenleri
v1=1.05; tetal=0; v2=1.04;
P2=0.5;
% denge veya kısıt
tp2=v2*(v1*g(2,1)*cos(c-tetal)+v1*i(2,1)*sin(c-tetal)+...
v2*g(2,2)*cos(c-c)+v2*i(2,2)*sin(c-c)+...
a*g(2,3)*cos(c-b)+a*i(2,3)*sin(c-b))-P2;
P3y=a*(v1*g(3,1)*cos(b-tetal)+v1*i(3,1)*sin(b-tetal)+...
v2*g(3,2)*cos(b-c)+v2*i(3,2)*sin(b-c)+...
a*g(3,3)*cos(b-b)+a*i(3,3)*sin(b-b));
tq3=a*(v1*g(3,1)*sin(b-tetal)-v1*i(3,1)*cos(b-tetal)+...
v2*g(3,2)*sin(b-c)-v2*i(3,2)*cos(b-c)+...
a*g(3,3)*sin(b-b)-a*i(3,3)*cos(b-b))-(0.625*P3y);
% cezalandırma
C=10^3*(max(0,tp2-0.0001)^2)+10^7*(max(0,tq3-0.0001)^2);
p=C;

```

EK C.3. Genetik Algoritma kodları

```

function f=ucga(x)
%x1=v3 gerilimi 1 / 0,5 aralı ında
%x2=teta2 acısı -1,57 / 0 aralı ında
%x3=teta3 acısı -1,57 / 0 aralı ında
y=[ 2.10-j*7.70    -1.56+j*4.45    -0.54+j*-0.54
    -1.56+j*4.45    2.39-j*7.57    -0.83+j*3.11
    -0.54+j*3.24   -0.83+j*3.11    1.37-j*6.36 ];
b=imag(y);
g=real(y);

% bilinenler-kontrol de işkenleri
v1=1.05; tetal=0; v2=1.04;

f=x(1)*(v1*g(3,1)*cos(x(3)-tetal)+v1*b(3,1)*sin(x(3)-tetal)+...
v2*g(3,2)*cos(x(3)-x(2)) +v2*b(3,2)*sin(x(3)-x(2))+...
x(1)*g(3,3)*cos(x(3)-x(3)) +x(1)*b(3,3)*sin(x(3)-x(3)));

function [c, ceq]=uckisit(x)

y=[ 2.10-j*7.70    -1.56+j*4.45    -0.54+j*-0.54
    -1.56+j*4.45    2.39-j*7.57    -0.83+j*3.11
    -0.54+j*3.24   -0.83+j*3.11    1.37-j*6.36 ];
b=imag(y);
g=real(y);

% bilinenler-kontrol de işkenleri
v1=1.05; tetal=0; v2=1.04;

```

```

P2=0.5;
P3y=x(1)*(v1*g(3,1)*cos(x(3)-tetal)+v1*b(3,1)*sin(x(3)-tetal)+...
      v2*g(3,2)*cos(x(3)-x(2))+v2*b(3,2)*sin(x(3)-x(2))+...
      x(1)*g(3,3)*cos(x(3)-x(3))+x(1)*b(3,3)*sin(x(3)-x(3)));
% denge veya kısıt
c=[v2*(v1*g(2,1)*cos(x(2)-tetal)+v1*b(2,1)*sin(x(2)-tetal)+...
      v2*g(2,2)*cos(x(2)-x(2))+v2*b(2,2)*sin(x(2)-x(2))+...
      x(1)*g(2,3)*cos(x(2)-x(3))+x(1)*b(2,3)*sin(x(2)-x(3)))-P2;...
  x(1)*(v1*g(3,1)*sin(x(3)-tetal)-v1*b(3,1)*cos(x(3)-tetal)+...
      v2*g(3,2)*sin(x(3)-x(2))-v2*b(3,2)*cos(x(3)-x(2))+...
      x(1)*g(3,3)*sin(x(3)-x(3))-x(1)*b(3,3)*cos(x(3)-x(3)))-
  (0.625*P3y)];
ceq=[];

% cezalandırma

q3=x(1)*(v1*g(3,1)*sin(x(3)-tetal)-v1*b(3,1)*cos(x(3)-tetal)+...
      v2*g(3,2)*sin(x(3)-x(2))-v2*b(3,2)*cos(x(3)-x(2))+...
      x(1)*g(3,3)*sin(x(3)-x(3))-x(1)*b(3,3)*cos(x(3)-x(3)));

```

(Matlab R2009a Activation Key: 10673-48467-91025-96249-57623)

ÖZGEÇM

Salih TOSUN, 1963 yılında Trabzon Maçka'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Trabzon'da tamamladı. 1986 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Bölümünden mezun oldu. 1987 yılında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Eğitimi Ana Bilim Dalı'nda bir yüksek lisans çalışmasını 1991 yılında tamamladı. Aynı zamanda 1987 yılında Tekniker olarak bir TRT İstanbul TV'ndeki görevinden 1994 yılında istifa ederek, özel TV'larda çalışmaya başladı. Önce Kanal 6, sonra TGRT TV'nde 2003 yılına kadar Teknik Sorumlu olarak görev yaptı. 2003 yılında bu görevinden ayrılarak akademik hayata döndü. Halen Düzce Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Eğitimi Bölümü'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır. Aynı zamanda Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Bilgisayar Eğitimi Ana Bilim Dalında doktora çalışmasını sürdürmektedir. Salih TOSUN evli ve üç çocuk babasıdır.