

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ GERİLİM KARARLILIĞININ GENETİK ALGORİTMA İLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Elek. Yük. Müh. Ali ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Tez Danışmanı : Prof. Dr. M. Ali YALÇIN

OCAK 2007

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜÇ SİSTEMLERİNDEKİ GERİLİM KARARLILIĞININ GENETİK ALGORİTMA İLE İNCELENMESİ

DOKTORA TEZİ

Elek. Yük. Müh. Ali ÖZTÜRK

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜH.

Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRİK

Bu tez 22 / 01 /2007 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. A. Coşkun Sönmez
Jüri Başkanı

Prof. Dr. Hüseyin EKİZ
Üye

Prof. Dr. M. Ali YALÇIN
Üye

Yrd. Doç. Dr. Yılmaz UYAROĞLU
Üye

Yrd. Doç. Dr. Mustafa YEĞİN
Üye

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında, kıymetli fikirleri ile bana sürekli olarak yardımcı olan başta sayın hocam Prof. Dr. M. Ali Yalçın ile Prof. Dr. Hüseyin Ekiz, Yrd. Doç. Dr. Yılmaz Uyaroğlu ve lisans üstü öğretimimde bilgilerinden istifade ettiğim Sakarya Üniversitesi'ndeki tüm hocalarıma, Yrd. Doç. Dr. Hamit Saruhan ve Yrd. Doç. Dr. Pakize Erdoğan'a yakın ilgi, destek ve hoşgörülerinden dolayı teşekkür eder saygılarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xv
SUMMARY.....	xvi
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
GERİLİM KARARLILIĞI.....	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Gerilim Kararlılığının Tanımlanması.....	7
2.2.1. CIGRE tanımlaması.....	8
2.2.2. IEEE tanımlaması.....	9
2.2.3. IEEE ve CIGRE birlikte tanımlaması.....	9
2.3. Güç Sistemlerinde Kararlılığın Sınıflandırılması.....	9
2.3.1. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı.....	13
2.3.2. Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı.....	13
2.3.3. Kısa süreli gerilim kararlılığı.....	13
2.2.2. Uzun süreli gerilim kararlılığı.....	14
2.4. Gerilim Çökmeleri.....	15
2.4.1. Dünyada meydana gelmiş olan gerilim çökmeleri.....	20

BÖLÜM 3.

GENETİK ALGORİTMA.....	22
3.1. Genel Yapısı.....	22
3.2. Genetik Algoritmanın Aşamaları.....	24
3.2.1. Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması.....	25
3.2.2. Başlangıç popilasyonunun oluşturulması.....	26
3.2.3. Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması.....	30
3.2.4. Genetik algoritma operatörleri.....	31
3.2.4.1. Elitizim.....	32
3.2.4.2. Seçim.....	32
3.2.4.2.1. Rulet çarkı seçim kriteri.....	33
3.2.4.2.2. Turnuva seçim kriteri	37
3.2.4.2.3. Sıralı seçim kriteri.....	37
3.2.4.3. Çaprazlama	38
3.2.4.3.1 Tek noktalı çaprazlama	38
3.2.4.3.2. İki noktalı çaprazlama.....	39
3.2.4.3.3. Çok noktalı çaprazlama.....	40
3.2.4.3.4. Düzenli çaprazlama.....	40
3.2.4.4. Mutasyon	41
3.3. Genetik Algoritmanın Sonlandırma Şartları	42

BÖLÜM 4.

GERİLİM KARARLILIĞI KRİTİK DEĞERLERİNİN BELİRLENME

YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ	44
4.1. Giriş.....	44
4.2. P-V Eğrisi Üzerinden Kritik Değerlerin Belirlenmesi.....	46
4.2.1. Güç faktörünün etkisi	52
4.2.2. Hat uzunluğunun etkisi	54
4.2.3. Hat kayıp faktörünün etkisi	55
4.2.4. Hat başı geriliminin etkisi	56
4.2.5. Kullanılan paralel hat sayısını etkisi	57
4.2.6. Seri kompanzasyonun etkisi	58
4.2.7. Şönt kompanzasyonun etkisi	59

4.3. Formül Yöntemi İle Kritik Değerlerin Belirlenmesi	60
4.3.1. Değişlik durumlar için kritik değerlerin formüller ile hesaplanması.....	67
4.4. Genetik Algoritma ile Kritik değerlerin Belirlenmesi.....	69
4.4.1. Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması.....	70
4.4.2. Başlangıç popülasyonunun oluşturulması.....	74
4.4.2.1. Başlangıç popülasyonunun bir satırının bit(gen) sayısının belirlenmesi.....	74
4.4.2.2. Başlangıç popülasyonunun satır sayısının belirlenmesi.....	76
4.4.2.3. Başlangıç popülasyonunun belirtilmesi.....	76
4.3.3. Uygunluk fonksiyonu değerlerinin hesaplanması.....	77
4.3.4. Elitizm.....	79
4.3.5. Seçim.....	80
4.3.6. Çaprazlama.....	80
4.3.7. Mutasyon.....	81
4.3.8. Yeni popülasyonun elde edilmesi	82
4.3.9. Genetik algoritma sonuçlarının yorumlanması.....	83
4.3.10. Değişik durumlar için kritik değerlerin genetik algoritma ile belirlenmesi	86

BÖLÜM 5.

N BARALI GÜÇ SİSTEMLERİNDE GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİNİN DE KULLANILMASI İLE GERİLİM KARARLILIĞININ İNCELENMESİ.....	88
5.1. N baarlı güç sisteminde kritik değerlerin bulunduğu yöntemler	88
5.1.1. Yük akışı yöntemi.....	88
5.1.2. Bara indirgeme yöntemi.....	89
5.1.3. Genetik algoritma yöntemi	90
5.2. Altı Baralı Örnek Güç Sisteminde Kritik Değerlerin Belirlenmesi.....	91
5.2.1. Örnek sistem verileri.....	92

5.2.2. Yük akışı yöntemi ile kritik değerlerin bulunması	93
5.2.3. Bara indirgeme yöntemi ile kritik değerlerin bulunması.	95
5.2.3.1. Bara admitans matrisi.....	95
5.2.3.2. Bara yüklerinin admitansa çevrilmesi.....	96
5.2.3.3 .Admitansa çevrilen bara yüklerinin admitans matrisine eklenmesi.....	97
5.2.3.4. Admitans matrisini 2X2 boyutuna indirgemek için düzenlenmesi.....	98
5.2.3.5. Bara admitans matrisinin 2X2 boyutuna indirgenmesi.....	99
5.2.3.6. İndirgenmiş iki baralı güç sisteminin A, B sabitlerinin hesaplanması.....	101
5.2.3.7. Kritik değerlerin hesaplanması.....	101
5.2.4. Genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerin bulunması.....	104
5.2.4.1. Uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi.....	105
5.2.4.2. Başlangıç popülasyonunun belirlenmesi.....	106
5.2.4.1. Genetik algoritma aşamalarının gerçekleştirilmesi ile kritik değerlerin belirlenmesi.....	107
5.2.5. Altı baralı güç sisteminde salınım barasının değişmesi halinde kritik değerlerin değişimi.....	116
5.2.6. Altı baralı güç sisteminde iletim hatlarından bazılarının açması halinde kritik değerlerin değişimi..	117
5.3. IEEE'nin standart dokuz baralı güç sisteminin kritik değerlerinin belirlenmesi.....	118
5.3.1. Dokuz baralı güç sistemi verileri.....	119
5.3.2. Güç akışı ile bulunan gerçek kritik değerler.....	120
5.3.3. Bara indirgeme yöntemi ile ve genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerin belirlenmesi.....	120
5.3.4. Salınım barasının değişmesi halinde kritik değerlerin değişmesi.....	127
5.3.5. Güç sisteminde iletim hatlarından bazılarının açması halinde kritik değerlerin değişmesi.....	127

BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	130
KAYNAKLAR.....	136
EKLER.....	146
ÖZGEÇMİŞ.....	171

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

IEEE	:Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü
CIGRE	:Uluslararası Büyük Elektrik Sistemleri Konferansı
G.K.	:Gerilim kararlılığı
R.A.K	:Rotor açısı kararlılığı
BBEGK	:Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı
KBEGK	:Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı
KSGK	:Kısa süreli gerilim kararlılığı
USGK	:Uzun süreli gerilim kararlılığı
HVDC	:Yüksek doğru gerilim
P-V	:Aktif güç- gerilim genlik değeri
SVC	:Statik voltaj kontrol
ULTC	:Yük altında kademe değiştirici
MW	:Mega vat
KV	:Kilo volt
B	:Birim değeri
UF	:Uygunluk fonksiyonu
AF	:Amaç fonksiyonu
K	:Sabit sayı Değeri
P	:Ceza fonksiyonu
KF	:Kısıt fonksiyonu
GA	:Genetik algoritma
PS	:Popülasyon sayısı
MO	:Mutasyon oranı
ℓ	:Toplam bit sayısı
F	:Uygunluk fonksiyonu değerleri toplamı
$P_r(i)$	:İ'ninci bireyin seçilme ihtimali
ÇN	:Çaprazlama noktası

ÇÖ	:Çaprazlama oranı
A, B, C, D	:Uzun iletim hattı sabitleri
V_r	:Yük barası gerilim genlik değeri
V_s	:Generatör barası gerilim genlik değeri
I_r	:Yük barası gerilim genlik değeri
P_r	:Yük barası aktif güç değeri
Q_r	:Yük barası reaktif güç değeri
S_r	:Yük barası görünür güç değeri
$\cos\varphi$	:Yükün güç katsayısı
TEİAŞ	:Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
Km	:Kilo metre
Hz	:Hertz olarak frekans birimi
Ω	:Ohm olarak direnç birimi
R	:Omik direnç değeri
X	:Endüktif reaktans değeri
JB	:Şönt kapasite değeri
Y	:Admitans değeri
Z	:Empedans değeri
P_{rkrt}	:Yük barasının kritik aktif güç değeri
V_{rkrt}	:Yük barasının kritik gerilim genlik değeri
δ_{rkrt}	:Yük barasının kritik açı değeri
K_s	:Seri kompanzasyon oranı
K_d	:Şönt kompanzasyon oranı
λ	:Öz değerler

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Güç sistemi kararlılığının IEEE/CIGRE'ye göre sınıflandırılması.....	12
Şekil 3.1. Genetik algoritmanın işleyiş aşamaları.....	24
Şekil 3.2. Uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bireylerin seçilme ihtimallerinin rulet çarkında gösterilmesi.....	35
Şekil 4.1. İletim hattının iki kapılı devre olarak gösterilmesi.....	47
Şekil 4.2. P-V eğrisi çizdirilecek örnek güç sistemi	51
Şekil 4.3. Keban –Kayseri-Ankara iletim hattı datalarına göre çizdirilen P-V eğrisi.....	51
Şekil 4.4. Değişik güç katsayıları için P-V eğrileri.....	53
Şekil 4.5. Değişik hat uzunlukları için P-V eğrileri.....	54
Şekil 4.6. Değişik kayıp faktörleri için P-V eğrileri.....	55
Şekil 4.7. Değişik hat başı gerilimleri için P-V eğrileri.....	56
Şekil 4.8. Paralel tek ve çift hatta sahip güç sistemleri için P-V eğrileri.....	57
Şekil 4.9. Değişik seri kompanzasyon oranları için P-V eğrileri.....	59
Şekil 4.10. Değişik şönt kompanzasyon oranları için P-V eğrileri.....	60
Şekil 4.11. Genetik algortmada uygunluk fonksiyonu değerleri.....	84
Şekil 4.12. Genetik algoritmanın değişkenlerinin aldığı değerler.....	85
Şekil5.1. Altı baralı örnek sistem	92
Şekil5.2. Örnek altı baralı sistemdeki yük baralarının P-V eğrileri.....	103
Şekil5.3. Dört numaralı yük barası için genetik algoritmanın her bir generasyonunun en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi.....	110
Şekil5.4. Dört numaralı yük barası için genetik algoritma ile kritik gerilim ve kritik açının aranması.....	111

Şekil5.5. Beş numaralı yük barası için genetik algoritmanın her bir generasyonunun en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi.....	112
Şekil5.6. Beş numaralı yük barası için genetik algoritma ile kritik gerilim ve kritik açının aranması.....	113
Şekil5.7. Altı numaralı yük barası için genetik algoritmanın her bir generasyonunun en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi.....	114
Şekil5.8. Altı numaralı yük barası için genetik algoritma ile kritik gerilim ve kritik açının aranması.....	115
Şekil5.9. IEEE'nin örnek 9 baralı güç sistemi.....	119
Şekil5.10. IEEE 9 baralı sistemdeki beş numaralı yük barasının kritik aktif güç değerinin GA yöntemi ile elde edilişi.....	121
Şekil5.11. IEEE 9 baralı sistemdeki beş numaralı yük barasının kritik gerilim ve açı değerinin GA yöntemi ile elde edilişi.....	121
Şekil5.12. IEEE 9 baralı sistemdeki yedi numaralı yük barasının kritik aktif güç değerinin GA yöntemi ile elde edilişi.....	122
Şekil5.13. IEEE 9 baralı sistemdeki yedi numaralı yük barasının kritik gerilim ve açı değerinin GA yöntemi ile elde edilişi.....	122
Şekil5.14. IEEE 9 baralı sistemdeki dokuz numaralı yük barasının kritik aktif güç değerinin GA yöntemi ile elde edilişi.....	123
Şekil5.15. IEEE 9 baralı sistemdeki dokuz numaralı yük barasının kritik gerilim ve açı değerinin GA yöntemi ile elde edilişi.....	123
Şekil5.16. Beş numaralı yük barası için kritik değerlerin elde edilişini gösteren P-V eğrileri.....	125
Şekil5.17. Yedi numaralı yük barası için kritik değerlerin elde edilişini gösteren P-V eğrileri.....	125
Şekil5.18. Dokuz numaralı yük barası için kritik değerlerin elde edilişini gösteren P-V eğrileri.....	126

TABLÖLAR LİSTESİ

Tablo 2.1. Güç sistemi kararlılığının genel olarak sınıflandırılması.....	10
Tablo 3.1. Değişkenlerin kodlanması ile bireyin elde edilmesi.....	27
Tablo 3.2. Yedi bireye sahip popülasyon (gen havuzu).....	30
Tablo 3.3. Tek noktalı çaprazlama örneği.....	39
Tablo 3.4. İki noktalı çaprazlama	39
Tablo 3.5. Çok noktalı çaprazlama.....	40
Tablo 3.6. Düzenli çaprazlama.....	41
Tablo 4.1. Değişik güç katsayıları için hesaplanan kritik değerler.....	68
Tablo 4.2. Değişik hat uzunlukları için hesaplanan kritik değerler.....	68
Tablo 4.3. Değişik kayıp faktörü oranları hesaplanan kritik değerler.....	68
Tablo 4.4. Değişik hat başı gerilimi değerleri için hesaplanan kritik değerler.....	68
Tablo 4.5. Değişik paralel hat sayıları için hesaplanan kritik değerler.....	69
Tablo 4.6. Değişik seri kompanzasyon oranları için hesaplanan kritik değerler..	69
Tablo 4.7. Değişik şönt kompanzasyon oranları için hesaplanan kritik değerler..	69
Tablo 4.8. Popülasyon içinde bir bireyin gösterilmesi.....	76
Tablo 4.9. Başlangıç popülasyonu ifadesi.....	77
Tablo 4.10. Her bir birey için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri.....	78
Tablo 4.11. Başlangıç popülasyonunun elit bireyleri.....	79
Tablo 4.12. Seçilen ilk ebeveyn çifti.....	80
Tablo 4.13. Düzenli (uniform) çaprazlama.....	81
Tablo 4.14. Mutasyon işlemi.....	82
Tablo 4.15. Evrim ile elde edilen yeni popülasyon	82
Tablo 4.16. Her bir generasyonun en büyük uygunluk fonksiyonu değerleri	83
Tablo 4.17.Örnek 4.1'deki değerler için genetik algoritmanın bulduğu kritik değerler.....	85
Tablo 4.18. Değişik güç katsayıları için GA ile bulunan kritik değerler.....	86
Tablo 4.19. Değişik hat uzunlukları için GA ile bulunan kritik değerler.....	86

Tablo 4.20. Değişik kayıp faktörü oranları için GA ile bulunan kritik değerler...	86
Tablo 4.21. Değişik hat başı gerilimleri için GA ile bulunan kritik değerler...	86
Tablo 4.22. Değişik paralel hat sayısı durumları için GA ile bulunan kritik değerler.....	87
Tablo 4.23. Değişik seri kompanzasyon oranları için GA ile bulunan kritik değerler.....	87
Tablo 4.24. Değişik şönt kompanzasyon oranları için GA ile bulunan kritik değerler.....	87
Tablo 5.1. Altı baralı sistem hat verileri.....	92
Tablo 5.2. Altı baralı sistem generatör verileri.....	93
Tablo 5.3. Altı baralı sistem yük verileri.....	93
Tablo 5.4. Altı baralı sistemde herhangi bir durumdaki yük akışı sonuçları.....	94
Tablo 5.5. Dört numaralı yük barasının kritik değerlerini aldığı andaki yük akışı sonuçları.....	94
Tablo 5.6. Altı baralı örnek sistemde yük akışı yöntemi ile elde edilen gerçek Kritik değerler.....	95
Tablo 5.7. Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları	104
Tablo 5.8. Başlangıç popilasyonu.....	107
Tablo 5.9. Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde genetik algoritma yöntemi ile bulunan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları	116
Tablo 5.10. Altı baralı sistemde salınım barasının değişmesi durumunda kritik değerlerin değişimi.....	117
Tablo 5.11. Altı baralı sistemde 1-4 numaralı baralar arasındaki iletim hattının devrede olup olmaması durumlarında kritik değerlerin değişimi.....	117
Tablo 5.12. IEEE'nin dokuz baralı sistem hat verileri.....	119
Tablo 5.13. IEEE'nin dokuz baralı sistem generatör ve yük verileri.....	120
Tablo 5.14. IEEE dokuz baralı sisteminde yük akışı ile bulunan kritik değerler...	120
Tablo 5.15. IEEE dokuz baralı güç sistemindeki beş numaralı yük barasının kritik değerleri.....	124
Tablo 5.16. IEEE dokuz baralı güç sistemindeki yedi numaralı yük barasının kritik değerleri.....	124

Tablo 5.17. IEEE dokuz baralı güç sistemindeki sekiz numaralı yük barasının kritik değerleri.....	124
Tablo 5.18. Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları.....	126
Tablo 5.19. Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde genetik algoritma yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları.....	127
Tablo 5.20. Dokuz baralı sistemde salınım barasının değişmesi durumunda kritik değerlerin değişimi.....	127
Tablo 5.21. Dokuz baralı sistemde 4-5 numaralı baralar arasındaki hattın devre dışı olup olmama durumlarında kritik değerlerin değişimi.....	128

ÖZET

Anahtar Kelimeler : Güç Sistemleri, Gerilim Kararlılığı, Genetik Algoritma

Elektrik güç sistemlerinde tüketicilerin yük taleplerinin giderek artması ve artan bu talebe karşılık yeni enerji iletim sistemlerinin kurulmasındaki güçlükler, güç sistemi gerilim kararlılığı kritik değerlerinin belirlenmesi konusunun önemini ortaya çıkartmıştır. Kritik değerlere yaklaşılmaması ve sisteme müdahale etmekte geç kalınması durumunda gerilim çökmesine kadar uzanabilen “gerilim kararsızlığı” süreci yaşanmaktadır. Son zamanlarda dünyanın çeşitli bölgelerinden gelen gerilim çökmesi haberlerinde önemli oranda artış görülmektedir. Gerilim çökmesi durumunda normale dönüş için sistemde özellikle ekonomik açıdan büyük zararlar meydana gelmesi, kritik değerlerin önceden hesaplanmasını ve gerektiğinde iyileştirici çalışmaların yapılmasını zorunlu hale getirmiştir.

Bu çalışmada güç sistemi kritik değerlerinin hesaplanmasında yeni bir yöntem olarak genetik algoritma yöntemi kullanılmıştır. İlk olarak değişik çalışma koşullarında, örnek iki baralı güç sisteminin kritik değerleri, geleneksel yöntemler ve genetik algoritma yöntemi ile belirlenmiştir. Geleneksel yöntemler, hat sonundan çekilen aktif güç ile hat sonu geriliminin genliğinin değişimini gösteren p-v eğrisi yöntemi ve sistem jakobiyen matrisinin tekil çözüm sağladığı durum düşünülerek türetilen, kritik değer formülleri yöntemi olarak dikkate alınmıştır. Çalışmanın devamında N baralı örnek güç sistemlerinin kritik değerleri, çeşitli işletme koşulları da denenerek, yük akışı programı, bara indirgeme yöntemi ve genetik algoritma yöntemi ile bulunmuştur. Güç sisteminin değişik çalışma şartlarındaki kritik değerlerinin belirlenmesi ile gerilim kararlılığı açısından en uygun durum ortaya konulmaya çalışılmıştır.

Gerek iki baralı gerekse N baralı güç sistemi kritik değerlerinin değişik yöntemler ve genetik algoritma yöntemi ile belirlenmesi çalışmalarında ortaya çıkan sonuçların yakınlığı, genetik algoritma yönteminin gerilim kararlılığı kritik değerlerinin hesaplanmasındaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Bu sonuçlardan kritik değerlerin genetik algoritma ile daha kolay bir şekilde belirlenebileceği de görülmüştür.

INVESTIGATION OF VOLTAGE STABILITY IN POWER SYSTEMS USING THE GENETIC ALGORITHM

SUMMARY

Key Words : Power Systems, Voltage Stability, Genetic Algorithm

Increment of power demand of the consumers in the electric power systems and as a result of this increasing demand, difficulties of construction of the new energy transmission system have shown the importance of determination of the critical values of power system voltage stability subject. In case of being late in interference when critical values have being exceeded, in the first step voltage instability then in the following step voltage collapse occurs. Recently, a major increment on the news related to voltage collapse come from various region of the world has being observed. In the case of voltage collapse, occurrence of especially economical great damage in the system for rehabilitation has obliged the calculation of critical values formerly and making improvements if it is necessary.

In this study, the genetic algorithm method as a new method for calculation of the critical values of the power system is used. Firstly, in the various operation conditions, as an example critical values of two-buses power system are determined using conventional method and genetic algorithm method. Conventional methods are considered as a critical value formulations method derived from the case of system jacobien matrix produces singular solution and P-V curve method that shows the variation of active power supplied from end of the line versus amplitude of end-line voltage. In the next step of the study, critical values of exemplary N-buses power systems are determined using power flow programme, bus reduction method and the genetic algorithm method for various operation conditions. It is studied to determine the optimum condition in terms of voltage stability with determining the critical values of power system for various operation condition.

Similarity of the results obtained from the studies of determination of critical values of both two-buses and N-buses power system using conventional methods and the genetic algorithm and also the potential of the genetic algorithm method is showed in the calculation of the critical values of voltage stability. The results show it is critical values are determined easily using genetic algorithm.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

Elektrik güç sisteminin aşırı yüklenme, üretimin azalması, hat arızası, paralel hatlarda açmaların meydana gelmesi gibi bir bozucu etkiye maruz kalma durumunda, bu etki ortadan kalktıktan sonra bozucu etki öncesindeki çalışma koşuluna dönebilmesi önemlidir. Bu durum kararlılık olarak ifade edilir. Elektrik enerji iletim sistemlerinin planlanması, tesis edilmesi, işletilmesi ve kontrolünde kararlılık çalışmalarının yapılması ile güç sisteminin kararlılık sınır değerlerini ihlal etmeden çalıştırılması amaçlanır. Kararlılık çalışmalarından gerilim kararlılığı, bu çalışmanın temel konusunu oluşturmaktadır.

Güç sistemindeki yük baralarının gerilimlerinin her koşulda belirli işletme sınırları içinde tutulabilme yeteneği gerilim kararlılığı olarak ifade edilir. Güç Sistemleri alanında yapılan çalışmalara bakıldığında gerilim kararlılığı konusuna olan ilginin son yıllarda önemli oranda artış gösterdiği görülmektedir. Bu artışın en önemli nedeni dünyanın çeşitli yerlerinde gerilim kararlılığı problemi sebebi ile meydana gelen olumsuz olaylardır. Gerilim kararlılığı konusundaki çalışmaların artmasına sebep olan olaylardan kayda girebilenlerden bazıları özellikle; 1982 Belçika, 1983 İsveç, 1978, 1987, 1990 Fransa, 1987 Japonya, 1970 – 1987 - 1990 Amerika, 1986 İngiltere [1,2,3,4], 2003 Amerika –Kanada[5,6], 2003 İtalya[7], 2003 İsveç-Danimarka[8], 2004 Bahreyn, Amman, Yunanistan, 2005 Avustralya, Rusya (Moskova), 2006 Yeni Zelanda olarak ifade edilebilir[9].

Gerilim kararsızlığının birinci sebebi herhangi bir neden ile bazı yük baralarının gerilimlerinin azalması durumunda, bu gerilim düşümünü karşılayacak yeterli seviyede reaktif gücün üretilerek güç sistemine verilememesidir. Yük baralarının gerilim değerlerinin önceden belirlenen sınır değerlerinin altına düşmesi ve bu durumun bertaraf edilememesi halinde belirli bir bölgede gerilim ardışıl olarak düşer.

Fakat bu durum ilgili bölgede sınırlı kalmaz, sistemin tümünde gerilim çökmesine yol açacak şekilde sistem içine yayılması söz konusu olabilir.

Kararlılık çalışmalarında odaklanma aktif güç ile yük açısı arasındaki ilişki üzerindedir. Gerilim kararlılığı çalışmalarında ise reaktif güç ile gerilim genlik değeri arasındaki ilişki ön plana çıkmaktadır. Gerilim kararlılığı çalışmaları klasik olarak statik yük akışına bağlı kalınarak hazırlanan yük baralarının aktif güç değerleri ile gerilim genlik değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren, P-V eğrileri ile de yapılmaktadır. P-V eğrisi üzerinde iletim hattından iletilecek yük baralarının en büyük aktif güç değerleri ve bu andaki gerilim genlik değerleri açıkça görülebilmektedir [10]. Bu değerler sistemin kararsızlık sınır değerleridir. Kararsızlık durumunda güç sisteminde gerilim çökme riski söz konusudur.

Güç sistemlerinde enerji iletiminde rol alan, yüklerin yapısı ve özellikleri, kontrol cihazlarının dinamik cevapları, iletim hatlarının işletme özellikleri, senkron generatörlerin özellikleri gerilim kararlılığı üzerinde etkilidir. Gerilim kararlılığı çalışmaları yük akışı çalışmaları ile ilişkilidir. Generatör ve yük değişimlerine bağlı olarak yük akışındaki lineer olmayan denklemleri göz önünde bulundurulduğunda gerilim kararlılığı kontrol sistemi konularında da kullanılan öz değerler yöntemi ile dinamik olarak analiz edilmektedir. Güç sisteminde bir arıza sonucunda gerilim çok hızlı değişebilir. Güç sisteminin lineerliği bozulduğundan bu durumda lineer analiz yöntemi olan öz değerler yöntemi yetersiz kalır. Lineer analiz yöntemlerinin yetersiz kaldığı durumlarda dinamik simülasyon yöntemleri kullanılmaktadır.

Elektrik güç sistemlerinde, gerilim kararlılığında bozulma olmaksızın yük baralarının alabileceği en büyük aktif güç değerleri ve bu andaki yük baralarının gerilim genlik değerleri ile bara açısı değerleri kritik değerler (V_{krt} , P_{krt} , δ_{krt}) olarak ifade edilir. Gerilim çökmelerinin önlenmesi için bu değerlerin bilinmesi gereklidir. Güç sisteminde kritik değerlerinin arandığı hesaplamalar, genellikle kısmi türevlerin kullanıldığı analitik yöntemle yapılmaktadır. Bu yöntem, sistem dinamiğini ifade eden diferansiyel denklemlerin tekil noktalarını arar. Sistemin jakobiyen matrisi üzerinde yapılan çalışmalar neticesinde, sistemin kararlılığı açısından gerekli yorumun yapılabilmesi için öz değerler yöntemi kullanıldığı gibi jakobiyen matrisin

determinantının sıfır olduğu durum dikkate alınarak elde edilen analitik bağlantılar yardımı ile kritik değerler hesaplanmaktadır. Yük baralarının gerçek değerleri ile hesaplanan kritik değerleri mukayese edilerek kararlılık açısından güç sistemi değerlendirilmektedir. Ayrıca yük barası aktif güç değeri ile gerilim genlik değeri arasındaki ilişkiyi ifade eden matematiksel denklemin değişimini gösteren, P-V eğrisinin uygun bir bilgisayar programlama dili kullanılması ile yazılan program kodları sayesinde bir düzlem üzerinde çizdirilmesi ile eğri üzerinden kritik değerler belirlenebilmekte ve sistemin kararlılığı değerlendirilebilmektedir. Elektrik enerjisi iletim sisteminin gerilim kararlılığının incelenebilmesi için yapılan bu çalışmaların tamamına geleneksel yöntemler diyebiliriz.

Bu çalışmada gerilim kararlılığı ile ilgili yapılan geleneksel çalışmalara ilaveten yeni bir yöntem olarak genetik algoritma yöntemi kullanılmaktadır. Güç sisteminde kritik değerlerin genetik algoritma yöntemi ile de bulunabileceği ortaya konulmaktadır. Bu amaç ile ilk önce bölüm 2 ve bölüm 3’de gerilim kararlılığı ve genetik algoritma konusunda genel bilgilerin verilmesinin ardından, bölüm4’de güç sistemini en alt seviyede temsil eden iki baralı güç sisteminde değişik işletme durumları için sistemin kritik değerleri bulunmuştur. İki baralı örnek güç sistemi olarak Keban (Elazığ) - Gölbaşı (Ankara) arasındaki 380 KV’luk enerji iletim hattına ait veriler kullanılmıştır. Bu örnek güç sistemine ait kritik değerler, geleneksel yöntemlerden P-V eğrisi ve sistemin jakobiyen matrisinin tekilliğinden hareket ile elde edilen kritik değerler formülleri yardımı ile belirlenmektedir. Mukayese yapabilmek ve genetik algoritma yönteminin uygulanabilirliğini göstermek amacı ile aynı kritik değerler genetik algoritma yöntemi ile de elde edilmesi ve yorumlanması aynı bölümde açıklanmaktadır. Elektrik enerjisi dağıtım sistemlerinin uygulamada çok sayıda baradan meydana geldiğinin göz önünde bulundurulması ile, bölüm5’de N tane baradan meydana gelen örnek sistemlerin kritik değerleri ilk önce matematiksel yöntemlerle ve daha sonra genetik algoritma yöntemi elde edilmektedir. Bu amaç ile N barlı sisteme örnek teşkil etmesi bakımından altı baralı ve IEEE ‘nin standart dokuz baralı güç sistemi üzerinde kritik değerlerin hesaplandığı çalışmalar yapılmıştır. N baralı örnek güç sistemlerinin gerçek kritik değerleri yük akışı simülasyon programı yardımı ile belirlenmiştir. Aynı kritik değerler bara indirgeme yöntemi ile, sistemin iki baralı hale indirilmesinin ardından, iki baralı güç sistemleri

için türetilen kritik değerler formülleri ile de belirlenmiştir. Son olarak N baralı güç sistemi kritik değerleri genetik algoritma yöntemi ile bulunmuş ve daha önceden bulunan kritik değerler ile karşılaştırılarak, genetik algoritma yönteminin yeni bir yöntem olarak N baralı güç sistemleri üzerinde kritik değer hesaplamalarında uygulanabilirliği ortaya konulmuştur. N baralı güç sistemleri üzerinde yapılan kararlılık çalışmalarında hat arızaları, salınım barasının değişmesi gibi güç sisteminin değişik işletme durumları da dikkate alınmıştır.

BÖLÜM 2. GERİLİM KARARLILIĞI

2.1. Giriş

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

Tüketicilerin güç ihtiyacını karşılayan senkron generatörlerin uzun mesafeli iletim sistemlerinde meydana gelebilecek bozucu etkiler sonrasında senkronizmadan kopup kopmayacağı temel problemidir. Uzun mesafeli enerji iletiminin önemli problemlerinden bir tanesi de gerilim kararlılığı sorunudur [11]. Güç sisteminde tüketicilerin değişen güç taleplerine göre yük baralarının gerilimleri sürekli değişmektedir. Yük talebi arttığında bara gerilimi azalmaktadır. Bu azalma neticesinde bara geriliminin belirli bir değerin altına düşmemesi gerekmektedir. Bu sınır değere gerilimin kritik değeri denir. Gerilim azaldıkça güç sisteminin çalışması gittikçe zorlaşmaktadır. Çünkü güç sisteminin uzun mesafelerde sürekli genişleyen dağıtım sitemine sahip olması nedeniyle bir çok güvenlik sınırları içerisinde çalışması zorunlu olmaktadır. Gerilim kararlılığı ise temel problem olmaktadır [12].

Güç sistemi belirli sınırlar içinde çalışmak zorundadır. Sınır değerlerin ihlali, gerilim kararlılığının bozulmasına neden olur. Bu durum iletim hattı ve generatörlerin devre dışı kalmasına sebep olur [13]. Son zamanlarda gerilim kararlılığının bozulması sebebi ile İtalya, Fransa, İngiltere, Japonya, Amerika gibi dünyanın çeşitli yerlerinde meydana gelen çok büyük boyutlu olaylar neticesinde, gerilim kararlılığı artık elektrik güç sisteminin çalıştırılmasında ve planlanmasında temel bir konu haline gelmiştir [14,15].

Gerilim kararlılığı problemi güç sisteminde aşırı yüklenme, arızalanma, veya yetersiz reaktif güç durumlarında oluşur. Gerilim kararlılığı üretim, iletim ve reaktif güç tüketiminin incelenmesi ile analiz edilebilir. Gerilimin belirli sınırlar içinde tutulmaması sorunu güç sisteminin belirli bir bölgesinde oluşmasına rağmen güç sisteminin tamamını ilgilendirir [16].

Güç sisteminde beklenmeyen ani yük artımları, iletim sistemindeki aşırı kayıplar transformatör ve generatör kontrol cihazlarının yanlış etkileri ani gerilim düşümlerine sebep olur [17]. Yük artışı ile ihtiyaç duyulan reaktif güç karşılanamaz ise sistem kararsızlığa gider. Küçük bozucu etkilerde sistemi kararlı durumda tutacak yeterli reaktif güç bulunmalıdır. Bu reaktif gücün sınır değeri hesaplanmalıdır.

Güç sisteminde gerilim düşümlerini karşılayacak çeşitli önlemler alınmalıdır. Bazı durumlarda gerilim düştüğünde senkron generatörün uyartım akımı artırılması ile bu etki bertaraf edilmesi sağlanır. Böylece gerilim kontrol edilmeye çalışılır. İletim hattının endüktif reaktansından dolayı hattan geçen akımın karesi ile orantılı olarak oluşan kayıplar arttığında gerilim kararsızlığı oluşur. Şönt kapasitörler ile reaktif güç kayıpları azaltılır ve böylece gerilim düşümü değerinin azaltılması sureti ile kararsızlıktan kurtulmaya çalışılır [18].

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

Kararsızlık güç sisteminin yüklere olan iletim kabiliyetinin azalmasıdır. Gerilim kararsızlığının başlıca nedeni gerilim değerlerini belirli bir aralıkta tutabilmesi için sistemin ihtiyaç duyduğu reaktif enerjinin karşılanamamasıdır. Gerilim kararlılığına katkı sağlayan faktörler, generatör reaktif güç sınırları, yük özellikleri, yük altında kademe değiştirebilen transformatörlerin özerlikleri, reaktif güç kompanzasyon cihazlarının özellikleri, gerilim kontrol cihazlarının etkileridir [19]. Alternatif akım iletim hattındaki yük ve transformatörlerin reaktif özellikleri maksimum güç transferini sınırlamaktadır. Güç sisteminde uzun mesafeli iletimde veya reaktans değeri çok yüksek olan tüm hatlarda büyük miktarda reaktif enerjiye gereksinim olacağından dolayı sistemin iletim kabiliyeti azalır. Reaktif güç iletimi sırasında çok büyük reaktif güç kayıpları oluşması nedeni ile reaktif güç iletimi çok zordur. Bu zorluktan dolayı reaktif güç iletiminden kaçınılır ve gerilim kontrolü yapmak için gerekli olan reaktif gücün tüketicilere yakın yerlerde kontrolü yapılır. Reaktif güç, kontrolü yapılacak olan yerlerde üretilir ve tüketilir [16].

2.2. Gerilim Kararlılığını Tanımlanması

Bir sistemin kısa devre, büyük değerde bir güç ilavesi, açma kapama gibi bir bozucu etki ile karşı karşıya kalması durumunda, bu etki ortadan kalktıktan sonra etki öncesi normal durumuna tekrar geri dönebilme kabiliyetine kararlılık denir [20]. Gerilim kararlılığı ise güç sisteminde yük baralarının gerilimlerinin belirli sınırlar içinde tutulabilmeleri yeteneğidir. Genel olarak gerilim için kabul edilebilir sınır değerler nominal gerilim değerinin %6 eksiği veya fazlasıdır [21]. Kararlılık, güç sisteminin normal çalışma koşullarında veya bozucu bir etkiye maruz kalması halinde bozucu etki ortadan kalktıktan sonra kabul edilebilir bir denge durumunda kalması olarak da tanımlanır [19].

Çoğu zaman kararlılık problemi rotor aç kararlılığı gibi senkronizmada kalma sorunu olarak ifade edilmektedir. Senkronizma bozulma olmadan da kararsızlık meydana gelebilmektedir. Bu durum gerilim kararlılığı ve kontrolü konusuna girmektedir. Gerilim kararlılığı şu şekilde de tanımlanabilir, gerilim kararlılığı normal çalışma koşullarında ve maruz kaldığı bir bozucu etki ortadan kalktıktan sonra güç sistemindeki tüm baraların kabul edilebilir gerilim değerlerinde

tutulabilmeleri yeteneğidir [22]. Gerilim kararlılığı çalışmalarının çoğunlukla yük baraları üzerinde yapılması sebebi ile, gerilim kararlılığı yük kararlılığı olarak da ifade edilebilmektedir [14].

Gerilim kararsızlığı talep edilen yükün artması veya çalışma koşullarının değişmesi gibi bozucu etkiler neticesinde düzeltilemez veya kontrol edilemez gerilim düşümlerinin oluşmasıdır. Kararsızlığın temel sebebi güç sisteminin ihtiyacı olan reaktif gücü temin edememesidir [23].

Gerilim kararsızlığı, iletim ve üretim sistemindeki yüklerin normal çalışma koşullarının dışında, dinamik yüklerin aniden sistemi etkilemesinden kaynaklanır. Gerilim kontrolü ve gerilim kararsızlığı yerel bir problemdir. Ancak sonuçta sistem üzerinde çok geniş bir etki oluşturmaktadır. Gerilim kararsızlığı neticesinde oluşan gerilim çökmesi olayı, güç sistemi için büyük felaketler zincirinin başlamasına öncülük eden bir etkidir [19]. Gerilim kararlılığı bir bozucu etki sonrasında tüm baraların başlangıçtaki çalışma koşullarına dönebilmeleri kabiliyeti olarak da ifade edilebilir. Yükün üretim ve tüketim merkezleri arasındaki dengenin yeniden sağlanabilmesi yeteneğidir.

Bir güç sisteminde gerilim dengesizliği bir bozucu etki sonrasında gerilimin azalmasının kontrol edilememesinden kaynaklanır. Gerilim kararlılığı farklı mühendislerin farklı düşüncelerine göre farklı şekillerde tanımlanır. Bu tanımlamalar zaman, sistem durumu ve büyük veya küçük bozucu etki durumlarına göre çeşitlendirilir. Aşağıda değişik çalışma guruplarının yaptıkları gerilim kararlılığı tanımlamaları verilmektedir.

2.2.1. CIGRE tanımlaması

CIGRE (Conseil International des Grands Reseaux Electriques)' e göre bir güç sisteminin verilen çalışma durumunda eğer yük üzerindeki gerilimlere bakılırsa herhangi bir küçük bozucu etki sonrası değerler bozucu etki öncesi değerlere yakın veya aynı olması durumunda bu durum küçük bozucu etki gerilim kararlılığı olarak tanımlanır.

Bozucu sonrası gerilim değerleri eğer kabul edilebilir sınır değerlerin altında ise güç sistemi gerilim çökmesine doğru gider [23,24,25].

2.2.2. IEEE tanımlaması

Yükün gücü artarsa yükün gerilim değeri azalır. Bu durumda sistem gerilimini belirli değerlerde tutabilme yeteneğine gerilim kararlılığı denir. Böyle durumlarda güç ve gerilim her ikisi de birlikte kontrol edilmelidir. Sistemin önemli bir bölümündeki gerilim düşümleri gerilim kararsızlığı oluşturur ki bu işlem gerilim çökmesine sebep olur. Gerilim güvenliği sadece kararlı durumda kalmak değil aynı zamanda sistemdeki değişmelerde bu durumunu koruyabilmektir [17,26].

2.2.3. IEEE ve CIGRE birlikte tanımlaması

Gerilim kararlılığı bir bozucu etki sonrasında tüm baraların başlangıçtaki çalışma koşullarına dönebilmeleri kabiliyeti olarak tanımlanır. Güç sistemini belirli bir bölümünde anormal bir şekilde gerilim düşmesi oluşur ve bu durum devam ederse güç sisteminde gerilim çökmesi oluşmasına sebep olur [29].

2.3. Güç Sisteminde Kararlılığın Sınıflandırılması

Güç sisteminin normal çalışma koşulları altında mevcut denge durumunu koruması ve bir bozucu etkiye maruz kaldıktan sonra yeniden kabul edilebilir bir denge durumu kazanması olarak ifade edilen kararlılık genel olarak senkron çalışmanın korunması olarak da ifade edilebilir [27]. Bu durum senkron makinelerin senkronizmada kalmaları ile sağlanabilir. Senkronizmanın korunması generatörlerin rotor açılarına ilişkin dinamikler ve güç açısı bağlantıları durumlarına bağlıdır. Senkronizmanın korunması şeklinde ifade edilen kararlılığa açı kararlılığı denir. Senkronizma kaybı olmaksızın da gerilim çökmelerinde olduğu gibi kararlılık problemi ile karşılaşabiliriz. Bu durumda senkronizmanın korunması yerine gerilim kararlılığı öncelikli olmaktadır [27].

Genel olarak güç sistemindeki kararlılığı rotor aç kararlılığı ve gerilim kararlılığı olarak sınıflandırılabiliriz. Başka şekilde kararlılık zaman ve meydana getirdiği etkiyi düşünerek de sınıflandırılabilir. Bu durum tablo 2.1 de ifade edilmektedir. Kararsızlık oluşmasına neden olan etki generatör veya yük olabilir. Zaman durumuna göre kısa zaman ve uzun zaman olarak ikiye ayrılır.

Tablo 2.1. Güç sistemi kararlılığının genel olarak sınıflandırılması

Zaman Ölçüsü	Generatör Kaynaklı		Yük Kaynaklı	
Kısa Süreli	Rotor Aç Kararlılığı		Kısa Süreli Gerilim Kararlılığı	
	Küçük Sinyal	Transient		
Uzun Süreli	Frekans Kararlılığı		Uzun Süreli Gerilim Kararlılığı	
			Küçük Bozucu Etki	Büyük Bozucu Etki

Zaman bakımından kısa süreli kararlılık problemi olan rotor aç kararlılığı, güç sisteminin elektro mekaniksel dinamiklerine bağlı olarak birkaç saniye içinde oluşan bir kararlılık problemidir. Küçük sinyal ve çok kısa süreli (transient) olmak üzere ikiye ayrılır. Küçük sinyal kararlılığı elektro mekanik zararsız salınımların meydana getirdiği küçük bozucu etkilerden oluşur. Transient kararlılığı senkronizmanın zayıflamasından kaynaklanır. Güç sisteminde büyük bozulmaların başlamasına sebep olur [22]. Transient kararlılığı güç sisteminin bir şebeke içinde bir arızaya dayanabilme kabiliyeti olarak da ifade edilebilir. Eğer güç sistemi transient kararlılık sınırları ötesinde çalışır ise arıza sonrasında bir veya birkaç generatör diğer generatörlerle aralarındaki senkronizmayı kaybeder. Bu durum genellikle arızadan 5-10 saniye sonra meydana gelir. Sonuçta bu generatörlerin güç sisteminden ayrılmaları gerekecektir. Eğer bunlar büyük bir generatör grubu ise sonuçta tüm bölge diğer bölgeler ile arasındaki senkronizmasını kaybeder. Dolayısı ile yük ile bağlantı kesintiye uğrar. Bu durum sistemde arıza öncesindeki yük akışının kesintiye uğraması anlamına gelir. Kritik bir arızada kararlılık limit değerleri ile güç akışı söz konusu olabilir.

Gerilim kararlılığı yüklerin durumuna bağlı olarak oluşur. Yüklerin dinamik özelliklerinin zaman durumlarına bağlı olarak gerilim kararlılığı, kısa ve uzun süreli gerilim kararlılığı olmak üzere ikiye ayrılır. Kısa süreli gerilim kararlılığı asenkron

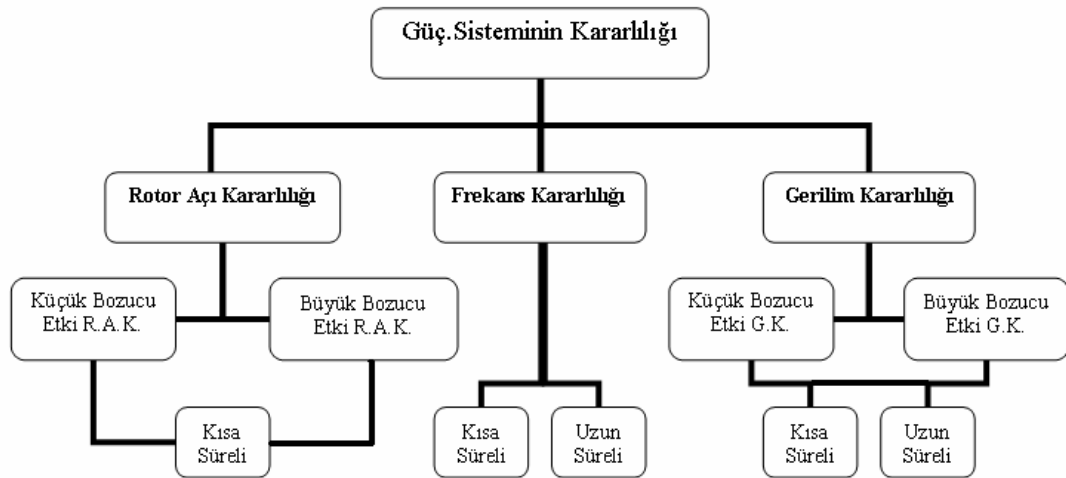
motorların, senkron generatörlerin uyartım sistemlerinin ve elektronik kontrollü cihazların (yüksek DC gerilim cihazları ve statik VAR kompanzatörlerinin) özelliklerinden kaynaklanır [19]. Kısa süreli gerilim kararlılığı süre bakımından aç kararlılığı ile neredeyse aynıdır. Problemin modellenmesi ve analizi de aynı şekilde yapılır. Kısa süreli gerilim kararlılığı ile aç kararlılığı problemlerini meydana geliş nedenleri arasındaki farkları birbirlerinden ayırt etmek çok zordur. Bütün gerilim çökmelerinin sebeplerinin arkasında gerilim ve aç kararsızlıklarının her ikisi de birlikte bulunmaktadır [14].

Kısa süreli değişimler oluştuğunda, sistemin kontrol değerlerinin zaman değişimleri daha yavaş olduğundan kısa sürede kontrol sistemleri iş yapmaz fakat bozucu etkide sistemi çok etkilemez ve bozucu etki bazen kendiliğinden yok olur. Uzun süreli zamana sahip bozucu etki değişimleri, birkaç dakika hatta daha da uzun süreleri zamana sahiptirler. Uzun süreli kararlılık problemleri frekans ve gerilim kararlılığı olmak üzere iki şekilde ortaya çıkar. Frekans problemi güç sisteminde temel bir bozucu etki neticesinde oluşur [22]. Frekans kararsızlığı generatörler ve yükler arasındaki aktif güç dengesizliğinden kaynaklanır. Generatörlerden talep edilen aktif güç değerlerinde artma meydana geldiğinde generatörlerin ürettiği enerjinin frekanslarında da değişimler olur. Frekanslardaki değişimler generatörlere bağlı hız regülatörleri ile kontrol edilmeye ve sabit frekanslı enerji üretilmeye çalışılır. Sistem frekansı düştüğü veya yükseldiği zaman üretilen güç artar veya azalır.

Uzun süreli gerilim kararlılığının analiz edilebilmesi için uzun süreli değişimlerin ayrıntılı bir şekilde modellenmesi gerekmektedir. Uzun süreli gerilim kararlılığı güç sistemindeki yük, kademe değiştiriciler veya anahtarlamalı şönt kompanzasyon gibi elemanların özelliklerine bağlıdır. Elektrik güç santrallerinin kontrol sistemlerinin özellikleri, buhar üretim sistemlerinin özellikleri ve otomatik üretim kontrol sistemleri gibi uzun süreli değişimler, uzun süreli gerilim kararlılığı üzerinde etkilidirler [19]. Uzun süreli gerilim kararlılığı için otomatik üretim kontrol sistemleri ve otomatik olmayan kontrolde ise operatörlerin kontrol üzerindeki etkileri, sürekli yüklerin özellikleri, transformatörlerin yük altında kademe değiştirme durumlarının ayrıntılı olarak bilinmesi gerekmektedir.

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

Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı, sistemde anahtarlama yapılması, yükün veya üretimin ortadan kalkması durumlarında sistemin arızalanması ile oluşur.[22] Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı (large disturbance voltage stability) uzun zamanlı yük akışı analizi ve lineer olmayan zaman durumu için kısa zaman bölümünün kullanılması ile analiz edilebilir. Gerilim kararlılığı lineer ve lineer olmayan yöntemlerin birleşimi bir problemdir.



Şekil 2.1. Güç sistemi kararlılığının IEEE / CIGRE' ye göre sınıflandırılması

Şekil 2.1'de Güç sisteminin kararlılığının IEEE / CIGRE ye göre sınıflandırılması gösterilmektedir [29]. Bu sınıflandırmaya göre gerilim kararlılığının bölümleri olan, küçük bozucu etki, büyük bozucu etki ve bu etkilerin zaman açısından bölümleri aşağıda kısaca açıklanacaktır.

2.3.1. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı (large disturbance)

Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı (BBEGK) sistemin arızalanması, üretim kaybolması, hat arızaları gibi büyük bozucu etki sonrası güç sisteminin kabul edilebilir gerilim seviyesinde tutulabilme yeteneğidir. Koruma ve kontrol cihazlarının güç sistemindeki lineer olmayan özelliklerinin bilinmesi BBEGK'nın incelenebilmesi için önemlidir. BBEGK'da süre 10-30 saniye bazen de bir dakika kadar olabilmektedir [30].

2.3.2. Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı (small disturbance)

Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı (KBEGK) sistem yüklerindeki değişimler gibi küçük bozucu etki sonrasında kabul edilebilir gerilim limitleri arasında sistemi tutabilme yeteneğidir. Bu analizde çalışma noktası etrafında lineer model tasarlanır. Yük altında kademe değiştiren transformatörler için sistemin herhangi bir durumundaki sabit model ve diğer malzemeler için ise değişen modeller yerine yine sabit modeller kullanılır. KBEGK dakikalar sürebilir hatta bu zaman saatler süresine dahi çıkabilir [31].

Gerek küçük bozucu etki gerilim kararlılığı, gerekse büyük bozucu etki gerilim kararlılığı arızanın çeşidine bağlı olarak, güç sistemi üzerinde bozucu etki zamanı açısından, şekil2.1'de gösterildiği gibi kısa süreli ve uzun süreli olmak üzere iki şekilde ele alınabilir.

2.3.3. Kısa süreli gerilim kararlılığı (short-term)

Kısa süreli gerilim kararlılığı (KSGK), indüksiyon motorları, elektronik kontrollü yükler, yüksek doğru gerilim (HVDC) dönüştürücüleri gibi değişim zamanları çok hızlı olan yüklerin etkisi ile oluşan bir kararlılık olayıdır. Bu alanda çalışma zamanı birkaç saniyedir ve sorunun analizinde hazırlanan diferansiyel denklemlerin çözümü gerekmektedir. Bu durum rotor açısı kararlılığı analizine benzer bir durumdur. Yüklerin dinamik olarak modellenmesi gereklidir. Açısı kararlılığının tersine kısa

devrelere yakın yükler önemlidir. Problemin çözümünde transient gerilim kararlılığında kullanılan yöntemlerin kullanılmaması tavsiye edilir [32].

2.3.4. Uzun süreli gerilim kararlılığı (long term)

Uzun süreli gerilim kararlılığı (USGK) termostatik kontrollü yükler (ısıtıcı özellikli omik yükler), generatör akım sınırları, yük altında kademe değiştiren transformatörler gibi daha yavaş çalışma özelliğine sahip malzemelerin oluşturduğu bir kararlılık olayıdır. Çalışma periyodu birkaç dakikaya (2-3 dakika) kadar çıkabilir. Uzun süreli simülasyonlarda sistemin dinamik performansının analizi gereklidir. Kararlılık konusundaki sorun genellikle bozulma başlangıcının belirlenme zorluğu değil de malzemelerin çıkış sonuçlarının belirlenmesidir. Kararsızlık uzun süreli olarak dengenin kaybolmasından (örneğin üretim ve iletim sisteminin kapasitesinin üstünde çalışması durumunda), bozulma sonrası sürekli hal çalışma noktası küçük bozulmalar ile kararsız olmasından veya bozulma sonrası kararlılık dengesinin sağlanması hususundaki güvenilirliklerinin azalmasından (örneğin gerilim düzeltme etkisi uygulama da çok geç kaldığı zaman) kaynaklanır. Bu bozulma sürekli aynı zamanda yük artışı ile olabilir (örneğin gündüz yük artar). Kararlılık sınırlarının belirlenmesinde genellikle statik analizler kullanılır. Sistem koşullarının geniş bir oranı gözlenir ve çok sayıda senaryo üretilir. Kontrol zamanının önemli olduğu durumlarda sürekli çalışma durumu simülasyonları ile analiz yapılması ile kararlılık faktörü tanımlanabilir [32].

USGK, P-V eğrileri üzerindeki çalışmalar ile de analiz edilebilir. P-V eğrilerindeki çalışma, yük artırımı şeklinde olur. Bu yöntemde kademe değiştirme, aşırı veya düşük uyartım (en büyük veya en küçük reaktif güç sınır değerleri) ve anahtarlanabilir şönt elemanların durumları göz önünde bulundurulur. Yükün aktif güç değerinin en büyük sınır değeri ve yükün en küçük gerilim sınır değeri belirlenir bu değerler ihlal edildiğinde sistemde gerilim çökmesi meydana gelebilir [33].

2.4. Gerilim Çökmeleri

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

Gerilim düşüşünün devam etmesi senkron makinada aç kararsızlığı olayındaki durum ile aynı bir durumun oluşmasına sebep olur. Örneğin senkronizmanın kaybolması iki grup makine arasındaki rotor açılarının 180 derece ye yakın bir açıda fark olmasına sebep olur. Senkronizma kaybı olan yerlere yakın bölgelerde hızlı bir şekilde gerilim düşümü oluşur. İki grup makinanın koruma sistemleri ayrı ayrı çalışır ve gerilimi normal çalışma seviyelerine getirme özellikleri de ayrı ayrıdır. Ancak sistem birbirlerinden çok ayrı değildir. Elektrik santraline yakın yerlerdeki gerilim yüksek ve düşük değerleri arasında sürekli olarak salınım yapar bu olay tamamen yüklerin etkisi ile rotor aç kararlılığının olmadığı durumlarda gerilimin düşmesi sonucunda gerilim kararsızlığı ile oluşan bir durumdur.

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

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

kapasitelerinin üzerinde bir yük tüketimi meydana geldiği zaman gerilim kararsızlığı meydana gelir.

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

Gerilim kararsızlığının en çok bilinen çeşidi gerilim düşümlerinin ilerleyerek devam etmesi olarak bilinmesine rağmen yapılan son çalışmalar gerilim yükselmelerinin de sistem üzerinde gerilim kararsızlığına yol açtığını göstermiştir. Bu durum şebekenin kapasitif özelliği ile ilgilidir. İletim hattının doğal empedans yükünün altında çalışması, generatörlerin sınır değerlerinin dışında bir uyarım ile çalışmaları, senkron kompanzatörlerin şebekeden reaktif güç çekmeleri gibi nedenler ile gerilim yükselir. Bu durumdaki kararsızlık üretim ve iletim sisteminin bazen düşük güçlerde çalışmasındaki kararsızlığı bize hatırlatır.

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

Gerilim çökmeleri zaman bakımından sınıflara ayrılır. Bu zaman birkaç saniye olabildiği gibi saatler mertebesinde de olabilir. Gerilim çökmelerinde karşılaşılan Elektro mekanik ani değişimler (örneğin generatörler, regülatörler, indüksiyon

makinaları) ve güç elektroniği (örneğin SVC , HVDC sistemleri) olayları zaman bakımından saniyeler mertebesinde. Anahtarlama cihazları, uyarım ayarlayıcıları, kademe değiştirici gibi malzemelerden kaynaklanan çökmeler zaman olarak 10-30 saniye ve yük düzenleme işlemi ise birkaç dakika olarak belirlenmiştir.

Bu çalışmada uzun zaman süreli olaylar incelenmektedir. Bu durumda gerilim çökmesine sebep olan çok sayıda olay vardır. Bunlardan bazıları yükün artması, generatör veya SVC reaktif güç sınır değerlerinin aşılması, kademe değiştiren transformatörlerin etkisinin yetersiz kalması, yük ayarlayıcı dinamiklerin görevlerini yapamamaları, generatör çıkışı ve iletim hattı arasındaki dengesizlikler. Bu değişikliklerin tamamı reaktif gücün iletimi ve üretimi üzerinde geniş bir etkiye sahiptir. Anahtarlama şönt kapasitörler, yük altında kademe değiştiren transformatörler, generatör güç üretimi ayarlayıcısı, generatörün kendi kendini uyarması için üretilen gerilimin ayarlanması, aşırı yük koruyucuları bunların hepsi gerilim çökmelerini önlemek için çalışırlar.

Makinaların aç değeri gerilim çökmesi konusunun da içine girer. Bu nedenle gerilim çökmesi ile bilinen transient kararsızlığı arasında belirgin bir fark yoktur. Gerilim çökmeleri yük ve gerilimin büyüklüğü üzerinde odaklanırken, transient kararsızlığı ise generatörler ve açılar üzerinde odaklanır. Hatta gerilim çökmeleri sık sık hattın sonunda yük artması gibi uzun zaman değişimine sahip olaylardan meydana gelir. Gerilim çökmesindeki kritik sınır değerlerin üzerinde reaktif güç üretimi gerilim seviyesinin artmasına sebep olur. Şönt kapasitörlerin etkisi ile gerilim seviyesi yükselir. Reaktif güç talebinin artması nedeni ile gerilim çökme ihtimaline karşı, gerilim çökmesi sınır değeri transformatörlerin kademe değiştirme etkileri sayesinde belirli bir oranda azaltılabilir [34,35].

Güç sisteminde gerilim çökmesi konusunda riskli durumlar genel olarak; İletim hattı üzerindeki yükün aşırı artması, gerilim kaynaklarının yük merkezlerinden çok uzakta olmaları, gerilim kaynaklarının üretim gerilimlerinin çok düşmesi, üretim ve yük arasındaki büyük oran meydana gelmesi, düşük gerilim şartlarında ULTC (under load tap changer) trafo kademe değiştiricilerinin yavaş veya etkisiz kalmaları,

koruma ve kontrol sistemi ile hat arasındaki etkileşimin zayıflaması, yetersiz reaktif güç kompanzasyonu yapılması olarak ifade edilebilir.

Güç sistemlerinde gerilim çökmelerini önlemek için yapılan işlemler; Reaktif güç kompanzasyonu uygulamaları ile ihtiyaç fazlası reaktif güç talebinin önlenmesi, şebekede gerilim ve reaktif güç kontrolü, koruma ve kontrol koordinasyonu, trafo kademe değiştirici kontrolü, düşük gerilim koruyucuları kullanılması, kararlılık sınırlarının önceden belirlenmesi, operatörlerin etkileri (insan etkisi) olarak belirtilebilir [36].

Gerilim çökmeleri hakkında çok değişik senaryolar bulunmaktadır. Ancak klasik ve tipik gerilim çökmeleri uzun süreli gerilim kararsızlığının bir sonucudur. Bu durum şu şekilde ifade edilmektedir.

1 Bazı iletim hatlarında bakım v.b. nedenler ile reaktif güç üretiminin azalması nedeni ile hattın aşırı yüklenmesi nedeni ile gerilim çökmesi olayı oluşabilir.

2 Arıza veya başka nedenler ile sistemin aşırı yüklenmesinden dolayı kayıplar meydana gelir. Yüklenme ve reaktif güç kayıplarının artması toplam reaktif güç talebini arttırır. Bu talep karşılanamaz ise gerilim çökmesi olabilir.

3 Yük gerilimindeki azalmalar iletim hattındaki yükün ve yük talebinin azalmasına dönüşür. Kontrol sistemleri tarafından uyarımın arttırılması ile generatör çıkış gerilimleri yeniden ayarlanması ile gerilimdeki azalma karşılanır. Bu durumda reaktif güç de artma meydana gelir. Artan reaktif güç nedeni ile hat ve trafolarda ek reaktif güçten dolayı gerilim düşümleri meydana gelir.

4 Yük değişiminden birkaç dakika sonra (yükün kademe değiştirme zamanına bağlı olarak) bozulan şebeke gerilimleri karşısında trafolar kademe değiştirerek düzeltme yoluna giderler. Gerilim arttığında yük talebi de artar hattaki iletim kayıpları da artar. Bu durum hatlarda daha büyük gerilim düşümlerine yol açar.

5 Artan reaktif güç talebi generatörlerin reaktif çıkışı artırır. Generatörler reaktif güç sınır değerlerine ulaştıklarında çıkış gerilimi azalır. Bu durumda kritik bölgenin dışında başka bir generatörden reaktif güç talebi sağlanır. Bu durum generatörlerin aşırı yüklenmelerini sağlayacaktır. Kritik bölgenin uzağında bulunan birkaç generatörden gerilim kontrolü için yararlanılabilir. Şönt kapasitelerin iletim hattı üzerinde etkilerinin azalmaları ile birlikte gerilim de azalır sistem gerilim kararsızlığına buradan da gerilim çökmesine gider [14].

Gerilim çökme noktası sınır değeri güç sisteminin sürekli çalışma koşulları için hesaplanır. Bu nokta güç sisteminin gerçek çalışma noktası değildir. Ancak gerilim çökme ve yük sınır değerlerinin hesaplanması gerçek çalışma kararlılık noktası sistem güvenilirliğini sağlar .

Son zamanlarda dünyanın çeşitli yerlerinde gerilim kararsızlığı sonucunda gerilim çökmeleri meydana gelmiştir. Bu problem şebekeyi aşırı şekilde zorlamaktadır. Çevresel ve politik baskılardan dolayı bir çok endüstri şehrine yeni iletim hatları çekilmesi çok zor olmaktadır. Böylece mevcut hattın zamanla daha da fazla güç taşınması zorunlu hale gelmektedir. Santral veya hat gibi elemanlarda bir bozucu etki meydana geldiği zaman başlangıçta gerilim kararsızlığı meydana gelmekte bu durum da gerilim çökmelerine sebep olabilmektedir.

Gerilim çökmesinin akabinde güç iletiminin kesilmesi endüstride üretim kaybı ve enerji gelir kaybına sebep olduğundan dolayı ekonomik etkileri de bulunmaktadır. Gerilim çökmelerine neden olan olayları anlamak için çok sayıda çalışmalar yapılmaktadır. Gerilim çökmesi hususunda yeterli bilgiye sahip olunması sisteme daha etkin ve zamanında müdahale edilmesine ve gerilim çökmelerinin önlenmesine sebep olur.

Güvenlik nedeni ile aktif güç üzerindeki testler dışında çalışmak pek mümkün olamamaktadır. Bu yüzden bir çok çalışmalar analitik yaklaşımların kullanılması ile yapılır.

2.4.1. Dünyada meydana gelmiş olan gerilim çökmeleri

Fransa 1978, öğleden önce saat 7-8 arasında bir önceki gün talep edilen yükten 1600 MW daha fazla güç talebi oldu. 400 KV'luk şebeke 342 KV'a düştü bu durum yirmi dakika sürdü. Gerilim normal haline saat 12.30'da getirilebildi. Bu arada 29 GW ve 100 GWh enerji kesintiye uğradı.

Belçika 1982, test çalışması sırasında 700 MW güç bağlanamadığından 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, fırçaların yanması 500 KV'luk iletim hattında gerilim azalmasına ve sonuçta birkaç saniye içinde gerilim çökmesine sebep oldu

Batı Fransa 1987, aşırı uyartım koruma sistemindeki hatadan dolayı gerilim azaldı ve 0.5-0.8 b seviyelerine kadar düştü. Altı dakika süre ile gerilim çökmesi olayı meydana geldi

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

Amerika 1996, 345 KV'luk hatta kısa devre oldu kuzey Batı Amerika sistemi kesintiye uğradı sonuçta hızlı gerilim ve aç kararsızlığı oldu [16].

Amerika-Kanada 14 Ağustos 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 [17]. Amerika ve Kanada da meydana gelen olaylar gerilim kararlılığı

düzeltilme yöntemlerinin araştırılması ve geliştirilmesini önemli kılmıştır. Günümüzde gerilim çökmesi problemi en önemli çözüm bekleyen problemlerden biri haline gelmiştir [37].

Kayıtlara geçen, Amerika’da New York 1970, Missisipi 1987, Baltimore 1990, Kanada 1979, Avrupa’da Belçika 1982, Fransa 1978 – 1987 -1990, İngiltere 1986, Danimarka 1979, Çekostavakya 1985, Helsinki 14 Ağustos 2003, Güney Londra 28 Ağustos 2003, Güney İsveç ve Danimarka 23 Eylül 2003, İtalya 28 Eylül 2003, Atina ve Güney Yunanistan 12 Temmuz 2004, Japonya’da Tokyo 1987 enerji sistemlerinde meydana gelen kararlılık problemleri sonucunda oluşan bazı olaylar neticesinde gerilim kararlılığı daha da önemli hale gelmiştir [11, 12].

BÖLÜM 3. GENETİK ALGORİTMA

3.1. Genel Yapısı

Genetik algoritma mantığı, en iyi olan yaşar prensibine dayalı olarak Darwin'in evrim teorisi düşüncesini temel almıştır. İlk defa 1975 yılında Mishigan Üniversitesi'nden Prof. John Holland tarafından ortaya konulmuştur. Bu yöntemin yaygın olarak kullanılmaya başlanması ise Illinois Üniversitesi'nden Prof. David Goldberg sayesinde olmuştur [38]. 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 araştırma algoritmasıdır. Genetik Algoritma karmaşık fonksiyonlar için optimizasyon çözümü sağlar [39]. Geleneksel optimizasyon yöntemleri için çok zor olarak kabul edilen çok değişkenli optimizasyon problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir [40]. Genetik algoritma bir veri gurubundan özel bir veriyi bulmak için kullanılır. Bu özelliği ile ideal bir optimizasyon metodudur. Evrim Teorisi ile kabul edilen en iyinin yaşaması ve zayıf olanın elenmesi kuralına bağlı olarak, algoritma sürekli iyileşen çözümler üretir. Kötü olan çözümler ise elenir [41].

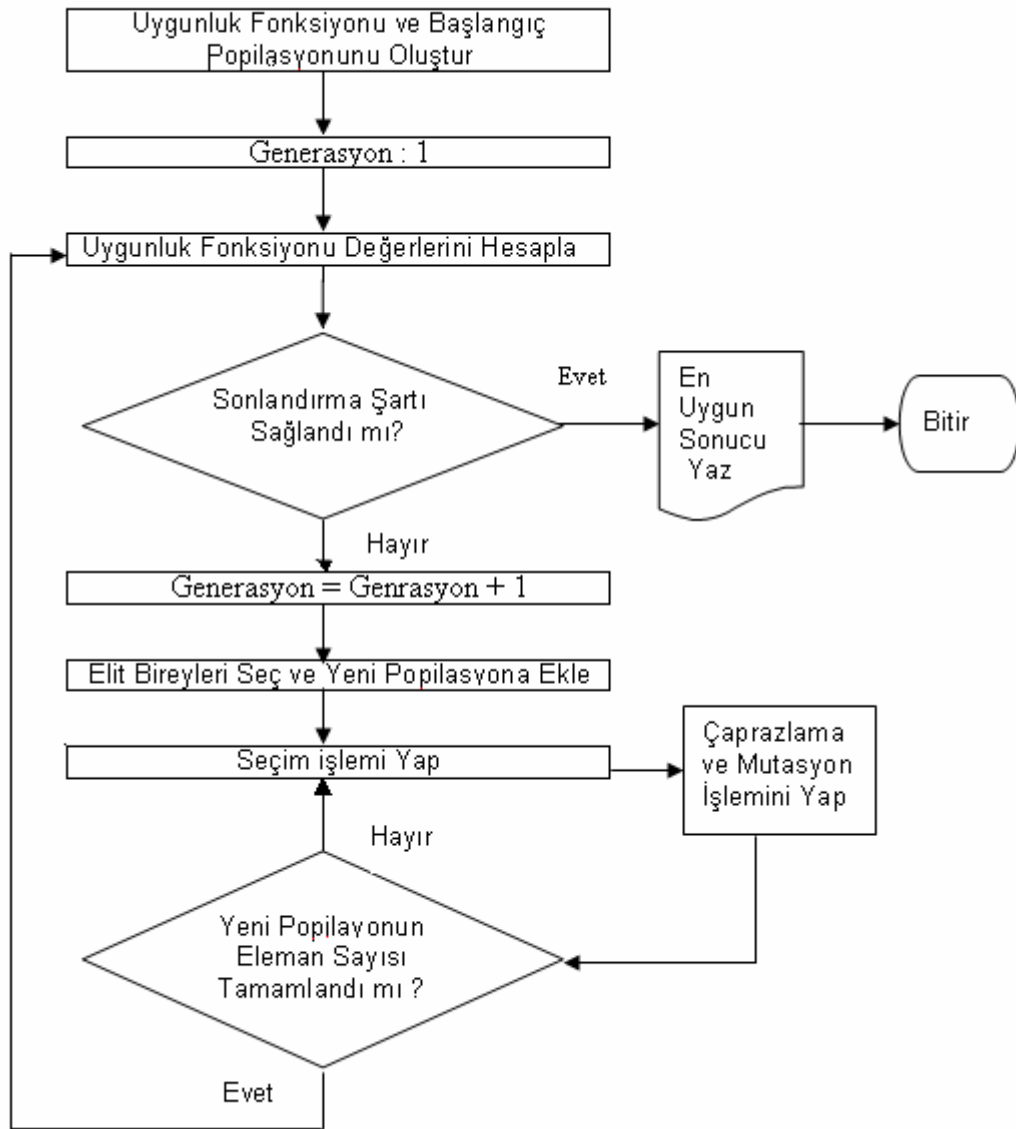
Genetik algoritma rast gele oluşturulan ve bir çok çözüm takımının içinde bulunduğu, popilasyon adı verilen gen havuzu ile çalışmaya başlar. Her bir değişkene bir kromozom denir. Kromozomlar genlerin kombinasyonudur ve fonksiyonun değişkenlerinin tamamını bünyesinde bulunduran bireyleri oluştururlar. Fonksiyonun tüm değişkenlerinin yan yana sıralanması ile birey oluşur. Birey popilasyonun bir satırıdır. Bireyler topluluğu popilsyonu oluştururlar. Değişkenler değişik şekillerde kodlanırlar. En yaygın olanı ikilik sayı sistemi olarak bilinen binary sayı sistemi ile

kodlanmasıdır. Bu sistemde kromozomlar 0 ve 1 genlerinin kombinasyonlarından oluşurlar. Popilasyonun devamı biyolojik kurallara bağlıdır.

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

Sonuçta başarılı bireylerin genlerini alt nesillere aktarılır iken, zayıf olan bireylerin genleri ise zamanla yok olur. Yeni nesiller oluştuğça gen havuzunun da kalitesi gittikçe artar. ilk başlangıçta havuz içinde bir çok başarısız birey bulunmasına karşılık jenerasyon ilerledikçe havuzun çoğunluğunu başarılı bireyler oluşturur. En sonunda tüm bireyler aranan ideal bireye dönüşür. Bu taktirde optimizasyon sonuçlanmış olur [38]. Genetik algoritma çalışmasında programın sonlandırma şartı olarak jenerasyon sayısı, programın çalışma süresi veya belirli bir sürede sürekli aynı sonuçların elde edilmesi olarak belirlenebilir.

3.2 Genetik Algoritmanın Aşamaları



Şekil 3.1. Genetik algoritmanın işleyiş aşamaları

Genetik algoritmanın genel çalışma mantığı şekil 3.1’de verilmektedir. Genetik Algoritmanın adımları sırası ile genel olarak aşağıda açıklanmaktadır.

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

3.2.1. Uygunluk Fonksiyonunun Oluşturulması

Kısıtlı optimizasyon problemlerinde ceza fonksiyonu yaygın olarak kullanılmaktadır [42]. Genetik algorithmada 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 alacak yeterince büyük seçilen sayıdır. Optimizasyon sona erdiğinde bu eklenen sayı sonuçtan çıkartılarak gerçek sonuç bulunabilir. 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 değerleri belirli sınırlar içinde tutulmuş olur [43,44].

Optimizasyon probleminde şayet kısıtlayıcı denklem veya denklemler bulunuyor ise bu durumda en yaygın olarak ceza (penaltı) 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 pozitifdir [45,46]. 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 fonsiyonu

r_i : i ‘ninci kısıt fonksiyonu ceza katsayısı

ifadelerini sembolize etmektedirler [44].

3.2.2. Başlangıç popilasyonunun oluşturulması

Başlangıç popilasyonu, çözüme başlayabilmek için başlangıçta rast gele oluşturulan ve içerisinde problemin değişkenlerinin kodlarını bulunduran bir gen havuzudur. Genler kullanılan yöntemle bağlı olarak değişik karakterler ile sembolize edilebilirler. En yaygın olarak genlerin kodlanması için ikili sayı sistemi elemanları olan 0 ve 1 rakamları kullanılır [47].

Başlangıç popilasyonunun (gen havuzunun) oluşturulmasında ikili sayı sistemi kullanılması durumunda elemanları 0 ve 1’ler olan bir gen havuzu elde edilir [48]. Bu gen havuzunun büyüklüğü optimizasyon çözümü aranan, uygunluk fonksiyonunun değişken sayısına, değişkenlerin değişim aralığına ve değişim aralığında öngörülen eleman sayısına bağlıdır. Gen havuzunun her bir satırına popilasyon adımı denir. Bir popilasyon adımı birey olarak da ifade edilir. Bir popilasyon adımı her bir değişkenin genler ile kodlanması sonucu meydana gelen kromozomlardan oluşur. Değişkenlerin kodlanmaları ile bireyin oluşmasına örnek tablo 2.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Değişkenlerin kodlanması ile bireyin elde edilmesi

Değişkenler															
X ₁								X ₂							
1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
Birey															
1	1	1	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0

Bir popilasyon içindeki toplam birey sayısına popilasyon sayısı denir. Geleneksel optimizasyon yöntemlerinde çözümün aranmasına bir başlangıç noktası ile başlanır. Bu nokta iyi tahmin edilemez ise çözüme ulaşmak için çok fazla süre harcanır ve çok fazla işlem yapılır. Genetik algoritmada ise çözüme popilasyon sayısı kadar çözüm başlangıcı ile başlanır. Bu çözümler sonuca ulaşmak için tatmin edici gelmezse bu durumda bir sonraki generasyona geçilir. Her jenerasyonda popilasyon sayısı kadar çözüm elde edilir

Başlangıç popilasyonunun oluşturulmasını bir örnek ile açıklamaya çalışalım. Örneğin, $F(X_1, X_2)$ fonksiyonunun genetik algoritma ile optimizasyonu yapılmak isteniyor olsun X_1, X_2 değişkenleri temsil etmek üzere bunların değişim aralıklarının,

$$0 \leq X_1 \leq 1$$

$$0 \leq X_2 \leq 2$$

Olduğu varsayalım. Değişkenler 0.1 artım adımları ile (örneğin $X_1 = (0.1, 0.2, 0.3, 0.4, \dots, 1)$) değıştikleri kabul edilsin. Değişkenler ikilik sayı sistemi ile kodlanması sureti ile başlangıç popilasyonu oluşturulmak isteniyor olsun.. Bunun için ilk olarak her bir değişkenin bit (gen) sayısı,

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

formülü ile belirlenir. Bu denklemde

ℓ_n : n inci değişkenin bit sayısı

$X_{n \text{ üst}}$: n inci değişkenin üst sınır değeri

$X_{n \text{ alt}}$: n inci değişkenin alt sınır değeri

ε : değişkenlerin artım aralığı

değerlerini ifade etmektedir. Denklem 3.4'ün kullanılması ile her bir değişkenin gen sayısını bulabiliriz. Popilasyon sayısı ise ,

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

Formülü ile hesaplanır [49]. Bu denklemde,

PS : popilasyondaki toplam birey sayısı (popilasyon sayısı)

ℓ : Bir bireyin toplam bit (gen) sayısı

değerini ifade etmektedir. Genel olarak mutasyon oranı ise,

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

Denklemleri ile belirlenir. Burada ,

M.O. : Mutasyon oranı değerini ifade eder.

Denklem 3.5 kullanılarak başlangıç popülasyonunun toplam popülasyon sayısını bulabiliriz[33] Neticede $F(X_1, X_2)$ fonksiyonu için kromozomları oluşturacak bit (gen) sayısının değeri ve toplam popülasyon sayısının değeri belirlenmiş olur.

Bu değerleri varsaydığımız değişken aralıkları ve artım adımları için bulmaya çalışalım ;

$$2^{\ell_1} \geq \frac{1-0}{0.1} + 1$$

$$\ell_1 \geq 4$$

X_1 değişkeni 4 bit olarak kodlanabilir

$$2^{\ell_2} \geq \frac{2-0}{0.1} + 1$$

$$\ell_2 \geq 5$$

X_2 değişkeni 5 bit olarak kodlanabilir. Bir birey için toplam bit sayısı ;

$$\ell = \ell_1 + \ell_2$$

$$\ell = 5+4$$

$$\ell = 9$$

Olarak bulunur.

$$P.S \geq 1.65 * 2^{0.21*9}$$

$$P.S. \geq 6.11$$

Popilasyon sayısı 7 seçilebilir.

Bu sonuçlar çerçevesinde bir bilgisayar programlama dili ile yapılacak program aracılığı ile rast gele oluşturulacak başlangıç popilasyonu tablo 3.2'deki gibi olabilir

Tablo 3.2. Yedi bireye sahip popilasyon (gen havuzu)

Birey No	DEĞİŞKENLER								
	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

Tablo 3.2 de görüldüğü gibi genleri 0 ve 1 bitlerinden oluşan değişkenlerin bir araya gelmesi ile bireyler oluşmaktadır. Popilasyon sayısı yedi olduğundan yedi tane bireyin rast gele oluşması sonucunda elemanları 0 ve 1 olan 7*9 boyutunda bir gen havuzu olan, başlangıç popilasyonu (başlangıç gen havuzu) oluşturulmuştur.

3.2.3. Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması

Fonksiyonun değişkenlerini ifade eden popilasyonun her bir satırına birey adı verilir. Başlangıç popilasyonunda her bireyi oluşturan değişkenler ikilik sayı sistemi kullanılması sureti ile 0 ve 1'ler ile kodlanır. Bilgisayar programı yardımı ile her bireyi oluşturan değişkenlerin kodları ikilik sayı sisteminden onluk sayı sistemine çevrilir ve uygunluk fonksiyonu denkleminde yerine yazılır böylece uygunluk

fonksiyonu değeri hesaplanır. Bu hesaplama popilasyonun her bir bireyi için ve popilasyon sayısı kadar ayrı ayrı yapılır. Örneğin popilasyon sayısı yedi ise yedi tane uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Genetik algoritmanın sona ermesi başlangıçta verilen sonlandırma kriterine bağlıdır. Bu kriter çalışma süresi jenerasyon sayısı veya uygunluk fonksiyonu değerleri tüm popilasyon boyunca hep aynı çıkmaya başlaması durumu olabilir. Sonlandırma şartı sağlanıyor ise bu durumda genetik algoritma çalışmasına son verir. Başlangıçta uygunluk fonksiyonu değerlerinin birbirlerine çok yakın olma ihtimali çok düşüktür. Başlangıç popilasyonundaki genler kullanılarak hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerlerinin birbirlerinden çok farklı olmaları doğaldır. Bu durumda uygunluk fonksiyonu değerleri içinde istenilene yakın olanlar yani başarılı olan popilasyon adımları seçilmek sureti ile başarılı bireyler arasından yeni bir nesil oluşturmak istenecektir. Yeni nesil oluşturulurken evrim teorisindeki seçim, çaprazlama, mutasyon gibi etkiler kullanılacaktır. Sonuçta yeni bir popilasyon (gen havuzu) oluşturulacak ve uygunluk fonksiyonu değerleri yeniden hesaplanacaktır. İstenilen sonuca ulaşıncaya kadar bu döngü tekrar edilecektir. Neticede fonksiyonun en büyük veya en küçük değeri bulunacaktır.

Uygunluk fonksiyonunun alacağı değerler gen havuzunun büyüklüğüne de bağlıdır. gen havuzu çok küçük ise çok çabuk amaca ulaşılacak fakat bulunan değer in doğruluğu daima tartışma konusu olacaktır. Gen havuzu çok büyük ise amaca ulaşmak çok zaman alacaktır. Bunun için gen havuzunun büyüklüğü denklem 3.4 ve denklem 3.5 'de hesaplanan değerler çerçevesinde uygun olmalıdır.

3.2.4. Genetik algoritma operatörleri

Genetik algortmada jenerasyon sayısı kadar popilasyon oluşturulur. Her yeni popilasyon bir önceki popilasyonun bireylerinin kullanılması ile oluşturulur. Popilasyonun hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri dikkate alınarak, genetik algoritma operatörleri olan elitizim, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri neticesinde yeni bir popilasyon oluşturulur [50].

3.2.4.1. Elitizim

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. Elitizim 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 amacı için bu değerler belirlenir ve kaydedilir [51,52,53]. Yeni oluşturulan popülasyonun içine ilk elemanı veya elemanları olarak kopyalanırlar. Böylece en iyi uyumluluğa sahip olan birey veya bireyler bir sonraki jenerasyonda yaşamını sürdürebilmeleri garanti edilmiş olur [54]. Örneğin başlangıç popülasyonu sayısı 50 olan bir popülasyonun her bir bireyi için olmak üzere toplam 50 tane uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bunlar içinden en iyi uygunluk fonksiyonu değerlerine sahip olan iki birey seçilir. Yeni popülasyonun birinci ve ikinci elemanı olarak kaydedilir. Bir sonraki jenerasyonda yeni popülasyon için diğer 48 yeni birey ise genetik algoritmanın diğer operatörleri olan seçim, çaprazlama ve mutasyon yolu ile belirlenir. Bu döngü tüm algoritma boyunca her jenerasyonda, yeni bir popülasyon oluşturmak için devam eder . 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 [50,55].

3.2.4.2. Seçim

Uygunluk fonksiyonunu değerlerine göre yeni nesil oluşturacak uygun ailelerin (ebeveyn çiftlerinin) seçilmesi işlemine genetik algoritmanın seçim operatörü denir. Seçmedeki amaç başarılı bireylerin yaşamlarını sürdürebilmelerini temin etmek yeni neslin bunlardan oluşmasını sağlamak başarısız bireylerin ise elenmesine olanak vermektir. Seçim için bir çok yöntem geliştirilmiştir. Bunlardan en çok bilinenler, rulet çarkı seçimi (roulette wheel selection), turnuva seçimi (tournament selection), sıralama seçimi (rank selection) gibi seçim yöntemleridir [56]. Bu yöntemlerin hepsinde seçim, uygunluk fonksiyonu değerine bağlı olarak farklı çözüm metotları ile yapılır.

3.2.4.2.1. Rulet çarkı seçim kriteri

Rulet seçiminde bireyler uyumluluk fonksiyonu değerlerine göre bir çarkın dilimlerini oluştururlar [59]. Uygunluk fonksiyonu iyi olan bireyler çarkta daha büyük dilim işgal ederler. Uygunluk fonksiyonu daha iyi olan bireylerin ebeveyn olarak seçilmesi için kullanılır. Bu çark çevrilerek rast gele belirli bir referans noktasında durması ile bu noktada çark üzerinde bulunan birey ebeveyn 1 olarak seçilir. Çarkın gerekli sayıda çevrilmesi ile ebeveyn 2 ve geriye kalan tüm ebeveyn çiftleri seçilir. Daha büyük alana sahip bireyin seçilme şansı daha fazla olacaktır. Bu metot yardımıyla bireyler istatistiksel yöntemler kullanılarak uygunluk fonksiyonu değerlerinin toplam uygunluk fonksiyonunu oranları ölçüsünde seçilirler [60].

Her bir popilasyon adımında hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri bir çarkın dilimlerini oluştururlar. Uygunluk fonksiyonu değeri aranılan kritere daha yakın olanlar çarkta daha büyük bir dilime sahip olacaklardır. Böylece popilasyondaki bu bireylerin seçilme şansı daha yüksek olacaktır. Her bir popilasyon adımı için hesaplanan seçilme ihtimallerine göre roulette çarkının içi dilimlenerek doldurulur. Çark elitizim kullanılmadığında birey sayısı kadar çevrilir. Elitizim kullanılıyorsa çark popilasyon sayısından elitizim ile belirlenen birey sayısı eksiği kadar sayıda çevrilir [40,58]. Her çevrimde yeni bir birey seçilir.

Popilasyon içindeki tüm uygunluk fonksiyonu değerlerinin toplamı,

$$F = \sum_{i=1}^n UF(i) \quad (3.7)$$

denklemleri ile elde edilir. $UF(i)$, i 'ninci bireyin uygunluk fonksiyonu değerini ifade etmek üzere, bu bireyin çark üzerinde işgal edeceği dilim,

$$P_r(i) = \frac{UF(i)}{F} \quad (3.8)$$

denklemleri ile belirlenir [61]. Bu denklemde,

F: popilasyondaki tüm uygunluk değerlerinin toplamı

$P_r(i)$: Popilasyonun i' ninci bireyinin seçilme ihtimali

n : popilasyonun birey sayısını ifade etmektedir.

Bu yöntemi bir örnek ile açıklamaya çalışalım. Başlangıç popilasyonu birey sayısı 8 olsun . Elitizm ile popilasyonun yedinci ve sekizinci bireylerinin en iyi iki birey olarak belirlendiği varsayılın. Bu bireyler yeni popilasyonun ilk iki bireyi olarak kopyalanır. Yeni popilasyonun kalan 6 bireyinin oluşturulması için rulet çarkı seçim kriterinin kullanıldığı kabulü ile başlangıç popilasyonundaki bireylerin uygunluk fonksiyonu değerlerine göre denklem 3.8'e göre hesaplanan seçilme ihtimalleri ve çark üzerinde kapladığı alanlar,

$P_r(1) = 0.1$, çarkın 0.00 ile 0.10 arası alan

$P_r(2) = 0.2$, çarkın 0.10 ile 0.30 arası alan

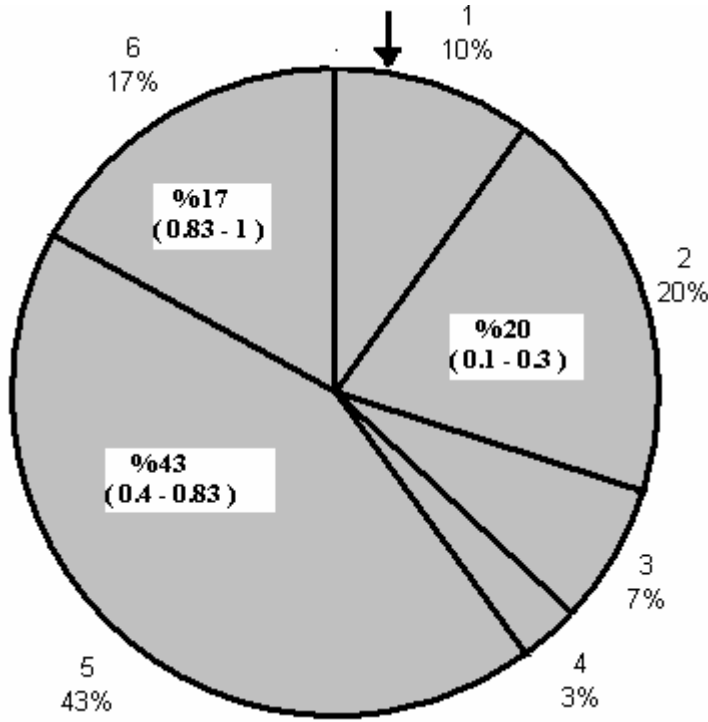
$P_r(3) = 0.07$, çarkın 0.30 ile 0.37 arası alan

$P_r(4) = 0.03$, çarkın 0.37 ile 0.40 arası alan

$P_r(5) = 0.43$, çarkın 0.40 ile 0.83 arası alan

$P_r(6) = 0.17$, çarkın 0.83 ile 1 arası alan

olarak ifade edildiğinde, hesaplanan uygunluk değerlerinin rulet çarkına yerleştirilmesi şekil 3.2'deki gibi olacaktır [62].



Şekil 3.2. Uygunluk fonksiyonu değerlerine göre bireylerin seçilme ihtimallerinin rulet çarkında gösterilmeleri

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi en yüksek seçilme olasılığına sahip popülasyonun bireyi beşinci birey en düşük seçilme ihtimali olanı ise dördüncü birey olarak görülmektedir.

Roulette çarkının tamamını %100 yani 1 olarak düşünebiliriz. Çark her dönüşünde 0 ile 1 arasında bir dilimin olduğu herhangi bir noktada duracaktır. Bilgisayar programı yardımı ile 0 ile 1 arasında seçilecek birey sayısı kadar sayı rast gele üretilir. Bu sayılara karşılık gelen çarkın bölmelerine ait bireyler bir sonraki popülasyonu oluşturmak için ebeveyn olarak seçilir. Yeni popülasyon için altı yeni birey belirleneceğinden rulet çarkı seçim yöntemi ile üç çift ebeveyn seçilir.

Örneğin 0 ile 1 arasında rast gele aşağıdaki altı sayı bilgisayar programı ile belirlenmiş olsun. Bu sayılar çark üzerinde bir noktayı ifade ederler. 0 Çarkın % 0 olan noktasını, 1 ise çarkın % 100 olan noktasını belirtir. Arada kalan sayılar da çarkın ara bölmelerindeki noktaları ifade etmektedirler. Rast gele altı sayı belilemek çarkın altı defa defa çevirilip durduğu anlamına gelmektedir. Seçilen altı sayının,

0.4512,

0.1486,

0.0973,

0.8729,

0.7298,

0.3545,

değerlerinde olduğunu varsayalım. Bu durumda yeni bir popilasyon oluşturmak için seçilen ebeveyn çiftleri,

Birinci ebeveyn çifti,

Ebeveyn 1 olarak beşinci birey seçilir. (0.4512 sayısının çarktaki karşılığı)

Ebeveyn 2 olarak ikinci birey seçilir. (0.1486 sayısının çarktaki karşılığı)

İkinci Ebeveyn çifti,

Ebeveyn 1 olarak birinci birey seçilir. (0.0973 sayısının çarktaki karşılığı)

Ebeveyn2 olarak altıncı birey seçilir. (0.8729 sayısının çarktaki karşılığı)

Üçüncü ebeveyn çifti,

Ebeveyn1 olarak beşinci birey seçilir. (0.7298 sayısının çarktaki karşılığı)

Ebeveyn1 olarak üçüncü birey seçilir. (0.3545 sayısının çarktaki karşılığı)

Olarak seçilir. Görüldüğü gibi bu yöntem ile uygunluk fonksiyonu değeri iyi olan beşinci birey iki defa seçilirken, uygunluk fonksiyonu değeri en kötü olan dördüncü birey seçilmeyerek neslini devam ettirme şansını kaybetmiştir. Seçilen bu bireyler

evrim teorisinin diğer aşamaları olan çaprazlama (üreme), mutasyon gibi işlemlerin ardından yeni popilasyon oluşacaktır.

Eğer uygunluk fonksiyonunun değeri çok fazla değişiyor ise bu seçim kriterinin güvenilirliği azalır. Örneğin birinci bireyin uyumluluğu en iyi ve değeri %95 (0.95) olsun neticede çarkın % 95 ini birinci birey oluşturacaktır Bu taktirde diğer popilasyon adımlarının seçilme şansı çok azalacaktır.

3.2.4.2.2. Turnuva seçim kriteri

Turnuva seçim yönteminde popilasyon içinden rast gele oluşturulan guruplardan, uygunluk fonksiyonu değeri en iyi olan bireyler bir sonraki popilasyonu oluşturmak amacı ile seçilirler. Gurupdan seçilmeyen bireyler başka bir guruba dahil olarak seçilme şansı ararlar. Böylece popilasyondaki tüm bireylerin seçilme şansı olmuş olur.[63,64] Kural dahilinde belirli sayıda birey gurubu popilasyon içerisinden rast gele seçilerek uygunluk fonksiyonu değeri büyük olan birey ebeveyn 1 olarak belirlenir. Küçük olanlar ise popilasyon içine geri gönderilir. Bu işleme gerekli sayıda ebeveyn çiftleri tamamlanan kadar devam edilir. Bu yöntemin avantajı herhangi bir bireyin seçim süreci sırasında kaybedilme olasılığı yoktur [65]. Popilasyon içindeki elit bireylerin dışında kalan tüm bireyler uygunluk fonksiyonu değerlerine göre yapılan turnuvalar neticesinde eşleşirler. Bu eşler çaprazlama ve mutasyon ile yeni popilasyonun bireylerini meydana getirirler.

3.2.4.2.3. Sıralı seçim kriteri

En iyi uygunluk değerine sahip olan popilasyon adımı % 90 gibi büyük bir orana sahip ise bu taktirde bir sonraki popilasyonu oluşturmak için seçim yapmak çok zor olacaktır. Diğer popilasyon adımları örneğin %5 , %3 , %2 gibi değerlerde olacaklardır. Böyle durumlarda çözüm için rank seçim kriterini kullanılması önerilir.. Bu yöntemin en büyük avantajı zayıf bireylere de seçilme şansı tanınmasıdır. Böylece güçlü bireylerin de nüfusa erkenden hakim olması da önlenmiş olmaktadır. Sıralı seçim yönteminde bireyler n den 1 e doğru sıralanır [66,67]. n popilasyondaki toplam birey sayısını göstermektedir. n . 'inci birey en iyi uygunluğa sahip iken

1. birey en kötü uygunluğa sahiptir. Bu sıralamanın dikkate alınması ile eşleşmeler gerçekleşir. Gerekli sayıda ebeveyn çifti elde edilir [60].

3.2.4.3. 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 algoritmada 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 tamamıyla çaprazlama sonucu elde edilir. Yeni nesil ebeveynlerinden farklı bir nesildir. Çaprazlamada amaç gen havuzundaki bireylerden genlerini değiştirerek değişik bireyler elde ederek daha iyi bireylerin oluşmasına olanak sağlamaktır. Genel olarak üç çeşit çaprazlama yöntemi kullanılır

3.2.4.3.1. Tek noktalı çaprazlama

Tek noktalı çaprazlamada her ebeveyn çifti için rast gele bir çaprazlama noktası seçilir. Bu noktadan sonraki genler yer değiştirerek çocuklar meydana gelir [61,68,69]. Bilgisayar programı ile 0-1 arasında rast gele n tane bir sayı belirlenir. n seçim yöntemi ile seçilen ebeveyn çifti sayısına eşittir

$$CN = rand * (\ell_i) - 1 \quad (3.9)$$

formülü yardımı ile çaprazlama noktası belirlenir. Formülde küsuratlı değer bir üst tam değere yuvarlanır. Denklem 3.9'da,

CN : Çaprazlama noktası,

$rand$: bilgisayarın ürettiği rast gele 0-1 arasında bir sayı

ℓ_i Ebeveyn çiftinden bir tanesinin toplam gen sayısını ifade etmektedir.

Çaprazlama işleminin yapılabilmesi için bilgisayara seçtirilen rast gele sayının çaprazlama oranı (ÇO)değerinden büyük olması gerekmektedir.

Örneğin bireyin gen sayısı 10 olsun . Bilgisayar programı rast gele 0.5576 sayısını seçsin, bu durumda çaprazlama noktası denklem 3.9 formülü ile , 4.4576 olarak bulunur. Çaprazlama noktası 5 olarak belirlenir, bu örnek için tek noktalı çaprazlama işlemi tablo 3.3’de verilmektedir. Tablo3.3’de görüldüğü gibi çaprazlama noktası 5 olduğundan, ebeveynlerin beşinci genden (bitten) sonra yer alan genler karşılıklı olarak yer değiştirilerek çocuklar meydana gelmektedir. Bu çocuklar mutasyona uğradıktan sonra yeni popülasyonun bireyleri olacaklardır.

Tablo3.3. Tek noktalı çaprazlama örneği

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

3.2.4.3.2. İki noktalı çaprazlama

İki noktalı çaprazlamada rast gele iki tane çaprazlama noktası seçilir. İki nokta arasındaki genler için gen takası işlemi yapılır [70,71]. Çaprazlama noktaları tek noktalı çaprazlama yönteminde olduğu gibi belirlenir.

Örneğin ebeveynlerden bir tanesinin gen sayısı 10 olan ebeveyn çifti arasında iki noktalı çaprazlama yapılmak isteniyor olsun. Çaprazlama noktaları denklem 3.9’a göre yapılan işlemlerden sonra 3 ve 7 olarak belirlendiği kabulü ile yapılan çaprazlama tablo3.4’de verilmektedir.

Tablo3.4. İki noktalı çaprazlama

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

3.2.4.3.3. Çok noktalı çaprazlama

Çok noktalı çaprazlama yöntemi, iki noktalı çaprazlamanın gelişmiş bir halidir [72]. tek noktalı çaprazlama yönteminde olduğu gibi fakat çok sayıda (ikiden fazla) çaprazlama noktası belirlenerek gen takası işlemi yapılır.

Örneğin ebeveynlerden bir tanesinin gen sayısı 10 olan ebeveyn çifti arasında çok noktalı çaprazlama yapılmak isteniyor olsun. Çaprazlama noktaları denklem 3.9'a göre yapılan işlemlerden sonra 2, 5 ve 8 olarak belirlendiği kabulü ile yapılan çaprazlama tablo 3.5'de verilmektedir.

Tablo 3.5. Çok noktalı çaprazlama

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

3.2.4.3.4. Düzenli çaprazlama

Çaprazlamanın nasıl olacağını belirleyen popilasyondaki bir bireyin bit sayısına eşit bit sayısı bulunan, elemanları 0 ve 1 'ler olan bir yönetici gen gurubu(mask) rast gele üretilir [73,74]. Düzenli çaprazlamada elemanları rast gele bilgisayar programı yardımı ile oluşturulan yönetici gen gurubu (mask), her ebeveyn çifti için ayrı ayrı üretilir. Örneğin seçim ile 10 tane ebeveyn çiftinin seçildiği bir popilasyonda düzenli çaprazlama yapılacak ise 10 tane yönetici gen gurubu üretilir.

Düzenli çaprazlamada mutasyondan sonra birey haline gelecek olan çocuklar şu şekilde oluşturulur;

İlk önce birinci çocuk sonra ikinci çocuğun oluşturulduğunu düşünelim. Yönetici gen gurubunun genlerinin 1 olduğu yerlerde, çocuğa anneden , 0 olduğu yerlerde ise babadan gen kopyalanır. Böylece birinci çocuk oluşturulmuştur. İkinci çocuğu oluşturmak için ise çocuğa yönetici gen gurubunun 1 olduğu yerlerde babadan, 0

olduğu yerlerde ise anneden gen kopyalanır [75]. Neticede iki yeni çocuk elde edilmiş olur. Diğer çaprazlama yöntemlerinde olduğu gibi üretilen çocuklar mutasyona uğradıktan sonra yeni popülasyonun yeni bireyleri olurlar. Tablo3.6’da düzenli çaprazlama örneği verilmektedir.

Tablo 3.6. Düzenli çaprazlama

Referans Birey	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
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	0	1	0	1	0	0	0	1
Çocuk 2	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0

3.2.4.4. Mutasyon

Bu yöntemin amacı , seçim ve çaprazlama işlemi gerçekleştikten sonra popülasyon adımlarındaki genlerin bir veya birkaçının değiştirilmesi işlemidir. Mutasyon işlemi tamamen rast gele yapılır. Mutasyon gerçekleşmez ise seçim ve çaprazlama sonucu popülasyonda bulunan bazı iyi özellikler zamanla kaybolabilir veya bir süre sonra üretilen çocuklar ebeveynlerinin kopyası olabilirler [76]. Bunun sonucunda yeni bireylerin üretilmesi durabilir.

Mutasyona uğrayacak gen sayısı mutasyon oranına bağlıdır .Mutasyon oranı % 100 ise seçim ve çaprazlama ile oluşan yeni neslin tüm genleri tamamen değişir. Bu oranın %1 ile %5 arasında seçilmesi tavsiye edilmektedir. %1 seçilir ise gen havuzunda bulunan toplam gen sayısının % 1’i rast gele değişecektir.

Mutasyon işlemi ters çevirme, ekleme, yer değişikliği, karşılıklı değişim olarak çeşitli şekillerde gerçekleştirilir

Ters çevirme mutasyonu işleminde popülasyon içinden rast gele seçilen bazı gen grupları ters çevrilir.

Ekleme mutasyonu işleminde popilasyon içerisine rast gele bir grup genler serpiştirilir. Serpiştirilen genlerin isabet ettiği yerlerdeki genler serpiştirilen genin çeşidine göre (0 veya 1) değişir veya değişmez.

Yer değişikliği mutasyonu işleminde bazı çocukların bazı grup genleri karşılıklı olarak yer değiştirir.

Karşılıklı değişim mutasyonunda ise grup şeklinden ziyade tek tek rast gele bazı çocukların bazı genlerinin karşılıklı yer değiştirmeleri işlemidir.

Tüm mutasyon işlemi çeşitlerinde temelde yapılan iş aynıdır. Bu iş popilasyon içinde rast gele bazı genlerin değiştirilmesi işlemidir. İkilik sayı sistemi ile kodlama yapıldığında değiştirme işlemi 0 olan genin 1 ve 1 olan genin 0 olması şeklinde gerçekleştirilir [77].

Mutasyon işlemine örnek aşağıda 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
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

3.3. Genetik algoritmanın sonlandırma şartları

Her generasyon için hesaplana uygunluk fonksiyonu değerlerine göre genetik algoritma operatörlerinin kullanımı ile yeni bir popilasyon elde edilir. Bunun anlamı her generasyonda popilasyonun birey sayısı kadar çözüm elde edilmesidir. Olabilecek en iyi çözüm bulunduğunda daha iyi bir çözüm olmadığından generasyon sayısı kaç seçilir ise seçilsin genetik algoritma artık sürekli aynı çözümleri verir. Bu özellik algoritmanın sonlandırma şartı olarak generasyon sayısı seçilmesinde kullanılır. Algoritma birkaç defa değişik generasyon sayılarında çalıştırılır ve buna

göre gerekli generasyon sayısı belirlenir. Başlangıçta belli bir generasyon sayısı seçilir bu sayıya ulaşıldığında genetik algoritma çalışması sona erer.

Genetik algoritmayı sonlandırma kriteri olarak, algoritmanın çalışma süresi seçilebilir. Başlangıçta belirlenen çalışma süresi dolduğunda genetik algoritma son çözümlerini verir ve çalışması son bulur.

Genetik algoritmanın belirli bir zaman diliminde sürekli aynı sonuçları vermesi, bu zaman diliminde yeni çözümler sağlayamaması da sonlandırma şartı olarak seçilmektedir.

BÖLÜM 4 . GERİLİM KARARLILIĞI KRİTİK DEĞERLERİNİN BELİRLENME YÖNTEMLERİNİN İNCELENMESİ

4.1. Giriş

Bir iletim sisteminin kararlı halde çalışabilmesi için bazı sınır değerlerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Bu sınır değerler, hat sonundan çekilebilecek en büyük aktif güç değeri ve bu güce karşılık gelen hat sonu gerilim genlik ve açı değerleridir. Güç sisteminde yük barasının çektiği aktif güç değerinde bir artma söz konusu olursa bu durumda aynı yük barasının gerilim genlik değerinde de bir miktar azalma görünür. Güç sisteminde bu durum yük baralarındaki aktif güç değişimi ile gerilim genlik değerinin değişimini gösteren P-V eğrileri ile açıklanır. Yük barasının alabileceği en büyük aktif güç değeri ve bu değeri aldığı anda sahip olduğu gerilim genlik değeri kritik değerlerdir. Kritik değerlerin aşılması halinde güç sisteminin gerilim kararlılığı bozulur. Bu değerler P-V eğrisinde tekil çözümünün olduğu noktada bulunan aktif güç ve gerilim genlik değerleridir. Bir eğrinin tekil noktası o eğrinin matematiksel denkleminin türevinin sıfır olduğu noktadır. Newton metodu ile yük akışı yapılırken, bu nokta bulunmak istenirse denklemlerin değişkenlerine göre türevlerinin meydana getirdiği jakobiyen matrisin determinantının sıfır olduğu nokta aranmalıdır [11,78].

Genel olarak iletim sisteminin kritik noktaları V_{rkrt} , P_{rkrt} , δ_{rkrt} sembolleri ile ifade edilir. Burada V_{rkrt} yük barasının alabileceği en küçük gerilim genlik değerini, P_{rkrt} yük barasının alabileceği en büyük aktif güç değerini, δ_{rkrt} ise yük barasının aktif güç ve gerilim için kritik değerlerini aldığı andaki açı değerini göstermektedir. Güç sisteminin kararlı olup olmadığını yorumlayabilmek için kritik değerlerin bulunması önemlidir. Yapılan çalışmalarda bu değerler genel olarak iki farklı yöntem ile belirlenmektedir. Bu çalışmada ise genetik algoritma metodu üçüncü bir yöntem olarak önerilmektedir.

Güç sisteminin kritik değerlerinin belirlenmesinde kullanılan birinci yöntem P-V eğrisi yöntemidir. Bu yöntemde, yük barası için gerilim ve aktif güç arasındaki ilişkiyi ifade eden matematiksel denklem elde edilir. Belirli artım adımları ile yük barasının aktif güç değeri arttırılması ile, her bir aktif güç değerine karşılık gelen gerilim genlik değerleri hesaplanır. Elde edilen değerler kullanılarak, uygun bir bilgisayar programı ile güç sisteminin P-V eğrisi çizdirilir. Bizzat eğri üzerinden değerlerin okunması ile kritik değerler bulunur. P-V eğrisinde her aktif güç değerine karşılık iki adet gerilim değeri mevcuttur. Öyle bir nokta vardır ki, bu noktadaki aktif güç değerine karşılık bir tane gerilim genlik değeri vardır. Bu nokta tekil çözümün sağlandığı noktadır. Tekil çözüm durumunda denklemin kökleri çakışıkır. Çakışık kök çözümü veren noktaya kritik nokta denir. Kritik noktadaki aktif güç ve gerilim değerleri sistemin kararlı kalmasını sağlayabilecek sınır değerler olan kritik değerlerdir. Yük barası aktif güç değeri, kritik değerinin üzerinde bir değer alır ise bu durumda yük barası gerilim değeri de kritik değerinin altına düşer. Güç sisteminin bu değerler ile çalışması halinde sisteme gereken sürede müdahale edilemez ise gerilim kararlılığı bozulur ve sistemde gerilim çökmesi söz konusu olabilir.

İkinci yöntem formül yöntemidir. Bu yöntemde yük akışı verilerinin yük barasının aktif ve reaktif güç denklemlerinde kullanılması söz konusudur. Bu denklemlerin değişkenlerine göre türevlerinden oluşan Jakobiyen matrisin tekilliğinden hareket ile elde edilen kritik değerler formüllerinin kullanılması ile güç sisteminin kritik değerleri bulunabilir.

Bu çalışmada yeni bir yöntem olarak güç sisteminin kritik değerleri genetik algoritma yöntemi ile bulunmaktadır. Bu yöntem bir matematiksel yöntem değildir. Evrim mekanizmasını taklit etmek sureti ile sürekli iyiye doğru giden çözümlerin sağlandığı bir biyolojik arama yöntemidir. Genetik algoritma ile çözümde yük barasının aktif güç denkleminin değişkenleri göz önünde bulundurularak, olabilecek en büyük değeri aranır. Yük barsının en büyük aktif güç değeri bulunduğu anda bu değer kritik güç değeridir. En büyük aktif güç değerinin elde edildiği denklemin değişkenleri olan gerilim ve açı değerleri de kritik gerilim ve kritik açı değeri olarak elde edilmiş olur.

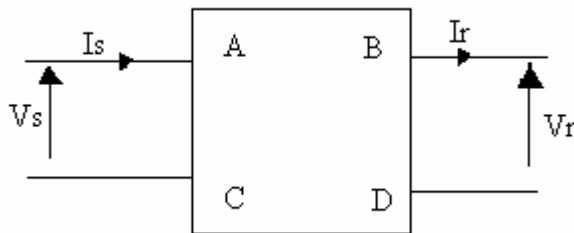
Aşağıda güç sisteminin kritik değerlerinin bulunmasını sağlayan bu üç yöntem ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

4.2. P-V Eğrisi Üzerinden Kritik Değerlerin Belirlenmesi

Sabit güç katsayısı altında hat başı gerilimi belirli bir değerde sabit tutularak, hat sonunda yük barasından çekilen aktif güç değeri sıfırdan itibaren kademe kademe artırılması ile hat sonu yük barasının gerilim genlik değerinin değişiminin gözlemlendiği, P-V eğrisi sayesinde güç sisteminin kritik değerleri belirlenebilir.

Bu yöntemin amacı, güç sisteminde yük baraları için P-V eğrilerini elde etmek ve bunun neticesinde sistemin kritik değerlerini, eğri üzerinde en büyük aktif güç değerinin işaretlenmesi yoluyla belirlenmesidir. P-V eğrilerinin çizdirilebilmesi için hat sonu gerilimi ile hat sonu aktif güç değeri arasındaki ilişki $ax^2 + bx + c = 0$ şeklinde ikinci dereceden bir denklem olarak elde edilmeye çalışılır. Bu denklemin hazırlanması için gerekli hat parametreleri hesaplanır ve sabit kabul edilir. Ayrıca bazı parametre değerleri de yük akışı verilerinden alınır. Denklemin belirlenmesi neticesinde bu denklem uygun bir bilgisayar programlama dili ile yazılan program sayesinde, eğri şeklinde çizdirilir. Elde edilen P-V eğrisi üzerinde artık gerekli yorumlar yapılabilir.

Şekil 4.1 de gösterildiği gibi iletim hattı iki kapılı bir devre olarak göz önüne alındığında, P-V eğrilerinin elde edilmesi için, hat sonu yük barasının aktif gücü ile gerilim genlik değeri arasındaki ilişkiyi ifade eden denklemin elde edilmesi aşağıda detaylı bir şekilde verilmektedir



Şekil 4.1. İletim hattının iki kapılı devre olarak gösterilmesi

V_s, I_s : Generatör barası gerilimi ve akımı

V_r, I_r : Yük barası gerilimi ve akımı

A, B, C, D : Uzun iletim hattı sabitleri olmak üzere[80,81,82,83],

$$A = a_1 + j*a_2 \quad (4.1)$$

$$B = b_1 + j*b_2 \quad (4.2)$$

$$C = c_1 + j*c_2 \quad (4.3)$$

$$D = d_1 + j*d_2 \quad (4.4)$$

$$|A|^2 = a_1^2 + a_2^2 \quad (4.5)$$

$$|B|^2 = b_1^2 + b_2^2 \quad (4.6)$$

$$V_r = V_{r1} + j*V_{r2} \quad (4.7)$$

$$V_r^* = V_{r1} - j*V_{r2} , \quad (4.8)$$

$$|V_r|^2 = V_{r1}^2 + V_{r2}^2 \quad (4.9)$$

olarak ifade edilirler. Şekil 4.1 'de gösterilen modele göre güç sisteminin bilinen,

$$V_S = A*V_r + B*I_r \quad (4.10)$$

Denklemleri elde edilir. S_r, P_r, Q_r güç sisteminin görünür aktif ve reaktif güç değerlerini ifade etmek üzere,

$$S_r = P_r + jQ_r = V_r^* I_r \quad (4.11)$$

Denklemini elde edilir [84]. Yukarıdaki denklemlerin kullanılması ile gerekli işlemler ve düzenlemeler yapıldığında denklem 4.12 elde edilir. Yapılan tüm ara işlemler ek A'da verilmiştir.

$$|A|^2 * |V_r|^4 + [2 * P_r * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2) + 2 * Q_r (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)] * |V_r|^2 + |B|^2 * (P_r^2 + Q_r^2) = 0 \quad (4.12)$$

çalışmalar sabit güç katsayısı ile yapıldığından,

$$\cos \varphi = \frac{Q_r}{S_r} \quad (4.13)$$

denklemini sabit kalmaktadır.

$$\tan \varphi = \frac{Q_r}{P_r} \quad (4.14)$$

denkleminde,

$$Q_r = P_r * \tan \varphi \quad (4.15)$$

Eşitliği elde edilir. Bu eşitlik denklem 4.12'de yerine yazılır ise yük barası aktif güç ile gerilim genlik değeri arasındaki ilişki kurulmuş olur.

$$|V_r|^4 = (|V_r|^2)^2 \text{ olduğundan,}$$

$$|V_r|^2 = X \quad (4.16)$$

şeklindeki bir değişiklik denklem 4.12'nin,

$$a * X^2 + b * X + c = 0 \quad (4.17)$$

formatında bilinen ikinci dereceden bir denklem olarak daha rahat bir şekilde görünmesini sağlayacaktır. Bu ikinci dereceden denklemin a , b , c katsayıları ,

$$a = |A|^2 \quad (4.18)$$

$$b = [2 * P_r * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2) + 2 * P_r * \tan \varphi (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)] \quad (4.19)$$

$$c = |B|^2 * (P_r^2 + (P_r * \tan \varphi)^2) \quad (4.20)$$

olarak ifade edilir. İkinci dereceden denklem yaygın olarak bilinen çözüm yöntemi ile çözülür. İkinci dereceden denklemin kökleri ,

$$\Delta = b^2 - 4 * a * c \quad (4.21)$$

$$V_{r1} = \sqrt{\frac{-b + \sqrt{\Delta}}{2 * a}} \quad (4.22)$$

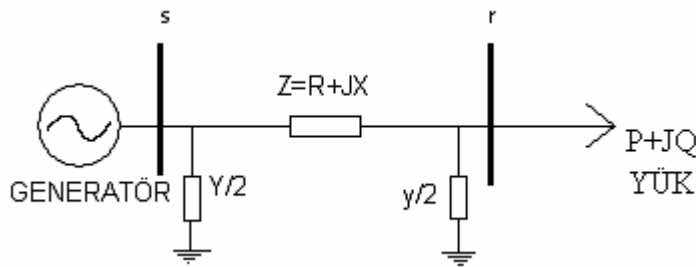
$$V_{r2} = \sqrt{\frac{-b - \sqrt{\Delta}}{2 * a}} \quad (4.23)$$

denklemleri ile bulunur [11,13,85,86]. Güç sisteminde yük barasının aktif güç değeri, düzenli olarak kademeli bir şekilde arttırılması ile ikinci dereceden denklem her defasında çözülerek denklemin V_{r1} ve V_{r2} kökleri hesaplanır. Bu değerlerin bir bilgisayar programı ile eksenlerden biri aktif güç değerini diğeri gerilim genlik değerini göstermesi şartı ile, bir eğri şeklinde çizdirilmesi sonucunda yük barasının P-V eğrisi elde edilmiş olur. Bu eğri üzerinden güç sisteminin kritik değerleri belirlenebilir. Yük barasının aktif güç artımları ile V_{r1} ve V_{r2} değerleri hesaplanırken, $V_{r1}=V_{r2}$ durumu söz konusu olduğu durumda, yük barasının

çekebileceği en büyük aktif güç değeri bulunmuş olur. Yük barasının en büyük aktif güç değeri ile bu değeri aldığı andaki gerilim genlik değeri bir güç sisteminin kararlılık sınırları olan kritik değerleridir. Aşağıda bu durumu sayısal bir örnek ile açıklamaya çalışalım.

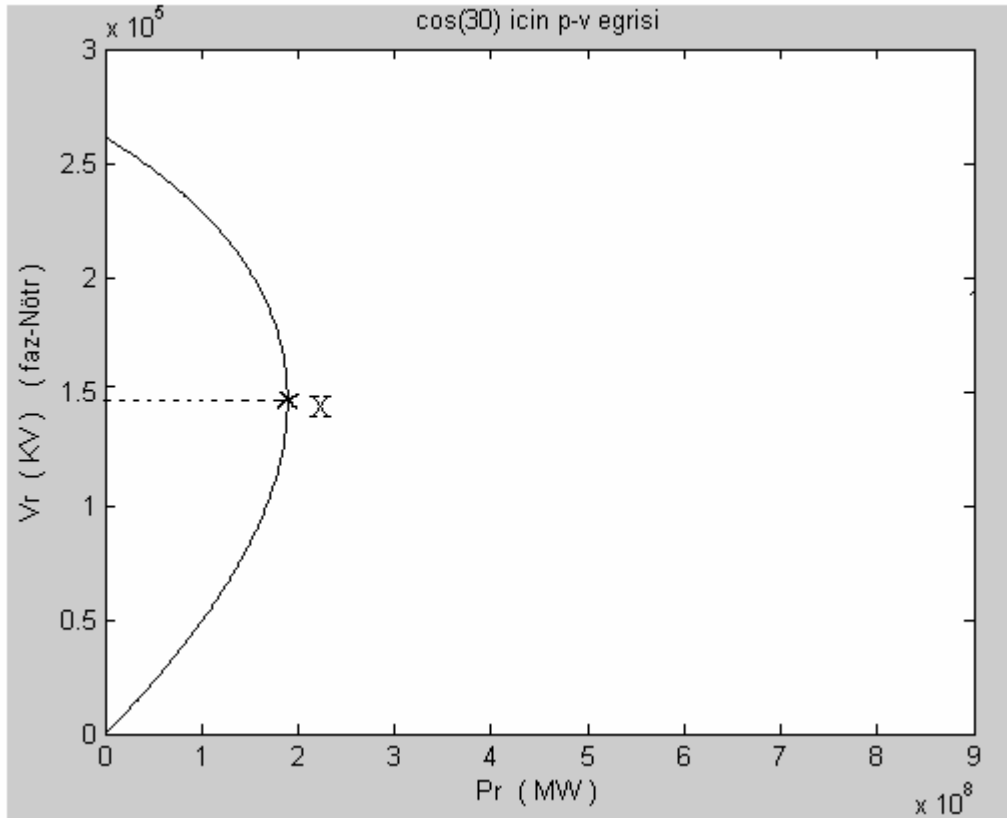
Örnek 4.1. : Bu örnekte, Keban–Kayseri-Ankara 380 KV enerji iletim hattı örnek güç sistemi modeli için kritik değerlerin belirlenmesi amacı ile sistemin P-V eğrisi çizdirilmekte ve sistemin kritik değerleri eğri üzerinden elde edilmektedir. Örnek güç sistemi dataları Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)'nin ilgili hat için bildirdiği datalardır [11]. Örnek iletim hattı dataları şu şekildedir ;

Hat uzunluğu(ℓ)	550 km
Hat başı gerilimi (V_s)	380 KV(fazlar arası) , 220 KV (faz nötr)
Hattı Frekansı (f)	50 Hz
Hattın omik direnci(R)	0.0173 Ω /km
Hattın endüktif reaktansı (X)	0.157 Ω /km
Hattın Şönt Kapasitesi (Y)	$6.9 \cdot 10^{-6}$ S/km



Şekil 4.2. P-V eğrisi çizdirilecek örnek güç sistemi

Şekil 4.2’de belirtilen örnek iletim sistemi modelinde için yukarıda verilen hat datalarının kullanılması ile 30 derecelik sabit güç açısı durumunda bilgisayar programı ile çizdirilen P-V eğrisi şekil 4.3’de verilmektedir. Program kodları ek D’de verilmektedir. Şekil4.3’de görüldüğü gibi, güç sisteminin kritik değerleri P-V eğrisinin tekil çözüm sağladığı maksimumu aktif güç noktasının işaretlenmesi ile elde edilmektedir.



Şekil 4.3. Keban-Kayseri-Ankara iletim hattı datalarına göre çizdirilen P-V eğrisi

Yukarıda değerleri verilen örnek güç sistemi için çizdirilen ve şekil 4.2’de gösterilen P-V eğrisi incelenecek olursa, P_{rkrt} , V_{rkrt} kritik aktif güç ve kritik gerilim genlik değerini ifade etmek üzere, eğrinin çakışık kök noktasındaki kritik değerleri,

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

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

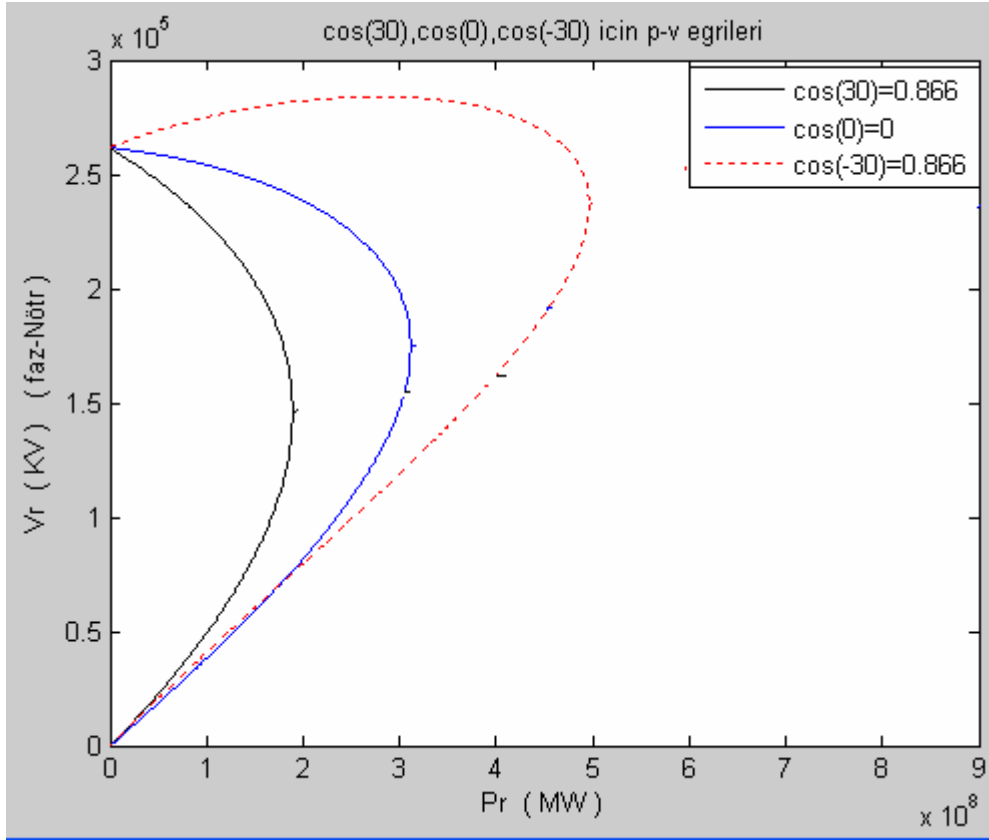
$$V_{rkrt} = 253.57 \text{ KV (fazlara arası)}$$

Olarak eğri üzerinden belirlenir. P-V eğrisi üzerinde işaretlenen X noktası güç sisteminin gerilim kararlılığı açısından kritik noktasını göstermektedir [87]. Yük barası geriliminin faz-nötr arası değeri, X noktasında 146.4 KV olarak okunmaktadır. Yük barası gerilimi bu kritik değerinin altına düşer ise gerilim kararsızlığı söz konusudur [88].

Güç sisteminde karalılık sınırı değerlerinin belirlenebilmesi amacı ile P-V eğrileri elde edilirken, eğri denklemi içerisinde bulunan bazı büyüklüklerin etkilerini bu eğriler üzerinde açıkça görmek mümkündür. Bu etkiler güç faktörünün etkisi, hat uzunluğunun etkisi, hat başı geriliminin etkisi, paralel hat sayısının etkisi, hat kayıp faktörünün etkisi, seri ve şönt kompanzasyonların etkileri olarak ana guruplarda toplanabilirler [11]. Gerilim kararlılığı açısından bu etkilerin ayrıntılı olarak incelenmesi gerekmektedir. Yukarıda belirtilen değişik durumların güç sisteminin kritik değerleri üzerindeki etkileri aşağıda P-V eğrisi yöntemi ile incelenmektedir.

4.2.1. Güç faktörünün etkisi

Örnek 4.1’de $\varphi=30^0$ ve güç faktörü 0.866 değerinde sabit tutulmak şartı ile yük barasının gücü kademe kademe arttırılarak her bir durum için V_{r1} , V_{r2} değerleri hesaplanmış, bu değerlerin bir eksen takımı üzerinde gösterilmeleri neticesinde şekil 4.3’deki P-V eğrisi elde edilmişti. Tek bir güç açısı yerine, $\varphi=0^0$, $\varphi=30^0$, $\varphi=-30^0$ gibi değişik güç açısı değerleri dikkate alınması durumlarında, farklı güç faktörleri değerleri olan, $\cos\varphi=1$ (omik), $\cos\varphi=0.86$ (endüktif) ve $\cos\varphi=0.86$ (kapasitif) değerleri için yük barasının P-V eğrileri çizdirildiğinde, şekil 4.4’de gösterilen P-V eğrileri elde edilmektedir..

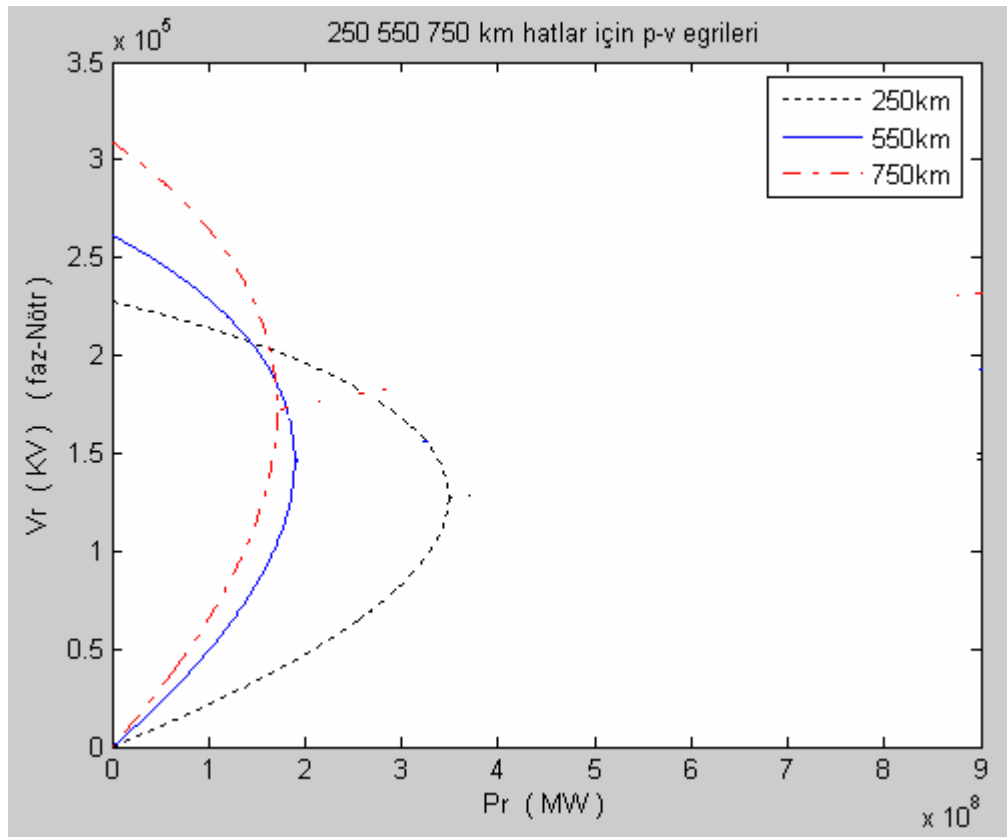


Şekil 4.4. Değişik güç katsayıları için P-V eğrileri

Elde edilen P-V eğrilerinden, güç faktörünün endüktif durumdan kapasitif duruma doğru gitmesi ile birlikte kritik değerlerin arttığı görülmektedir [89]. Bu durum iletim hattındaki aktif güç transferi için olumlu bir durum olarak görülmesinin yanında yük barasının kritik gerilim değerinin de artması nedeni ile gerilim kararlılığı açısından olumsuz bir durumdur. Şekil 4.4’de gösterilen P-V eğrileri incelendiğinde, yük barasının aktif güç değeri değişmeden yük barasına bağlı bulunan yükün güç katsayısı büyüdüğünde veya endüktif değerden kapasitif değere doğru geçtiğinde yük barasının gerilim değerinin de arttığı görülmektedir. Bu durum güç sistemine bağlı yüklerin güç katsayılarının belirli sınırlar içinde tutulması mecburiyetini göstermektedir. Güç katsayısının belili sınırlar dışına çıkması durumunda gerilim kararlılığı açısından güç sistemine kontrol sistemi tarafından müdahale edilmesi ve böylece yük barası gerilim değerinin istenilen seviyede tutulması gereklidir.

4.2.2. Hat uzunluğunun etkisi

İletim hattının omik ve endüktif reaktansı ohm/km, süsaptansı ise S/km (kondüktans ihmal) olarak verildiğinden iletim hattının uzunluğunun değişmesi, hattın A B C D sabitlerinin değişmesine sebep olur. Hat sabitleri değişen güç sisteminde, P-V eğrisi dolayısı ile kararlılık sınırlarını veren kritik nokta değişir. Bu durumu incelemek amacı ile örnek 4.1’de değerleri verilen, $\cos\phi = 0.866$ sabit güç katsayısı altında endüktif özellikli, üç farklı hat uzunluğuna sahip güç sisteminin P-V eğrileri şekil 4.5’de verilmektedir. Kararlılık açısından hat uzunluğu değiştirilerek sistemin kritik değerlerinin değiştirilmesi sonradan pek mümkün değildir. Bu sebeple güç sisteminin tasarımı aşamasında özellikle güzergah seçiminde, hat uzunluğunun kritik değerler üzerindeki etkisinin incelenmesi gereklidir.



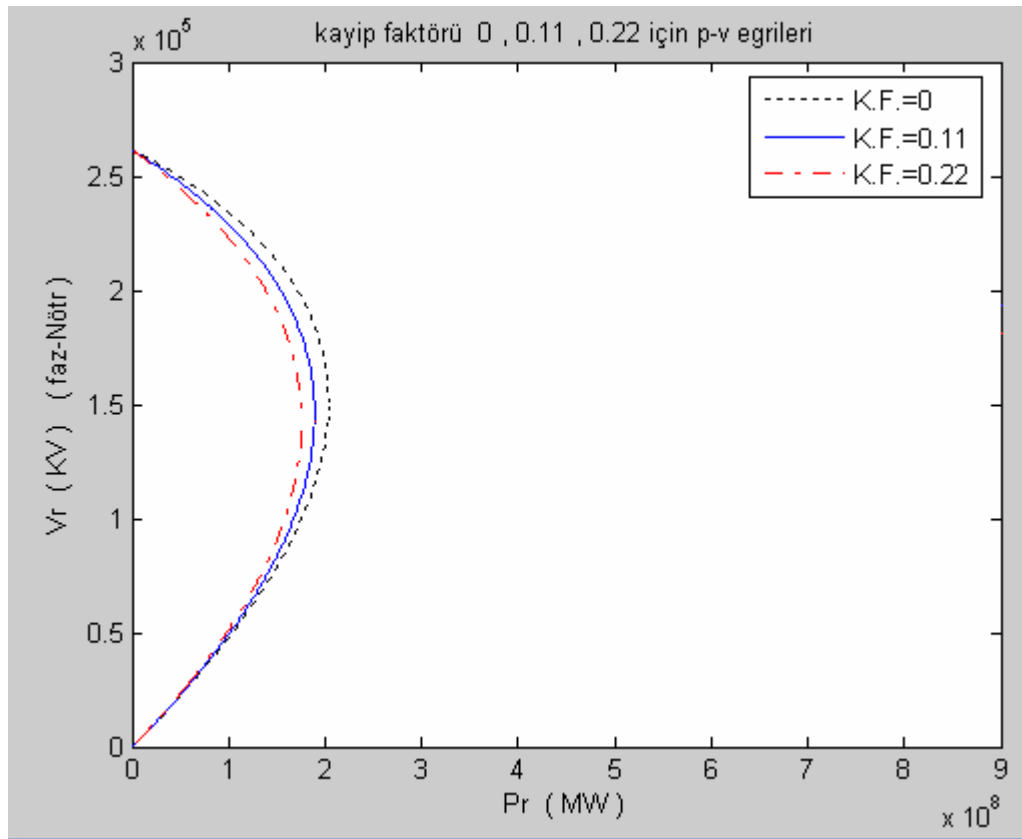
Şekil 4.5. Değişik hat uzunlukları için P-V eğrileri

Şekil 4.5’de görüldüğü gibi hat uzunluğunun artması gerilim kararlılığı açısından olumsuz bir durumdur. Kısa iletim hattı, uzun iletim hattına göre gerilim kararlılığı açısından daha kararlıdır.

4.2.3. Hat kayıp faktörlerinin etkisi

Bir iletim hattında hattın omik direncinin endüktif direncine oranına hattın kayıp faktörü denir. Kayıp faktörü sıfır olan bir iletim hattının omik direnç değeri de sıfırdır. Hattın kayıp faktörünün değişmesi hattın omik direncinin endüktif direncine oranını dolayısı ile hattın A, B, C, D sabitlerinin değişmesine sebep olmaktadır. Bu durumda güç sisteminin kritik değerlerinde de değişme söz konusudur.

Örnek 4.1'deki hat bilgileri kullanılması ile güç sisteminin kayıp faktörünün 0, 0.11 ve 0.22 olması durumlarındaki P-V eğrileri şekil 4.6' da görüldüğü gibi olmaktadır.

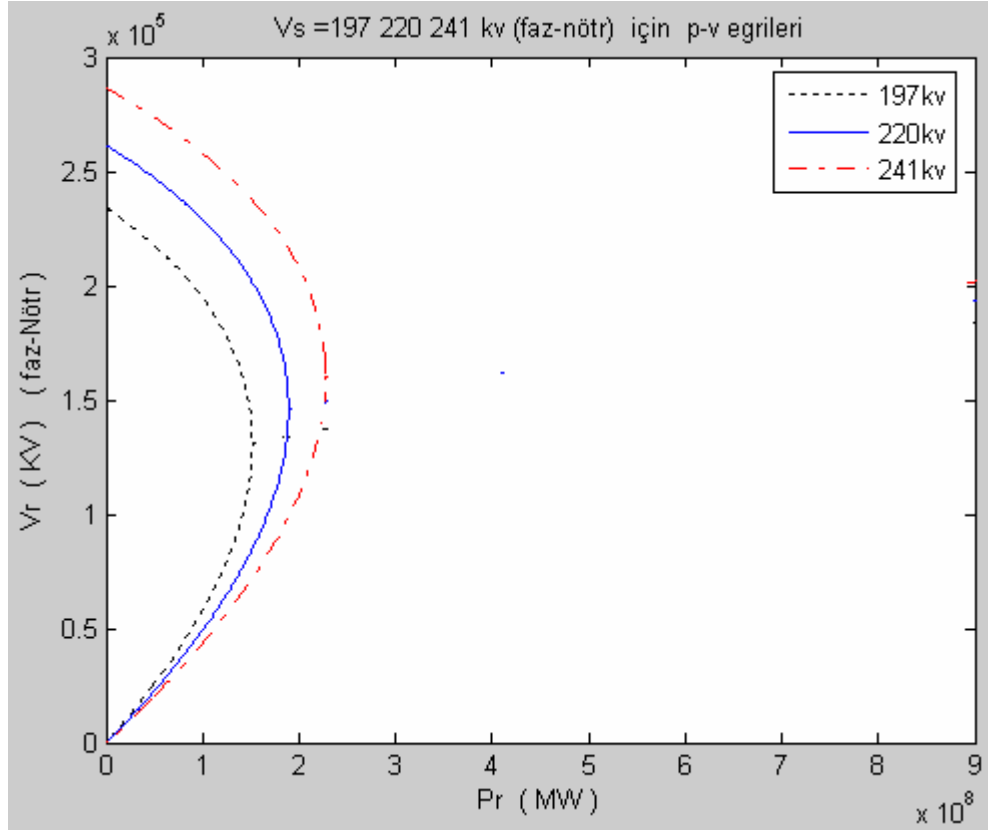


şekil 4.6. Değişik kayıp faktörleri için P-V eğrileri

Kayıp faktörünün büyümesi gerilimin kritik değeri açısından olumlu olmasına karşılık, kritik yük gücü değeri için olumsuz bir durum oluşturduğu şekil 4.6'da görülmektedir.

4.1.4. Hat başı geriliminin etkisi

Örnek 4.1 deki verilerin kullanılması ile hat başı gerilimi %10 adımlar ile artması neticesinde güç sisteminin kararlılık değerlerinin değişimi şekil'4.7'de verilmektedir.



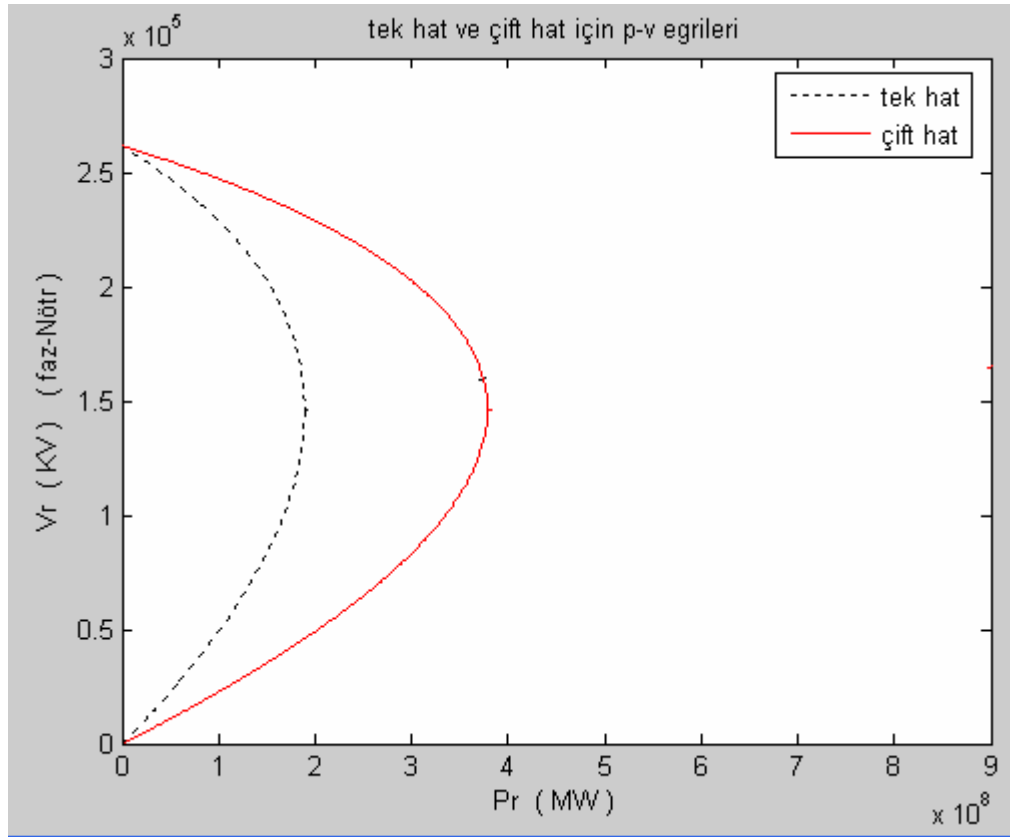
Şekil 4.7. Değişik hat başı gerilimleri için P-V eğrileri

Hat başı geriliminin artmasının kritik değerlerin de artmasına sebep olduğu şekil 4.7'de verilen P-V eğrilerinden açıkça görülmektedir. Sistemde herhangi bir nedenle gerilim kararsızlığı sonucunda bir çökme meydana gelmesi durumunda hat sonu gerilimini büyütmek amacı ile hat başı geriliminin genliği arttırılabilir. Bu durumda hattan çekilen aktif güç değerinin değişmediği düşünülür ise hat sonundaki yük barasının geriliminin daha da düşeceği şekil 4.7'de P-V eğrisi üzerinden görülmektedir. Buradan yük altında kademe değiştiren trafoların, gerilimin azalması durumunda kademe arttırılması neticesinde hat sonu geriliminin daha da azalmasına neden oldukları sonucu çıkmaktadır. Güç sistemi çok hızlı değişime sahip bir bozucu

etkiye maruz kaldığında kademe değiştiricilerin yavaş cevap vermeleri gerilim kararlılığını sağlamada yetersiz kalmaktadır [90,91].

4.2.5. Kullanılan paralel hat sayısının etkisi

İletilecek enerjinin büyüklüğü, güvenilirliği, işletme zorluğu v.b. nedenler ile üretim ve tüketim merkezleri arasında birden fazla sayıda paralel iletim hattı kurulması gerekli olmaktadır. Aynı özelliklere sahip paralel iki hat için örnek 4.1'deki verilere göre P-V eğrisi değişimleri şekil 4.8'de görölmektedir.



Şekil 4.8. Paralel Tek ve çift hatta sahip güç sistemleri için P-V eğrileri

Güç sistemi tek yerine çift hat yapıldığında kritik gerilim değeri pek değişmezken kritik güç değeri neredeyse iki kat artmaktadır. 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.

Hattın şönt kapasitesinin de yarıya düşmesi gerilim kararlılığı açısından olumsuz bir durumdur.

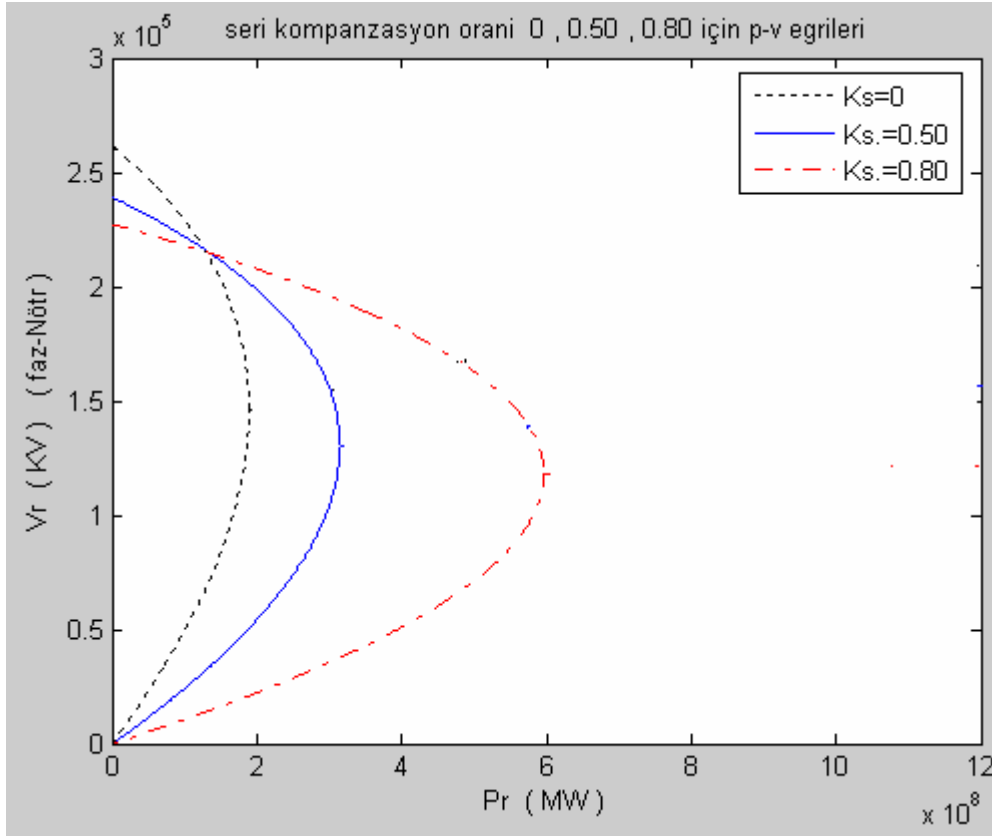
4.2.6. Seri kompanzasyonun etkisi

Enerji iletim sistemine bağlanacak seri kapasitif eleman ile hattın endüktif reaktansının hat gerilimi üzerindeki etkisi azaltılmaya veya tamamen yok edilmeye çalışılır. Seri kompanzasyon yapılması ile güç sisteminin kritik değerlerinde de değişimler olur [92]. K_s , seri kompanzasyon oranını ifade etmek üzere, seri kompanzasyon yapılması durumunda, iletim hattının empedansı,

$$Z = R + j(1 - K_s) * X \quad (4.24)$$

Olarak değişir [93]. Dolayısı ile, seri kompanzasyon ile güç sistemindeki iletim hattının A, B, C, D katsayıları değişir. Sistemin kararlılık değerleri de değişir. Bu durumu ifade eden P-V eğrileri şekil 4.9’da gösterilmektedir.

Güç sisteminde seri kompanzasyon, seri kompanzasyon yüzdesi ifadesi ile belirtilmektedir. Seri kompanzasyon ile denklem 4.24’de belirtildiği gibi hattın endüktif reaktansı bağlanan seri kapasitans ile seri olacağından toplam reaktans bunların farkı olacaktır. % 50 seri kompanzasyon dendiğinde hattın endüktif reaktans değerinin yarıya düşürüleceği anlaşılır. Seri kompanzasyon yüzdesi için pratik üst limit % 80 dir.[65] 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.



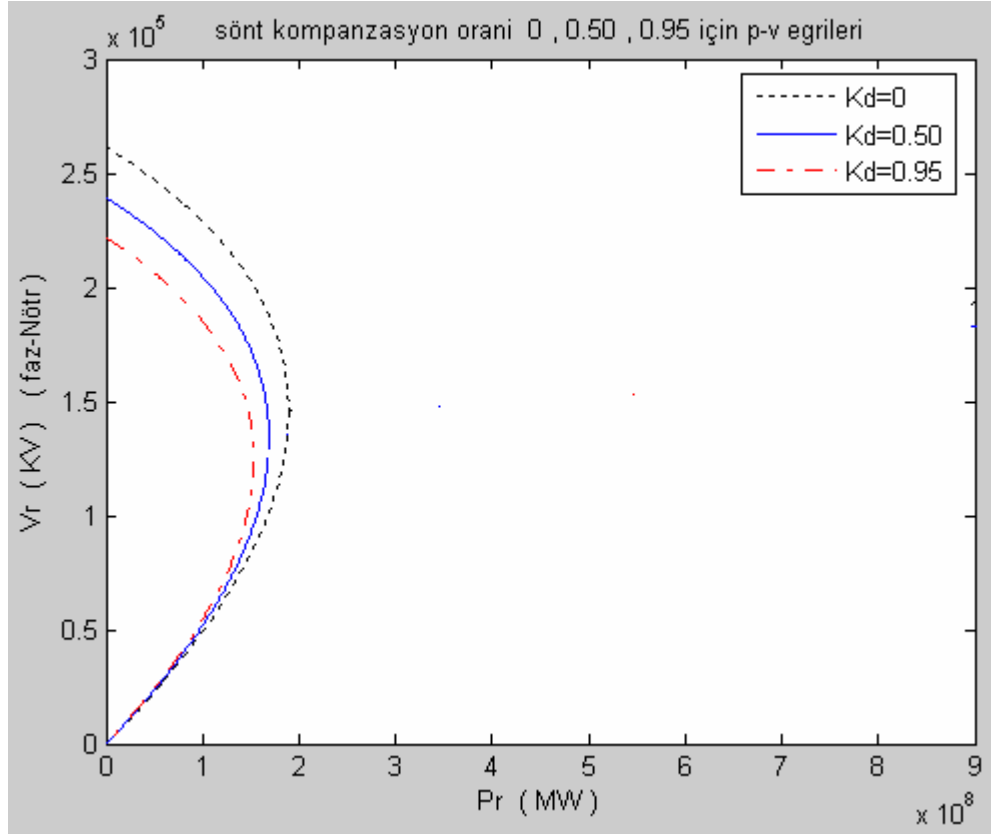
Şekil 4.9 Değişik seri kompanzasyon oranları için P-V eğrileri

4.2.7. Şönt kompanzasyonun etkisi

Bir güç sisteminde şönt kompanzasyonun dikkate alınmadığı durumda, boşa çalışan iletim hattının yük barası gerilimi kararlı halde en yüksek değerine çıkar. Açma kapa 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 şönt reaktörler konulur. Bu reaktörler genellikle iletim hattının ucuna direk faz nötr arasına bağlanır[94] Şönt reaktörler iletim hattının y sabitini şönt kompanzasyon oranında azaltırlar K_d şönt kompanzasyon oranını ifade etmek üzere, şönt kompanzasyon ile hattın şönt kapasitesi,

$$Y_y = (1 - K_d) * Y \quad (4.25)$$

Olarak değişir. Şönt kompanzasyon oranı (K_d) yüzde olarak ifade edilir. Değişik şönt kompanzasyon yüzdeleri için P-V eğrilerinin değişimi şekil 4.10'da gösterilmektedir.



Şekil 4.10. Değişik şönt kompanzasyon oranları için P-V eğrileri

4.3. Formül Yöntemi İle Kritik Değerlerin Belirlenmesi

Sürekli hal gerilim kararlılığı sınır değerlerinin hesaplanması güç sistemi gerilim kararlılığı çalışmaları için çok önemlidir [95]. Güç sisteminden çekilen aktif güç değerinin değişmesi ile gerilim değeri de değişmektedir. Bu durum P-V eğrileri ile ifade edilir. P-V eğrilerinde her güç değeri için gerilimin iki tane değer aldığı görülür. Belirli bir aktif güç değerine karşılık gerilimin tek değer aldığı noktaya tekil nokta denir. Tekil nokta güç sistemi denklemlerinin lineerleştirilmesi ile matematiksel yöntemlerin kullanılması neticesinde elde edilen kritik değer formülleri ile bulunabilir. Güç sisteminde tekil noktalar güç akışında kullanılan jakobiyen matrisin tekil olduğu durumdaki değerlere bakılması sureti ile bulunur [96,97]. Tekil noktalar kararlılık sınırını oluşturur. Aktif güç değeri daha da büyür ise bir gerilim

kararsızlığı oluşur. Bu durumda yük baralarının gerilim genlik ve faz açısı generatör barası faz açısındaki değişimleri takip edemez. Pratik olarak çalışması mümkün olmayan düşük gerilimli bir denge noktasına ulaşma söz konusu olabilir. Tekil noktaların bilinmesi gerilim kararlılığı değerlendirmelerinde çok önemlidir [98].

Güç sisteminin sürekli hal çalışma sınır değerlerinin belirlenmesi için yapılan çalışmalar lineer olmayan dinamik sistemin kararlılık çalışmalarıdır [99]. Güç sistemi dinamikleri diferansiyel denklemler ile modellenir. Dinamiklerin etkisi son derece hızlı ise değişen durumlar arasında en iyi yaklaşımı veren bir cebirsel bağlantı kurulmaya çalışılır.

Gerilim kararlılığı dinamik bir olay olmasına rağmen bir çok uygulamalarda sürekli hal çalışma analiz metotları kullanılır. Gerilim kararlılığının statik ve dinamik yöntemler ile açıklanması geçici bir bozucu etki süresince gerilim kararsızlığı oluşmadığında birbirlerine çok yakın yöntemlerdir [29]. Sürekli hal gerilim kararlılığı çalışmalarında, yük akışı denklemleri sistemi ifade etmek amacı ile kullanılır. Bu çalışmalarda yük dinamiklerinin devre dışında kaldığı ve tüm kontrol sistemlerinin görevlerini tam olarak yaptıkları kabul edilir. Sürekli hal gerilim kararlılığı çalışmaları uzun zaman gerilim kararlılığı konuları ile paraleldir. Sonuçta bu çalışmalar genellikle dinamik çalışma koşulları için hazırlanan denklemler üzerinde optimizasyon çalışmalarının gerçekleştirilmeleri ile yapılır.

Dinamik çalışma koşullarının cebirsel denklemler kullanılması sureti ile gerçekleştirilmesinin en büyük avantajı hızlı bir şekilde hesaplama yapılabilme olanağı sunmasıdır. Dinamik simülasyonlar zaman alırlar, oysaki gerilim kararlılığı çalışması yapan mühendislerin hızlı analiz sonuçlarına ihtiyaçları vardır. Ancak sürekli hal gerilim kararlılığı ile yapılan çalışmalar neticesinde alınan sonuçların, güç sisteminin kararlılığı konusundaki tam sonuçlar olduğu garantisi verilemez. Simülasyon zamanı ve sırası gerilim kararsızlığına sebebiyet verebilir. Sistem tam olarak modellenemediği zaman gerilim kararsızlığının dinamiklerinin cevabı tam olarak elde edilebilir. Ancak cihazlar (yük altında kademe değiştiricileri, generatörlerin uyarım sistemleri v.b.) uzun zaman karakteristikli çalışma prensibine sahip olabileceklerinden dolayı gerilim kararsızlığında cihazların tepki süreleri

yetersiz kalabilirler [19]. Sistem bir bozucu etkiye maruz kaldığında yeniden kararlı bir duruma gelmesi dakikalar alabilir veya bozucu etki sonrası gerilim kararsızlığı oluşabilir.

İstatistik analizler de güç sistemi çalışmaları içinde önemli bir yere sahiptir. Güç sisteminin geniş bir oranda çalışma koşullarının incelenebilmesi için çok sayıda ihtimali kapsayan istatistik bilgilerine gerek vardır.

Lineer olmayan bir sistemin kararlılığı sistemin çalışma denklemlerinin lineerleştirilmesi ile belirlenir. Taylor serisinin açılımının ilk terimi fonksiyon olarak kullanılması ile sistem lineer olur. Lineer sistem Jakobiye matrisi olarak tanımlanır. Lineer bir sistemin kararlılığı sistemin herhangi bir çalışma anı değerleri için hazırlanan türevlerinin oluşturduğu Jakobiye matrisinin öz değerler (eigenvalues) durum matrisi çalışması ile belirlenebilir [100]. Kararlılık öz değerlerin gerçek (reel) kısmının işaretine bakılarak belirlenir [101]. Eğer öz değerlerin gerçek (reel) değerleri negatif ise sistem kararlıdır. Öz değerlerin (en az bir tanesinin) gerçek (reel) değeri pozitif ise sistem kararsızdır. Eğer öz değerlerden en az bir tanesinin gerçek değeri sıfır ise herhangi bir şey söylenemez [102,103].

Gerilim kararlılığı çalışması öz değerler(λ) ile yapıldığında yük barasının aktif güç değeri arttığında öz değerlerin de değeri azalmaktadır [104]. Gerilim kararlılığı açısından kritik noktaya gelindiğinde öz değerlerden en az bir tanesi sıfır olur. Bu durumda çakışık kök veren tekil çözüm söz konusudur. Güç sisteminin jakobiye matrisinin determinant değeri de sıfır olur.

Öz değerler matrisi ile yapılan kararlılık çalışması sürekli hal kararlılığı çalışmasıdır. Geçici hal kararlılığında kısa devreler gibi daha büyük bozucu etkiler için çalışmalar yapılır. Bozucu etkinin büyüklüğü nedeni ile sürekli hal modelinde kullanılan lineerleştirilmiş model geçici hal kararlılığında geçersiz olur. Bunun nedeni, hata öncesi ve sonrası güç sisteminin bara admitans matrisinin farklı olması sebebi ile jakobiye matrisindeki türev sonuçlarının da hata öncesi ve sonrasında farklı olmasıdır. Bu durumda türevlerin ayrı ayrı çözümleri gerekmektedir [27].

Gerilim kararlılığı lineer olmayan bir olaydır. Gerilim çökmesi çalışmasında çatallanma (bifurcation) teorisinde olduğu gibi lineer olmayan analiz teknikleri kullanılır. Çatallanma kararlılığın kaybolması olarak tanımlanır. Bu teoride güç sistemi değişkenlerinin çok yavaş değiştiği ve güç sisteminde önceden belirlenen tahmini değerler ile sistemin kararsız bir şekilde çalıştığı kabul edilir. Denklemlerin değişkenleri sistem çökme noktasına ulaşıncaya kadar değiştirilir. Sistem dinamik olduğundan, değişkenler değiştiğinde sistem denklemleri de hemen değişir. Gerilim çökmesi başlangıçtan itibaren gerilimin yavaş yavaş azalmasıdır. Azalma hızlı olursa çatallanma ile kararlılığı kaybolmasına sebep olur. Sistem özelliklerinden dolayı sistemin değişmesi çatallanma noktasının oluşmasına sebep olur. Çatallanma noktasının olduğu yer kararlılıktan kararsızlığa geçişin olmasına ve kaosa sebep olur. Bu nokta bütün gerilim kararlılığı çalışmalarında en önemli noktadır [23]. Genellikle sadece talep yük değişimi ile çatallanma veya kritik düğüm noktası elde edilir. Bu nokta jakobiyen matrisin tekil çözüm verdiği bir noktadır. Sistemin kararlı veya kararsız olup olmadığına bakıldığı bir noktadır. Bu noktada öz değerler matrisi (eigenvalues) determinantı sıfır olmak zorundadır. Kritik düğüm noktası kararlılık veya kararsızlık arasında bir sınır noktadır. Sistem dinamiği kaybolup sistem gerilimi düşer. Çatallanma parametreleri genellikle yük gerilimi ve açı değeridir. Yük yavaş yavaş artırılır her bir durum için sistemin kararlı veya kararsız olup olmadığının incelemesi yapılır [13].

Güç sistemlerinde sisteminin karmaşık yapısı da göz önünde bulundurulduğunda kritik değerlerin belirlenmesinde P-V eğrileri bazı durumlarda yetersiz kalabilmektedir. P-V eğrilerinde kritik değerler hat sonu gücünün aşama aşama arttırılması ile denklem 4.22 ve 4.23’de ifade edilen denklemlerin ikisinin birden köklerinin eşit olduğu noktanın bulunması ile belirlenir. Bu nokta eğrinin türevinin sıfır olduğu noktadır. Başka bir ifade ile denklemleri matris formunda ifade ettiğimizde determinantın sıfır olduğu noktadır. Yük akışında bu noktada jakobiyen matrisinin determinantının değeri sıfırdır. Bu özelliklerden faydalanılarak kritik değerler birer formül ile ifade edilebilir. Bu bölümde kritik değerler doğrudan birer formül ile belirlenmeye çalışılmaktadır..

Kritik değerler belirlenirken öncelikle iki baralı bir sistem için hat sabitleri kullanılarak, hat sonunda çekilen güçlere ait ifadelerin belirlenmesi gerekir. Ayrıntıları ek C de verilen bu analiz özetle şu şekildedir:

Denklem 4.1 , 4.2 , 4.10 ve 4.11'in kullanılması sonucu S_r 'nin gerçek kısmının P_r sanal kısmının ise Q_r olduğu bilgisinin de göz önünde bulundurulması neticesinde gerekli ara işlemlerin yapılması ile yük barası aktif ve reaktif güç denklemleri,

$$P_r = \frac{V_s * V_r (b_1 * \cos \delta + b_2 * \sin \delta) - (a_1 b_1 + a_2 b_2) * |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.25)$$

$$Q_r = \frac{-V_s * V_r (b_1 * \sin \delta + b_2 * \cos \delta) - (a_1 b_2 + a_2 b_1) * |V_r|^2}{b_1^2 + b_2^2} \quad (4.26)$$

Olarak ifade edilirler [11,106]. Bu ifadeler yardımıyla iletim hattının yük tarafı için denge denklemi olarak ifade edilen , jakobiyen denklemleri yazılabilir. Bu denklemler,

$$f_1 (V_s, V_r, \delta) \quad (4.27)$$

$$f_2 (V_s, V_r, \delta) \quad (4.28)$$

$$\Delta f_1 = \frac{\partial f_1}{\partial \delta} * \Delta \delta + \frac{\partial f_1}{\partial V_r} * \Delta V_r \quad (4.29)$$

$$\Delta f_2 = \frac{\partial f_2}{\partial \delta} * \Delta \delta + \frac{\partial f_2}{\partial V_r} * \Delta V_r \quad (4.30)$$

4.29 ve 4.30 denklemlerini matris formunda şu şekilde ifade edebiliriz,

$$\begin{bmatrix} \Delta f_1 \\ \Delta f_2 \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial \delta} & \frac{\partial f_1}{\partial V_r} \\ \frac{\partial f_2}{\partial \delta} & \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \end{bmatrix}}_{\text{jekobiyen matris}} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta V_r \end{bmatrix}$$

Güç sisteminde kritik değerler, maksimum güç transferi yapıldığı anda sistemin aldığı değerlerdir. Bu değerleri, denklem 4.29 ve 4.30 jakobiyen denklemlerinin oluşturduğu matrisin determinantını sıfıra eşitleyerek bulabiliriz [106].

$$\left(\frac{\partial f_1}{\partial \delta} * \frac{\partial f_2}{\partial V_r} \right) - \left(\frac{\partial f_1}{\partial V_r} * \frac{\partial f_2}{\partial \delta} \right) = 0 \quad (4.31)$$

4.27 , 4.28 , 4.29 4.30 ve 4.31 denklemleri birlikte düşünüldüğünde ;

$$V_s - 2 * V_r * (a_1 * \cos + a_2 * \sin \delta) = 0 \quad (4.32)$$

$$V_s = 2 * V_r * (a_1 * \cos + a_2 * \sin \delta) \quad (4.33)$$

Denklemi elde edilir. φ güç faktörü açısı olmak üzere , 4.25 ve 4.26 denklemlerinde V_s gördüğümüz yerlere denklem 4.33 yazılır, δ gördüğümüz yere de δ_{rkt} yazıldıktan sonra elde edilen yeni denklemlerin, denklem 4.14' de verilen $\tan \varphi = \frac{Q_r}{P_r}$

eşitliğinde yerine yazılması ve bilinen,

$$2 * \cos^2 \delta - 1 = \cos 2\delta \quad (4.34)$$

$$1 - 2 * \sin^2 \delta = \cos 2\delta \quad (4.35)$$

$$2 * \cos \delta * \sin \delta = \sin 2\delta \quad (4.36)$$

trigonometrik ifadelerin kullanılmasının ardından [107],

$$K_1 = a_1 * b_2 + a_2 * b_1 - a_1 * b_1 * \tan \varphi + a_2 * b_2 * \tan \varphi \quad (4.37)$$

$$K_2 = a_1 * b_1 - a_2 * b_2 + a_1 * b_2 * \tan \varphi + a_2 * b_1 * \tan \varphi \quad (4.38)$$

Kısaltmalarını da göz önünde bulundurulmak üzere, ayrıntıları ek C’de verilen ara işlemlerden sonra,

$$\delta_{krtk} = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{K_2}{-K_1} \right) \quad (4.39)$$

kritik yük açısı belirlenmiş olur. 4.39 ifadesi 4.33’de yerine yazılır ise iki baralı sistem için hat sonundaki yük barasının kritik gerilim değeri bulunmuş olur. Kritik gerilim,

$$V_{krtk} = \frac{V_s}{2 * (a_1 * \cos \delta_{krtk} + a_2 * \sin \delta_{krtk})} \quad (4.40)$$

olarak ifade edilebilir. 4.25’de verilen P_r denkleminde, V_r yerine denklem 4.40’daki V_{krtk} ifadesi ve δ yerine δ_{krtk} yazılır ve

$$K_3 = (b_1 * \cos \delta_{krtk} + b_2 * \sin \delta_{krtk}) \quad (4.41)$$

$$K_4 = (a_1 * \cos \delta_{krtk} + a_2 * \sin \delta_{krtk}) \quad (4.42)$$

kısaltmaları da göz önünde bulundurulur ise ,

$$P_{krtk} = \frac{V_s^2 * [2 * K_3 * K_4 - (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)]}{(b_1^2 + b_2^2) * 4 * K_4^2} \quad (4.43)$$

kritik aktif güç değeri bulunmuş olur. Böylece güç sistemi gerilim kararlılığı kritik değerleri (V_{krt} , δ_{krt} , P_{krt}) formül olarak ifade edilmiştir [11,108,109,110].

Örnek 4.2. : Gerilim kararlılığı sınır değerlerinin bulunması amacı ile örnek 4.1'deki verilerin kullanılması durumunda, P-V eğrisi yöntemi ile hesaplanan kritik değerler, yukarıda ifade edilen analitik formüllerde gerekli dataların yerlerine yazılmaları neticesinde de (Analitik formüller ile sonuçların hesaplandığı bilgisayar programı kodları ek D'de verilmiştir.) bulunabilir. Analitik formüller yardımı ile örnek güç sisteminin kritik değerlerini,

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

$$V_{rkt} = 146.14 \text{ KV (faz-nötr)}$$

$$V_{rkt} = 253.12 \text{ KV (faz-faz)}$$

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

Olarak buluruz. Yukarıda güç faktörü, hat uzunluğu, hat başı gerilimi, paralel hat sayısı, hat kayıp faktörü, seri ve şönt kompanzasyon gibi etkilerin güç sisteminin kararlılık sınır değerleri üzerindeki tesiri, P-V eğrisi yöntemi ile gösterilmektedir. Güç sisteminin kritik değerleri, bahsedilen değişik durumlar için analitik formüller kullanılarak belirlenmesi durumunda, elde edilen değerler aşağıda belirtilmektedir.

4.3.1. Değişik durumlar için kritik değerlerin formüller ile hesaplaması

Örnek 4.1'de verilen güç sistemi modeli dataları esas alınması sureti ile , seri ve şönt kompanzasyon güç faktörü, hat uzunluğu hat başı gerilimi, paralel hat sayısı, hat kayıp faktörü gibi hat değerlerinin değişmesi durumlarında sistemin kritik değerlerini yukarıda verilen analitik bağlantılar yardımı ile ayrı ayrı hesaplanacak ve sonuçlar tablolar halinde verilecektir. (hesaplamaların yapıldığı bilgisayar program kodları ek D'de verilmiştir.)

Tablo 4.1. Değişik güç katsayıları için hesaplanan kritik değerler

Formül ile Belirlenen Kritik Değerler					
Güç Açısı (Derece)	Güç Kats (cos ϕ)	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
			faz- nötr	faz-faz	
30	0.866	189.15	146.14	253.12	27.615
0	1	311.65	174.57	302.36	42.613
-30	0.866	496.42	236.75	410.06	57.61

Tablo 4.2. Değişik hat uzunlukları için hesaplanan kritik değerler

Formül ile Belirlenen Kritik Değerler				
Hat Uzunluğu (km)	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
250	346.59	127.16	220.25	27
550	188.73	145.98	252.85	27.43
750	169.82	171.63	297.26	28.41

Tablo 4.3. Değişik kayıp faktörü oranları için hesaplanan kritik değerler

Formül ile Belirlenen Kritik Değerler				
Hat Kayıp Faktörü Oranı	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
0	202.3	150.69	261	30
0.11	188.14	145.75	252.44	27.62
0.22	174.73	141.67	245.38	25.31

Tablo 4.4. Değişik hat başı gerilim değerleri için hesaplanan kritik değerler

Formül ile Belirlenen Kritik Değerler				
Hat Başı Gerilimi (KV) (faz nötr)	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
220	188.11	145.74	252.43	27.62
197	152.37	131.17	277.68	27.62
252	227.62	160.32	227.62	27.62

Tablo 4.5. Değişik paralel hat sayısı için hesaplanan kritik değerler

Formül ile Belirlenen Kritik Değerler				
Paralel Hat Sayısı	$P_{rkrt} \text{ (MW)}$	$V_{rkrt} \text{ (KV)}$		$\delta_{rkrt} \text{ (Derece)}$
		faz- nötr	faz-faz	
Tek Hat	188.11	145.74	252.43	27.62
Çift Hat	376.23	145.74	252.42	27.62

Tablo 4.6. Değişik seri kompanzasyon oranları için hesaplanan kritik değerler

Formül ile Belirlenen Kritik Değerler				
Seri Kompanzasyon Oranı	$P_{rkrt} \text{ (MW)}$	$V_{rkrt} \text{ (KV)}$		$\delta_{rkrt} \text{ (Derece)}$
		faz- nötr	faz-faz	
0	189.89	146.44	253.65	27.09.
0.50	312.96	130.04	225.23	24.51
0.80	593.1	117.49	203.50	16.28

Tablo 4.7. Değişik şönt kompanzasyon oranları için hesaplanan kritik değerler

Formül ile Belirlenen Kritik Değerler				
Şönt Kompanzasyon Oranı	$P_{rkrt} \text{ (MW)}$	$V_{rkrt} \text{ (KV)}$		$\delta_{rkrt} \text{ (Derece)}$
		faz- nötr	faz-faz	
0	189.99	146.44	253.65	27.09
0.50	167.97	133.54	231.30	27.22
0.95	152.33	123.96	214.70	26.89

4.4. Genetik Algoritma ile Kritik Değerlerin Belirlenmesi

Bölüm 4.1 ve 4.2 örnek model sistem olarak belirlenen Keban –Ankara 380 KV’luk güç sistemindeki kararlılık sınır değerleri, önce P-V eğrisi yöntemi daha sonra ise sistemin jakobiyen matrisinin tekliğinden hareket ile türetilen kritik değer formüllerinin kullanılması ile bulunmaktadır. Güç sistemi denklemlerinde yer alan güç katsayısı, hat uzunluğu, hat kayıp katsayısı, seri ve şönt kompanzasyon oranı gibi etkilerin değişmesinin kritik değerler üzerinde ne gibi tesir meydana getirdiği her iki yöntem için de ayrı ayrı belirlenmektedir.

Bu bölümde ise bölüm 4.1 ve bölüm 4.2’de yapılan çalışma yeni bir yöntem olarak genetik algoritma yöntemi ile yapılmaktadır. Genetik algoritma türevin sıfır olduğu tekil nokta aramaz rast gele bir arama ile sürekli iyiye doğru giden bir çözüm sağlar. Güç sistemlerinde olduğu gibi matematiksel yöntemlerle çözümü oldukça zor olan lineer olmayan denklemlere sahip sistemlerde genetik algoritma ile daha kolay çözüme gidilmektedir.

Genetik algoritma ile kritik değerlerin aranacağı bu bölümde ilk önce örnek 4.1 ve örnek 4.2 kritik değerleri belirlenen güç sisteminin kritik değerleri genetik algoritma ile belirlenmekte ve kullanılan yöntemin aşamaları ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Daha sonra ise bu sistemde olabilecek değişik durumlar için de kritik değerler genetik algoritma ile bulunmakta ve sonuçlar her bir durum için ayrı ayrı tablo halinde verilmektedir.

4. 4.1. Uygunluk fonksiyonunun oluşturulması

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. Optimizasyon süresince yük değerlerinin sabit güç katsayısı altında kaldıkları varsayılmaktadır. Yükün aktif güç değerinde herhangi değişme olduğunda sabit güç katsayısı şartını sağlamak üzere yükün reaktif güç değerinde de bir değişme olmakta ve bu durum kısıt olarak göz önünde bulundurulmaktadır. Ayrıca denklemlerdeki değişkenlerin sınır değerleri de kısıtlayıcı bir durum olarak dikkate alınmaktadır.

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

Kısıtların etkilerinin hesaplanmasında ceza yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemle göre kısıt denklemlerinin toplamı bir Ceza fonksiyonu ile ifade edilmektedir. Bu durum denklem 2.2 de ifade edilmiştir. Eğer amaç fonksiyonu değeri hesaplanırken ön görülen tüm şartlar da yerine gelmiş ise bu taktirde ceza fonksiyonunun değeri sıfırdır, bu durumda amaç fonksiyonuna herhangi bir ceza verilmez. Şayet öngörülen şartların tümü veya bir kısmının ihlali söz konusu ise ceza fonksiyonunun aldığı değer sıfır olmaz , ceza fonksiyonunun değerine bağlı olarak amaç fonksiyonunu cezalandırılır [45,111].

Örnek 4.1’de P-V eğrisi yöntemi , örnek 4.2’de formüller yöntemi ile kararlılık sınır değerleri bulunan Keban, Elazığ, Ankara (Gölbaşı) iletim hattının bulunduğu güç sisteminin kritik değerleri yeni bir yöntem olarak genetik algoritma yöntemi ile bulunacaktır. Genetik algoritma ile çözüme başlayabilmek için önce uygunluk fonksiyonu ifade edilmelidir. Bu amaçla hat verileri örnek 4.1’de verilen örnek güç sistemi için uygunluk fonksiyonundaki sabit değerler aşağıda verilmektedir.

Hat başı 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 , $\varphi = 30^\circ$ ve $\tan\varphi=0.577$ sabit olarak alınacaktır.

Bu çalışmadaki amaç fonksiyonu yük barasının açısı ve gerilim değerine bağlı olarak denklem 4.20’de ifade edilen $P_r(V_s, V_r, \delta)$ denklemdir. Amaç fonksiyonunun en büyük değeri aranırken kısıtlayıcı olarak sabit güç katsayısı istenildiğinden, denklem 4.14’de ifade edilen $Q_r = P_r * \tan \varphi$ bilinen denklemi göz önünde bulundurulmaktadır. Buradaki Q_r ifadesi denklem 4.21’de belirtilmiştir.

Örnek 4.1 için verilen sabit değerler denklem 4.20’de yerine yazılır ise amaç fonksiyonu,

$$P_r = 2.7974 * 10^{-7} * v_r * \cos \delta + 0.0027 * \sin \delta * v_r - 2.1020 * 10^{-7} * v_r^2 \quad (4.39)$$

$$AF = P_r \quad (4.40)$$

Olarak ifade edilir. Problemin çözümünde sabit güç katsayısı şartı aranmaktadır. Bu sebeple $Q_r = P_r * \tan \varphi$ ifadesi dikkate alınması ile kısıt fonksiyonu;

$$KF = Q_r - P_r * \tan \varphi \quad (4.41)$$

Şeklinde ifade edilir. Algoritma çalışırken kısıt fonksiyonu değerinin sıfır olmaması halinde, amaç fonksiyonunun en büyük değeri arandığı halde kısıt fonksiyonu amaç fonksiyonunun değerini düşürerek cezalandıracaktır. Denklem 4.41’deki Q_r ifadesi yukarıda verilen hat sabitlerinin denklem 4.21’de yerine yazılması ile ,

$$Q_r = 0.0027 * v_r * \cos \delta - 2.7974 * 10^{-7} * v_r * \sin \delta - 1.0279 * 10^{-5} * v_r^2 \quad (4.42)$$

Şeklinde elde edilir. Denklem 4.41 ve 4.42 ifadelerinin elde edildiği bilgisayar program kodları ek D’de verilmiştir.

Daha etkin en büyük değerin bulunabilmesi ve K.F.’nin işaret değiştirip sonuca ulaşmaya engel olmaması için karesi alınır. Ayrıca problemin durumuna göre uygun bir katsayı ile çarpılır [112]. Bu durumda ceza fonksiyonu,

$$P = r * (KF)^2 \quad (4.43)$$

Şeklinde ifade edilir. Bu problemde $r=1$ alındığında çözüme rahat gidilebildiği görülmüştür. Ayrıca uygunluk fonksiyonunun negatif değer almaması için belirlenen $K=6*10^6$ sayısı ile toplanabilir. Buna göre uygunluk fonksiyonu,

$$UF = 6*10^6 + (P_r - 1 * (Q_r - P_r * \tan \varphi)^2) \quad (4.44)$$

Olarak ifade edilir. Uygunluk fonksiyonu içinde bulunan Q_r ve P_r ifadeleri denklem 4.39 ve denklem 4.42’de belirtilmektedir. Bu denklemler dikkatlice incelenecek olursa δ ve V_r değerlerinin denklemlerin değişkenleri olduğu görülmektedir. Genetik algoritma bu değişkenlerin çok sayıda kombinasyonlarını deneyerek amaç fonksiyonunun en büyük değerini bulmaya çalışacaktır. Öyle ise bu değişkenlerin belili sınırları olması zorunludur. V_r hat sonundaki yük barasının gerilimini δ ise açısını sembolize etmektedir. Bu değerler için teorik olarak olabilecek en büyük açıklık değeri,

$$88 \leq V_r \leq 220 \text{ KV}$$

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

olarak belirlenebilir.

Hesaplamalar bir faz üzerinden yapıldığından yük barası geriliminin faz arası 380 KV değerinin faz nötr arası karşılığı olan $V_r = 220$ KV değeri üst sınır olarak belirlenmiştir. Yük barasının geriliminin en alt değeri olarak üst değerinin %40’ı olabileceği tahmini doğrultusunda, $V_r = 88$ KV değeri, alt sınır değer olarak seçilmiştir. Alt sınır belirlenirken daha önce yapılan kritik değer çalışmalarına bakılmış gerilimin bu değere ve bu değer altına düşmediği bilgisi dikkate alınmıştır.

Açı değeri için en büyük ve en küçük değerler belirlenirken güç sisteminde iki bara arasında en büyük gücün 90^0 açı ile taşınabileceği bilgisi göz önünde bulundurulmaktadır. En büyük ve en küçük sınır değerler olarak bu açının yaklaşık raydan karşılığının artı ve eksi değerleri alınmıştır.

4.4.2. Başlangıç popilasyonunun oluşturulması

Başlangıç popilasyonu esasında, tüm elemanları rast gele oluşturulan bir gen havuzudur. Bu çalışmada değişkenler ikilik sayı sistemi ile kodlanacağından genler 0 ve 1 elemanlarından oluşur. Bu durumda her bir gene bir bit de denir. Rast gele seçilen belirli sayıdaki 0 ve 1 bitleri dizilmesi sonucunda uygunluk fonksiyonunun değişkenleri de yan yana dizilmek şartı ile kodlanmış olur. Her bir değişkenin bit sayısı değişkenin sınır değerlerine göre önceden belirlenir. Değişkenler de yan yana dizilerek birey adını verdiğimiz popilasyon adımını oluştururlar. Değişkenlerin oluşturduğu birey , elemanları 0 ve 1'ler olan popilasyonun bir satırını oluşturur. Başlangıç popilasyonunun , satır sayısı tüm değişkenlerin toplam gen sayısı , sütun sayısı da popilasyon sayısıdır. Popilasyon sayısı , değişik çalışmalarda çeşitli şekillerde belirlenmektedir. Bu çalışmada genetik algoritma popilasyon sayısını belirlemek için bir önceki bölümde denklem 3.4 ve denklem 3.5 ile ifade edilen analitik bağlantılardan faydalanılmaktadır.

Aşağıda örnek 4.1 deki değerlere göre oluşturulan, denklem 4.44'da belirtilen uygunluk fonksiyonunu ifadesi esas alınması ile başlangıç popilasyonunun oluşturulması açıklanmaktadır.

4.4.2.1. Başlangıç popilasyonunun bir satırının bit (gen) sayısının belirlenmesi

Sınır değerleri verilen V_r ve δ değişkenlerinin bit sayısı denklem 3.4 yardımı ile bulunabilir. Uygunluk fonksiyonunun değişkenlerinden V_r , $\varepsilon = 0.1$ artım adımları ve δ değişkeni ise $\varepsilon = 0.01$ artım adımları ile değiştiğinin düşüncesi neticesinde bu değişkenlerin kodlanacakları bit (gen) sayıları ,

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

$$2^{\ell_1} \geq 1320$$

$\ell_1 \geq 11$ olduğundan,

$$\ell_1 = 11$$

olarak seçilebilir.

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

$$2^{\ell_2} \geq 301$$

$\ell_2 \geq 9$ olduğundan,

$$\ell_2 = 11$$

olarak seçilebilir.

Yukarıdaki sonuçlara göre birinci ve ikinci değişkenler olan V_r ve δ simgeleri ile sembolize edilen değişkenleri 11'er bit olarak ifade edebiliriz. Bu durumda başlangıç popülasyonunun her bir satırının bit (gen) sayısı ,

$$\ell = \ell_1 + \ell_2 = 11 + 11 = 22$$

bit olarak ifade edilebilir. Uygunluk fonksiyonu değişkenlerinin yan yana 0 ve 1'ler ile kodlanmaları neticesinde birey adı verilen popülasyonun bir satırı elde edilmiş olur. Bireyi oluşturan 0 ve 1 elemanlarının dizilişleri rast gele bilgisayar programı ile oluşturulur. Başlangıç popülasyonunun bir satırı (bir bireyi tablo 4.8'de gösterildiği gibi ifade edilebilir.

Tablo 4.8. 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

4.4.2.2. Başlangıç popilasyonunun satır sayısının belirlenmesi

Popilasyon sayısına satır sayısı denir. Popilasyon sayısı aynı zamanda birey sayısı olarak da ifade edilebilir. Popilasyon sayısı kadar birey başlangıçta rast gele olarak bilgisayar programı kullanılması ile elde edilir. Genetik algorithmada sonuca ulaşıncaya kadar çok sayıda popilasyon elde edilecektir. Başlangıç popilasyonu haricindeki popilasyonlar, seçim, çaprazlama, mutasyon gibi evrim aşamaları neticesinde elde edilir. Bu çalışmada , popilasyon sayısını bulmak için türetilen bir analitik bağlantı kullanılacaktır. Buna göre popilasyon sayısı denklem 3.5 yardımı ile,

$$P.S. \geq 1.65 * 2^{0.21*22} = 40.57$$

$$P.S = 42$$

olarak belirlenebilir.

4.4.2.3. Başlangıç popilasyonunun belirtilmesi

Başlangıç popilasyonunun bir satırlarının toplam bit (gen) sayısı 22, toplam satır sayısı 42 olarak yukarıda belirlendi. 42 tane birey bir araya gelerek başlangıç popilasyonunu meydana getirirler. Tüm elemanları rast gele bilgisayar programı ile belirlenen başlangıç popilasyonu tablo 4.9 ile gösterilmektedir.

Tablo 4.9. Başlangıç popilasyonu 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

Başlangıç popilasyonu rast gele bilgisayar programı ile elde edildiğinden dolayı genetik algoritmanın her yeni çalışmaya başlamasında eleman dizilişleri farklı bir başlangıç popilasyonu elde edilir.

4.4.3. Uygunluk fonksiyonu değerlerinin hesaplanması

Başlangıç popilasyonunun her bir satırı bir bireyi temsil eder. Birey değişkenlerin ikilik sayı sistemi ile kodlanmalarından oluşur. İkilik sayı sistemi bilgisayar programı yardımı ile her bir bireyi oluşturan tüm değişkenler için onluk sayı sistemine çevrilerek her bir birey için uygunluk fonksiyonu ifadesinden yerine yazılması ile uygunluk fonksiyonu değerleri denklem 4.9 ile ayrı ayrı hesaplanır. Buna göre uygunluk fonksiyonu değerleri tablo 4.10'da gösterilmektedir.

Tablo 4.10. Her bir bireyi için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri

BİREY NO	V_r	δ	UYGUNLUK FONKSİYONU DEĞERİ
1	205.35	0.73	$59.531 * 10^6$
2	47.89	1..27	$59.954 * 10^6$
3	199.26	-0.63	$59.421 * 10^6$
4	211.54	-0.48	$59.501 * 10^6$
5	62.85	-1.28	$59.86 * 10^6$
.	.	.	.
.	.	.	.
20	18.58	0.89	$60.000 * 10^6$
.	.	.	.
.	.	.	.
33	43.97	-0.84	$60.001 * 10^6$
.	.	.	.
.	.	.	.
42	29.52	0.91	$59.94 * 10^6$

Başlangıç popilasyonunun her bir bireyi için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerlerinden en büyük değere sahip olanı $60.001 * 10^6$ en küçük değere sahip olanı ise $58.720 * 10^6$ dir Algoritmanın daha sonraki generasyonlarında en büyük ve en küçük değerler arasındaki farkın daha da azalması beklenir. Algoritma sona erdiğinde gen havuzunun tüm uygunluk fonksiyonu değerleri birbirlerine çok yakın değerler alırlar. Uygunluk fonksiyonu değerleri arasındaki fark uygun çözüme ulaşılmadığını gösterir. Evrim teorisinin aşamaları olan, elitizim, seçim, çaprazlama, mutasyon işlemler ile yeni bir popilasyon oluşturularak algoritmaya devam edilir.

Başlangıç popilasyonu dahil olmak üzere her yeni popilasyon bir generasyon demektir. Her popilasyon için en büyük uygunluk fonksiyonu değerini veren birey o generasyonun en uygun (en büyük)değeri olarak program yardımıyla ekrana bastırılmaktadır. Başlangıç popilasyonu bireyleri için tablo 4.10 da verildiği gibi her birey için (popilasyon satırı) uygunluk fonksiyonu değerlerinin hesaplanmasının neticesinde,

Generasyon (i) : $f(V_r \delta) = \text{Uygunluk Fonksiyonu Değeri}$

.i ninci generasyonun en büyük uygunluk fonksiyonu değerini göstermek üzere ,

$$\text{Generasyon 1 : } f(43.97 \ -0.84) = 60.001 * 10^6$$

İfadesi birinci generasyonun en iyi değeri olarak ekrana bastırılır. Daha sonra genetik algoritmada, yeni bir popülasyon oluşturabilmek amacı için yapılan işlemler ile çalışmalara devam edilir..

4.4.4. Elitizm

Elitizm'in amacı uygunluk fonksiyonu değeri en büyük olan (maksimizasyon optimizasyonu olduğu için) iki tane birey seçilmesi ve bir sonraki popülasyonun ilk iki bireyi olarak popülasyon içine kopyalanmasıdır. Böylece bu elemanların evrim mekanizmasında yapılacak işlemler ile özelliklerini kaybetme riski önlenir. Neticede uygunluğu en iyi olan iki birey koruma altına alınmaktadır. Elit bireyler tablo 4.11 ile verilmektedir. Bu örnekte başlangıç popülasyonunun 20. ve 33. bireyleri olan

Tablo 4.11 Başlangıç popülasyonunun elit bireyleri

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

Popülasyon satırları için hesaplanan uygunluk fonksiyonu değerleri popülasyon içindeki en büyük değerlerdir.

U.F.(i) : $f(V_r, \delta)$ i ninci uygunluk fonksiyonu değerini ifade etmek üzere, başlangıç popülasyondaki en büyük (en uygun) iki uygunluk fonksiyonu değerlerini veren 20 .ve 33. bireylerin sağladığı uygunluk fonksiyonu değerleri,

$$U.F._{(20)} : f(18.58 \ 0.89) = 60.000 * 10^6$$

$$U.F._{(33)} : f(43.97 \ -0.84) = 60.001 * 10^6$$

Olarak ifade edilirler. Bu değerler başlangıç popülasyonunun en büyük ilk iki değeri (elit değerler) olduklarından, bunlar seçilerek bir sonraki popülasyonun ilk iki bireyi olarak aynen kopyalanacaklardır.

4.4.5. Seçim

Bu yöntemin amacı bir sonraki popilasyonun bireylerini oluşturacak ebeveyn çiftlerinin seçilmesidir. Bu örnekte turnuva seçim kriteri kullanılmaktadır. Bu kritere göre popilasyon içinden rast gele iki birey seçilir. Bu iki bireyden uygunluk fonksiyonu değeri büyük olan ebeveyn 1 olarak belirlenir. Aynı işlem tekrar yapılır ve bu defa ebeveyn2 belirlenir. Her ebeveyn çiftinden iki adet aday birey elde edilir. Yeni popilasyonun ilk iki bireyi elitizm ile seçilen bireyler diğer bireyler ise oluşturulan aday bireylerin mutasyona uğramasından sonra elde edilir. Aday birey sayısı popilasyon sayısının iki eksiğidir. Örneğimizde popilasyon sayısı 42 olduğuna göre , seçim yöntemi ile 20 tane birey ebeveyn1 20 tane birey de ebeveyn 2 olarak seçilmektedir. Bunların oluşturacakları 40 aday birey mutasyondan sonra yeni popilasyonun bireylerini olacaktırlar.

Yeni popilasyonun 3 ve 4. bireylerini oluşturmak maksadı ile turnuva seçim yöntemi ile seçilen birinci ebeveyn çifti

Tablo 4.12 Seçilen ilk ebeveyn çifti

ebeveyn 1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	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

4.4.6 Çaprazlama

Çaprazlama ebeveyn çiftlerinin genlerinden aday bireyleri elde edilmesi işlemidir. Bu örnekte düzenli çaprazlama (uniform çaprazlama) yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde her ebeveyn çifti için bilgisayar programı ile rast gele bir referans birey üretilmektedir.

Birinci aday birey referans bireyin genin 1 olduğu yerlerde ebeveyn 1'i 0 olduğu yerlerde ise ebeveyn 2'yi kopyalayarak elde edilir.

İkinci aday birey referans bireyin genin 1 olduğu yerlerde ebebeyn 2'yi, 0 olduğu yerlerde ise ebebeyn 1' i kopyalayarak elde edilir.

Aday bireylerin düzenli çaprazlama ile elde edilişine örnek olması bakımından ,yeni popilasyonun 3 ve 4. bireylerini elde etmek amacı ile yapılan çaprazlama tablo 4.13'de gösterilmektedir.

Tablo 4.13. 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	0	1	0	0	1	1	1	1	1

Yeni popilasyonun iki bireyi elitizm ile seçilir. Geriye kalan 40 birey, 20 ebebeyn çiftinin çaprazlama işlemine tabi tutulması neticesinde oluşturulan 40 aday bireyin mutasyona uğramasının ardından elde edilir.

4.4.7. Mutasyon

Seçim ve çaprazlama işlemlerinden sonra ,oluşan aday bireylerin sonraki generasyonlarda ebebeynlerinin kopyası olma ihtimalini önlemek için mutasyon işlemi gerçekleştirilir. Mutasyon işleminde önceden belirlenen mutasyon oranına göre oluşturulan aday bireylerin bazı genleri 0 ise1 veya 1 ise 0 yapılmak sureti ile değiştirilir. Mutasyon ile değişecek gen sayısı mutasyon oranı arttıkça artar azaldıkça azalır. Aday birey 1 ve aday birey 2 mutasyondan sonra, yeni popilasyonun 3. ve 4. bireyleri olurlar. Bu durum, tablo 4.14 ile gösterilmektedir.

Tablo 4.14. Mutasyon işlemi

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

40 adet aday bireyin de mutasyona uğraması ile 40 birey elde edilir. Burada mutasyon işlemi sırasında bazı aday bireyler hiç gen değiştirmeden de mutasyona uğrayabilir çünkü mutasyon işlemi mutasyon oranına bağlı olarak popülasyonun tamamı düşünülerek rast gele yapılmaktadır.

4.4.8. Yeni popülasyonun elde edilmesi

Bölüm 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6, 4.3.7, açıklanan işlemlerden sonra yeni popülasyon,

Tablo 4.15. Evrim ile elde edilen yeni popülasyon

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

Bir sonraki generasyon için uygunluk fonksiyonu değerleri tablo 4.15'deki yeni popülasyonun bireylerine göre tekrar hesaplanır. Eğer şartlar yine de yerine gelmemiş ise bu taktirde elitizm, seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemlerinden sonra tekrar yeni bir popülasyon oluşturulması işlemi şeklinde genetik algoritma döngüsüne generasyon sayısı kadar devam edilir.

4.4.9. Genetik algoritma sonuçlarının yorumlanması

Örnek 4.1’de değerleri verilen Keban Kayseri Ankara 380 KV’ luk güç sistemindeki kritik değerler genetik algoritma ile yukarıda açıklanan aşamaların gerçekleşmesi neticesinde her bir generasyon için en büyük uygunluk fonksiyonu değerleri tablo 4.16’da verilmektedir..

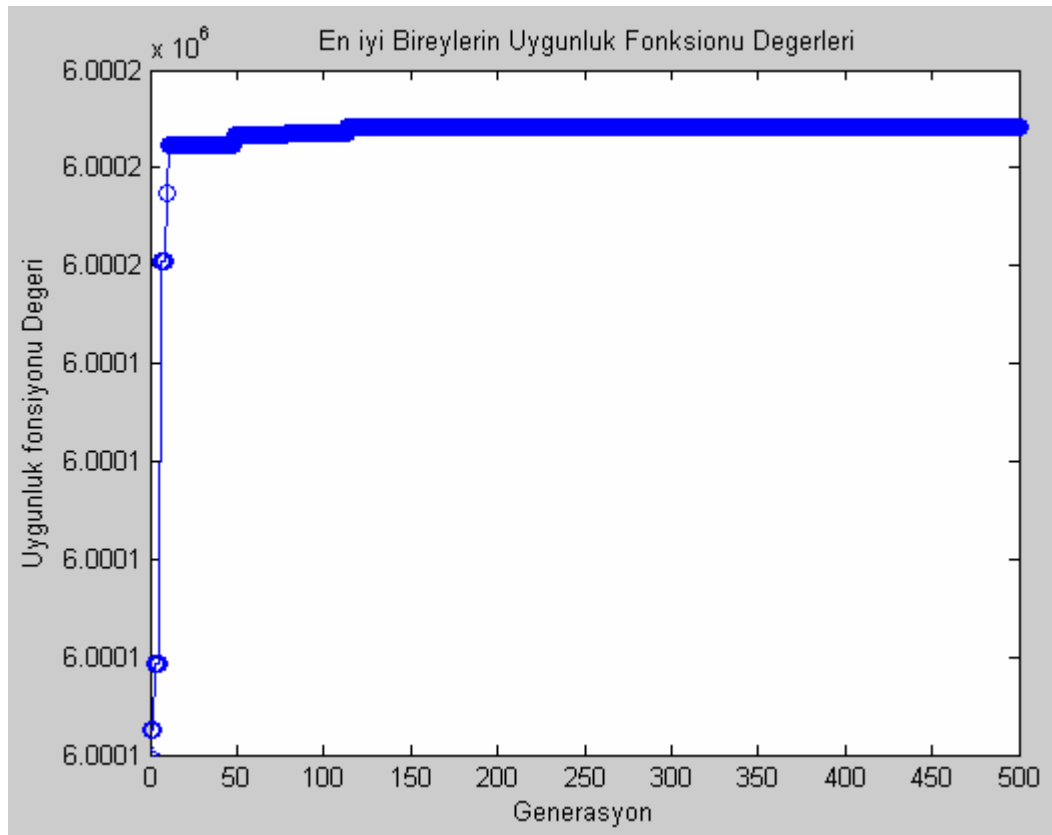
Tablo 4.16. Her bir generasyonun en büyük uygunluk fonksiyonu değerleri

Generasyon 1: $f(43.973241, -0.84015)=6000000.001216$
Generasyon 2: $f(30.448881, 0.858085)=6000064.994110$
Generasyon 3: $f(43.450210, 0.837567)=6000078.543196$
Generasyon 4: $f(43.450210, 0.837567)=6000078.543196$
Generasyon 5: $f(43.450210, 0.837567)=6000078.543196$
Generasyon 6: $f(177.487719, 0.362726)=6000160.741658$
Generasyon 7: $f(177.487719, 0.362726)=6000160.741658$
Generasyon 8: $f(177.487719, 0.362726)=6000160.741658$
Generasyon 9: $f(177.487719, 0.362726)=6000160.741658$
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 şartının sağlanması koşulu ile hat sonu yük barasının aktif güç değeri için şekil

4.11’de gösterildiği gibi genetik algoritmada generasyon ilerledikçe sürekli iyiye doğru giden (en büyük değere doğru giden) çözümler sağlanır.

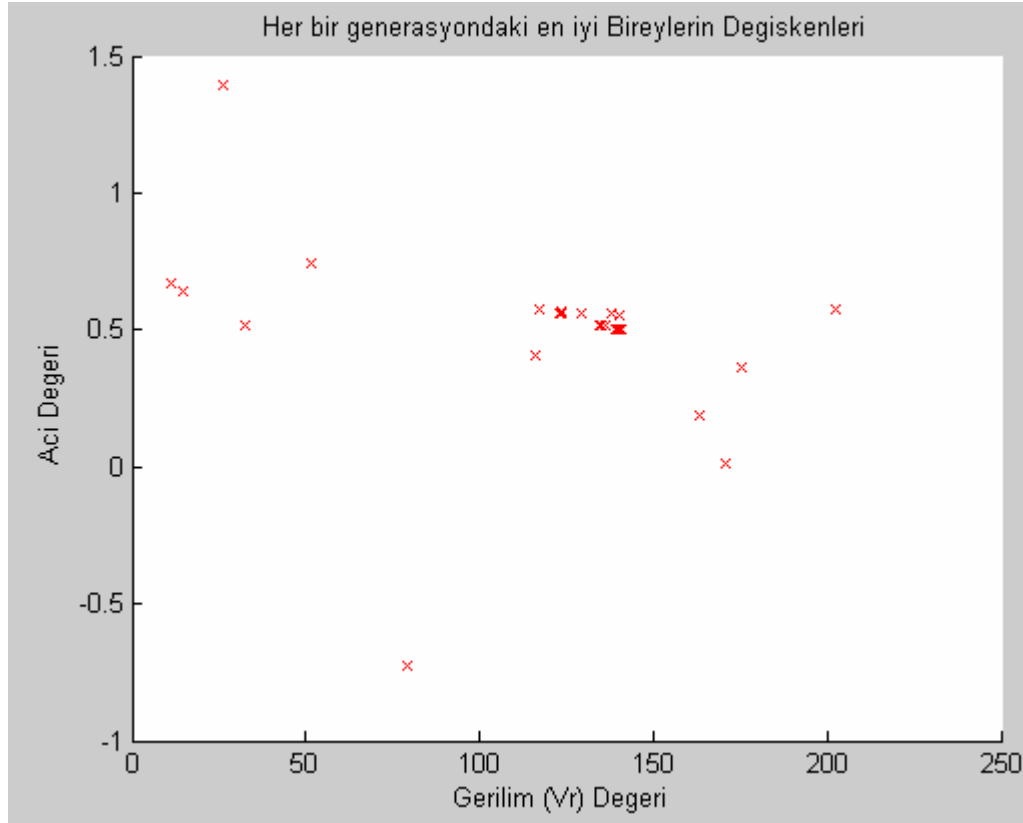
Uygunluk fonksiyonu içinde yer alan ceza fonksiyonu (P) değeri generasyon ilerledikçe sıfıra doğru yaklaşmakta ve 124 üncü generasyonda sıfıra çok yakın değere olan 0.00022 değerini alır . Bu durumda bundan sonraki generasyonlarda ceza fonksiyonu etkisiz olduğu için (kısıt şartı sağlandığı için) uygunluk fonksiyonu değeri amaç fonksiyonu değeri olarak ifade edilir.



Şekil 4.11 Genetik algoritmada uygunluk fonksiyonu değerleri

Genetik algoritmanın çalışması sırasında uygunluk fonksiyonu ifadesinin negatif değer almaması için başlangıçta uygunluk fonksiyonu tanımlanırken $K = 6 \cdot 10^6$ sayısı eklendi. Genetik algoritma sona erdiği zaman başlangıçta eklenen bu sayı göz önünde bulundurularak, sonuç ifadesinden çıkartılması neticesinde genetik algoritmanın bulduğu gerçek en uygun değer bulunmuş olur. Tablo 4.16 incelendiğinde en uygun değer , 6000188.507387 olarak görülmektedir. Gerçek en uygun değer ise , $6000188.507387 - 6 \cdot 10^6 = 188.507387$ olur.

En büyük uygunluk fonksiyonu değeri aranırken fonksiyon değişkenlerinin her bir generasyon için gösterdiği değişim şekil 4.12’de ifade edilmektedir.



Şekil 4.12 Genetik algoritmanın değişkenlerinin aldığı değerler

Uygunluk fonksiyonu değişkenleri şekil 4.12’de görüldüğü gibi generasyon ilerledikçe en iyi çözümün sağlandığı değerler, açı değeri için $0.4-0.5$ radyan ($22.92^0 - 28.65^0$), gerilim değerleri için ise $130 - 145$ KV arasında olduğu görülmektedir.

Örnek 4.1’deki iletim hatları değerlerinin kullanılması ile genetik algoritma ile bulunan kritik P_{rkrt} , V_{rkrt} , δ_{rkrt} değerleri tablo 4.17’de ifade edilmektedir.

Tablo 4.17. Örnek 4.1’deki değerler için genetik algoritmanın bulduğu kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler			
P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
	faz- nötr	faz-faz	
188.51	145.39	251.83	27.75

4.4.10. Değişik durumlar İçin kritik değerlerin genetik algoritma ile bulunması

Örnek 4.1’de verilen güç sistemi modeli verileri esas alınması sureti ile, seri ve şönt kompanzasyon güç faktörü, hat uzunluğu hat başı gerilimi, paralel hat sayısı, hat kayıp faktörü gibi hat değerlerinin değişmesi durumlarında sistemin kritik değerlerini yukarıda verilen örnekteki gibi genetik algortima (GA) ile ayrı ayrı hesaplanacak ve sonuçlar tablolar halinde verilecektir. (Hesaplamaların yapıldığı bilgisayar program kodları ek D’de verilmiştir.)

Tablo 4.18. Değişik güç katsayıları için GA ile bulunan kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler					
Güç Açısı (Derece)	Güç Kats (cos ϕ)	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
			Faz- nötr	faz-faz	
30	0.866	188.51	145.39	251.83	27.75
0	1	310.12	174.598	302.413	42.5135
-30	0.866	493.81	236.33	409.336	57.525

Tablo 4.19. Değişik hat uzunlukları için GA ile bulunan kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler				
Hat Uzunluğu (km)	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
250	346.79	127.44	220.73	26.98
550	188.51	145.39	251.83	27.75
750	170.01	170.88	295.97	28.19

Tablo 4.20. Değişik kayıp faktörü oranları için GA ile bulunan kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler				
Hat Kayıp Faktörü Oranı	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	Faz-faz	
0	202.54	150.87	261	30.02
0.11	188.34	145.91	252.44	27.67
0.22	174.89	140.44	245.38	25.55

Tablo 4.21. Değişik hat başı gerilim değerleri için GA ile bulunan kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler				
Hat Başı Gerilimi (KV) (faz nötr)	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
220	188.51	145.39	251.83	27.75
197	152.57	131.21	227.26	27.75
241	227.80	160.67	278.29	27.75

Tablo 4.22. Değişik paralel hat sayısı durumları için GA ile bulunan kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler				
Paralel Hat Sayısı	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
Tek Hat	188.51	145.39	251.83	27.75
Çift Hat	376.23	146.53	253.79	27.44

Tablo 4.23. Değişik seri kompanzasyon oranları için GA ile bulunan kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler				
Seri Kompanzasyon Oranı	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
0	188.51	145.39	251.83	27.75
0.50	313.18	130.44	225.93	24.47
0.80	593.29	118.50	205.25	16.16

Tablo 4.24 . Değişik şönt kompanzasyon oranları için GA ile bulunan kritik değerler

Genetik Algoritma ile Bulunan Kritik Değerler				
Şönt Kompanzasyon Oranı	P_{rkrt} (MW)	V_{rkrt} (KV)		δ_{rkrt} (Derece)
		faz- nötr	faz-faz	
0	188.51	145.39	251.83	27.75
0.50	168.16	134.56	233.07	27.10
0.95	152.52	124.11	214.97	26.87

BÖLÜM 5. N BARALI GÜÇ SİSTEMLERİNDE GENETİK ALGORİTMA YÖNTEMİNİN DE KULLANILMASI İLE GERİLİM KARARLILIĞININ İNCELENMESİ

Gerilim kararlılığı kritik değerlerinin belirlenmesi ile ilgili olarak, önceki bölümlerde iki baralı güç sistemleri üzerinde çalışmalar yapıldı. Elektrik güç sistemleri ikiden çok daha fazla sayıda baradan meydana geldiği bilinmektedir. Bu sebeple iki baralı güç sistemi için yapılan çalışmaların N baralı sistemler için de yapılması gereklidir. N barlı bir sistemde kritik bir bölgede gerilimin ani olarak çökme ihtimali düşünülerek kararlılık problemlerinin ele alınması ve çeşitli işletme durumları da düşünülerek kritik yük barası değerlerinin önceden hesaplanması zorunludur. Bu bölümde N baralı sistem olarak ifade edilen çok sayıda generatör ve yük baralarından oluşan güç sistemlerinde kararlılık sınır değerleri belirlenmeye çalışılacaktır.

5.1. N Baralı Güç Sisteminde Kritik Değerlerin Bulunduğu Yöntemler

Bu çalışmada N baralı güç sisteminin kritik değerlerinin belirlenmesinde üç yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntemler ;

5.1.1. Yük akışı yöntemi

Bu yöntemde, yük akışı programı kullanılmaktadır [38,113]. İlgilenilen güç sistemi değerleri programda tanımlanır. Kararlılık açısından ilgilenilen yük barasının aktif güç değeri belirlenen sabit artım adımları ile aşama aşama arttırmak sureti ile her yük adımı değeri için Newton yük akışı gerçekleştirilir. Programın çözüm sağlayamadığı duruma kadar ilgili yük barasında aktif güç arttırma işlemi devam ettirilir. Yük akışı

programının çözüm sağlayamadığı andaki yük barasının aktif güç, gerilim genlik ve açı değerleri kararlılık sınırları olarak belirtilen kritik değerlerdir [114].

5.1.2. Bara indirgeme yöntemi

Bu yöntemde N baralı sistemde kritik değerleri aranılan yük barası ile salınım barası haricindeki tüm baraların aktif ve reaktif güç değerleri admitans değerlerine çevrilir. Bu admitans değerlerinin ilavesi ile, güç sisteminin düğüm admitans matrisi yeniden belirlenir. Yeni admitans matrisi üzerinden bilinen bara indirgeme yöntemi kullanılarak admitans matrisi 2×2 boyutuna dönüştürülür. Böylece güç sistemi de iki baralı hale indirgenmiş olur [11, 115]. Bundan sonra iki baralı sistem için bölüm 4.2 de ifade edilen kritik değer formülleri ile güç sisteminde ilgili yük barası için kararlılık sınır değerleri hesaplanır. Bara indirgeme yönteminin çözüm aşamaları şu şekilde ifade edilebilir.

- 1) Kararlılığı incelenecek olan baranın da içinde bulunduğu güç sisteminin herhangi bir çalışma anındaki değerler ile yük akışı yapılır. Yük akışı ile tüm baraların aktif ve reaktif güç değerleri ile gerilim genlik değerleri tespit edilir.
- 2) Gerilim kararlılığı açısından ilgilenilen yük barası ve salınım barası haricindeki tüm baraların aktif ve reaktif güçleri, yük akışında belirlenen gerilim genlik değerlerinin de kullanılmasıyla şönt admitans değerlerine dönüştürülür.
- 3) Hesaplanan şönt admitans değerleri bağlı olduğu baranın generatör veya yük barası olup olmadığı dikkate alınmasıyla, artı veya eksi işaret almak sureti ile bara admitans matrisi içine dahil edilir [116].
- 4) Oluşturulan yeni bara admitans matrisinde kritik değerleri aranılan yük barası birinci satır ve sütunda salınım barası ikinci satır ve sütunda olması için bazı satır ve sütunlara aralarında yer değiştirirler. Y_{11} , Y_{22} gibi ana köşegen elamanlarının matris içinde yine köşegende kalmaları şartının yerine gelmesine de dikkat edilir.

5) Matris indirgeme işlemi yapılarak güç sisteminin yeni admitans matrisi 2x2 boyutuna indirilir. Bu matris tüm güç sisteminin iki baralı hale indirgenmiş güç sisteminin düğüm admitans matrisidir. İndirgenmiş bu matris elamanları ayrı ayrı düşünülerek şekil 4.2’de görülen hale düşürülmüş olan sistemin A ve B sabitleri dolayısı ile a_1, a_2, b_1, b_2 katsayıları belirlenir.

6) Bölüm 4.2’de açıklanan güç sisteminin jekobiyen matrisin tekilliği durumu için elde edilen kritik güç, kritik gerilim, kritik açı formüllerinin kullanılması ile kararlılık açısından ilgilenilen yük barasının kritik değerleri hesaplanır.

7) Bulunan kritik değerler ile tekrar yük akışı yapılır. Yük akışında çözüm elde edilebiliyor ise bu kritik değerler gerçek kritik değerler değildir. Bu durumda ilgili baranın yükü artırılarak birinci aşamaya dönülerek aynı işlemler tekrarlanır.

8) Elde edilen kritik değerler ile yük akışı yapıldığında çözüm sağlanamıyor ise bu durumda gerçek kritik değerlere ulaşılmış demektir.

5.1.3. Genetik algoritma yöntemi

N baralı güç sistemlerinde kritik değerlerin bulunması için yeni bir yöntem olarak sunulan genetik algoritma yönteminde kararlılık sınırlar değerleri bulunmak istenen yük barasının aktif güç değeri için maksimizasyon optimizasyonu yapılır. Bu amaçla yük barasının aktif güç ifadesi $P_r = f (V_s, V_r, \delta)$ gibi bir fonksiyon şeklinde belirtilir. Bu fonksiyonun en büyük değeri bulunduğu kritik aktif güç değeri de bulunmuş demektir. Fonksiyonun kritik aktif güç değerini veren gerilim ve açı değerleri de kritik gerilim ve kritik açı değerleri olarak elde edilmektedir.

Yük barasının aktif güç fonksiyonu ifadesini elde edebilmek amacı ile, N baralı güç sistemi yukarıdaki gibi bara indirgeme yöntemi ile 2 baralı hale indirgenmesi gerekmektedir. şekil 5.1 de görülen iki baralı duruma indirilen sistemin A ve B sabitleri dolayısı ile a_1, a_2, b_1, b_2 katsayılarının belirlenilmesi neticesinde yük barası için $P_r = f (V_s, V_r, \delta)$ fonksiyonu elde edilir.

Genetik algoritma bir optimizasyon yöntemidir. Optimizasyon problemlerinde optimum çözüm aranırken uyulması gereken kurallara kısıt denir. Bu çalışmada yük baralarının yükleri artarken güç katsayılarının sabit kalacağı öngörülmüştür. Öyle ise bu şart bir kısıttır. Bu durum bir fonksiyon şeklinde ifade edilebilir. Bu fonksiyona da kısıt fonksiyonu denir. Kısıt fonksiyonunu elde edebilmek için kritik değerleri aranılan yük barasının reaktif güç değerini ifade eden, $Q_r = f(V_s, V_r, \delta)$ fonksiyonu da bara indirgenmesini ardından elde edilen hat sabitleri sayesinde belirtilebilir.

Genetik algoritma ile N baralı bir sistemin kritik değerleri belirlenirken kritik değer formülleri kullanılmamaktadır. Kritik değer formülleri jakobiyenin tekliği (türevin sıfır olduğu durum) ile ilgilidir [117]. Sistemin tekil noktası yoksa çözüm zorlaşacaktır. Genetik algoritma tekil nokta aramaz türevin sıfır olup olmadığı genetik algoritma için önemli değildir. Genetik algoritma ile aktif güç ifadesinin en büyük değeri, değişkenlerinin alabileceği tüm durumların denenmesi ile bulunur. Bu deneme esnasında oluşturulan algoritma evrim sürecini taklit ederek, zayıf olanları (küçük değerli olanları) eler, iyi olanları daha iyi yapmaya çalışır.

Genetik algoritma ile aktif güç ifadesinin en büyük değeri bulunduğunda güç için kritik değer de bulunmuş olur. Aynı zamanda fonksiyonun değişkenleri olan gerilim ve açı değerlerinin aldığı değerlerde kritik değerlerdir.

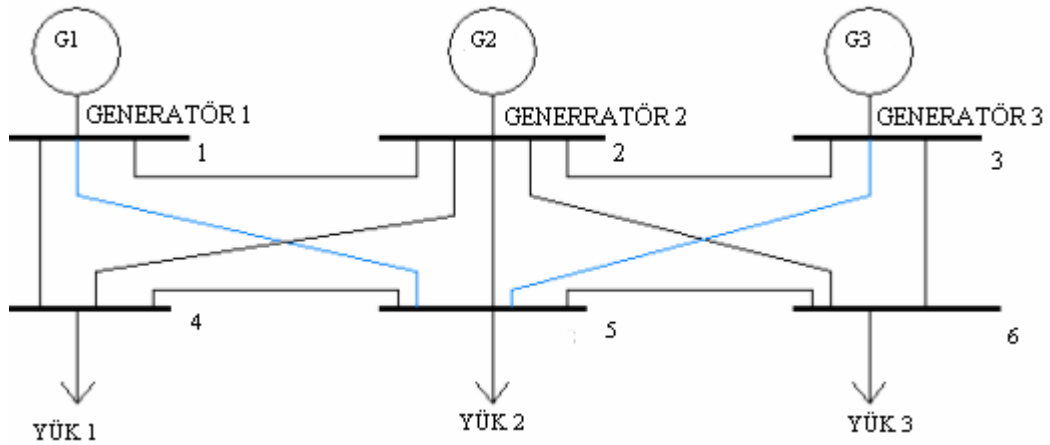
Yukarıda belirtilen üç yöntemin açıklanabilmesi maksadı ile N baralı sistemi en alt düzeyde temsil eden altı baralı örnek bir güç sistemi modeli için kritik değerlerin bulunması aşağıda ayrıntılı olarak verilmektedir. Ayrıca IEEE'nin dokuz baralı standart güç sistemi modeli kritik değerleri çözümleri de aşağıda verilmektedir.

5.2. Altı Baralı Örnek Güç Sisteminde Kritik Değerlerin Belirlenmesi

Gerilim kararlılığı açısından incelenecek olan altı baralı örnek sistem şekil 5.2'de verilmektedir. 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, beş ve altı numaralı yük baraları için kararlılık çalışması

yapılmaktadır. Bu üç yük barasının kritik aktif güç, gerilim genlik ve açı değerlerinin yük akışı programı ve bara indirgeme yöntemleri ile belirlenmesinin ardından aynı kritik değerler genetik algoritma yöntemi ile de bulunmaya çalışılacaktır. Ortaya çıkan sonuçlara göre gerilim kararlılığı kritik değerlerinin belirlenmesinde genetik algoritmanın yeni bir yöntem olarak kullanılıp kullanılmayacağı araştırılacaktır.

5.2.1. Örnek sistem ve verileri



Şekil 5.1. Altı baralı örnek sistem

Kararlılık sınır değerleri olan kritik değerleri bulunacak altı baralı örnek güç sisteminin hat verileri olan empedans ve admitans (kondüktans ihmal edildiğinden admitans değeri süseptans değerine eşittir.) elemanları olan R, X, B bileşenlerinin değerleri tablo 5.1’ de verilmektedir [118]. Bu değerler birim değer olarak verilmektedir.

Sistemin analizinde birim değer kullanılması durumunda, hesaplamalar bir faz üzerinden yapıldığından gerilimin ve gücün baz değeri de bir faz değeri olarak verilmektedir. Gerilim ve güç için baz değerler,

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

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

Olarak alınır.

Tablo 5.1. Altı baralı sistem hat verileri

HAT NO	R (b)	X (b)	B (b)
1.-2	0.1	0.2	0.04
1.-4	0.05	0.092	0.04
1.-5	0.08	0.2	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
5.-6	0.1	0.3	0.06

Şekil 5.2’de verilen altı baralı örnek güç sisteminin 1, 2 ve 3 numaralı generatör baralarına bağlı bulunan generatörlerin verileri tablo 5.2’de 4, 5 ve 6 numaralı baralarına bağlı yüklerin verileri de tablo 5.3’de verilmektedir.

Tablo 5.2. Altı baralı sistem generatör verileri

BARA NO	BARA TİPİ	ÜRETİM		AKTİF GÜÇ SINIRLARI		REAKTİF GÜÇ SINIRLARI		GERİLİM
		P(MW)	Q(MVAr)	P _{max} (MW)	P _{min} (MW)	Q _{max} (MVAr)	Q _{min} (MVAr)	
1	PV	200	50	0	0	100	-100	1..05
2	PV	150	37.5	50	0	100	-100	1..05
3	PV	180	45	60	0	60	-100	1..07

Tablo 5.3. Altı baralı sistem yük verileri

BARA NO	BARA TİPİ	YÜK DEĞERİ		GÜÇ AÇISI (DERECE)
		P(MW)	Q(MVAr)	
4	PQ	70	70	45
5	PQ	70	70	45
6	PQ	70	70	45

5.2.2. Yük akışı yöntemi ile kritik değerlerin bulunması

Şekil 5.2’de verilen örnek sistem için tablo 5.1, 5.2 ve 5.3’de verilen değerlerin kullanılması ile Newton Raphson yük akışı yöntemi ile yük akışı yapıldığında yük akışı sonuçları tablo 5.4’de verilmektedir [119]. Yük akışı simülasyon programı ile elde edilen değerlerin gerçek değerler olduğu kabul edilmektedir. Yük akışı programı, uygulanacak yöntemlere gerekli dataları sağlamak ve gerçek değerler ile uygulanan yöntemlerin verdiği değerleri karşılaştırmak için yapılır.

Tablo 5.4. Altı baralı sistemde herhangi bir durumdaki yük akışı sonuçları

BARA NO	P (KW)	Q (KVAr)	V (pu)	δ (DERECE)
1	49	10	1.05	0
2	50	45	1.05	-1.24
3	60	60	1.05	-1.59
4	15	15	1.03	-1.52
5	70	70	0.98	-3.24
6	70	70	0.99	-3.44

Yük akışı ile kritik değerler belirlenmek istenir ise bu durumda ilgilenilen yük barasının gücü, kritik noktaya gelinceye kadar belirli adım artımları ile arttırılması gereklidir. Altı baralı örnek sistemde dördüncü yük barası için kritik noktada bulunan yük akışı sonuçları tablo 5.5’de görüldüğü gibi olmaktadır. Dördüncü yük barası için yapılan çalışmanın aynısı güç sisteminin diğer yük baraları olan beşinci yük barası ve altıncı yük barası için de yapılması neticesinde bu yük baralarının sınır değerleri kritik değerler olarak elde edilmektedir.

Tablo 5.5. Dört numaralı yük barasının kritik değerlerini aldığı andaki yük akışı sonuçları

BARA NO	P (KW)	Q (KVAr)	V (pu)	δ (DERECE)
1	316	415	1..05	0
2	50	100	0.78	-8.85
3	60	60	0.78	-8.65
4	197.3	197.3	0.57	-14.57
5	70	70	0.71	-11.07
6	70	70	0.70	-12.22

Altı baralı güç sisteminde yük akışı yöntemi ile, sabit güç katsayısı altında çökme meydana gelene kadar yük baralarının aktif güç değerlerinin arttırılması ile elde edilen gerilim kararlılığı kritik değerleri tablo 5.6’da verilmektedir. Bu kritik değerler gerçek kritik değerler olarak dikkate alınmaktadır.

Tablo 5.6. Altı baralı örnek sistemde yük akışı yöntemi ile elde edilen gerçek kritik değerler

BARA NO	$P_{krk}(MW)$	$V_{krk}(pu)$	$\delta_{krk}(derece)$
4	197.3	0.57	-14.57
5	164.3	0.57	-14.87
6	143.99	0.58	-15.19

5.2.3. Bara indirgeme yöntemi ile kritik değerlerin bulunması

Yukarıda verileri ve yük kışı sonuçları verilen, şekil 5.2’deki örnek altı baralı güç sistemindeki dört, beş ve altı numaralı yük baraları için, bara indirgeme yöntemi ile iki baralı duruma indirilmesinin ardından, kritik değer formüllerinin kullanılması neticesinde güç sisteminin kritik değerlerinin elde edilmesi ayrıntılı olarak aşağıda belirtilmektedir. Bara indirgeme yöntemi olarak ifade edilen çalışmada güç sistemindeki kritik değerleri bulunmak istenilen yük barası ile salınım barası haricindeki tüm baralar admitans değerine çevrilerek elimine edilir. N baralı güç sistemi salınım barası ve ilgilenilen yük barasından ibaret olmak üzere iki baralı güç sistemi haline dönüştürülür.

5.2.3.1. Bara admitans matrisi

Altı baralı güç sisteminin verileri dikkate alındığında bara admitans matrisi,

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} & Y_{14} & Y_{15} & Y_{16} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} & Y_{24} & Y_{25} & Y_{26} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} & Y_{34} & Y_{35} & Y_{36} \\ Y_{41} & Y_{42} & Y_{43} & Y_{44} & Y_{45} & Y_{46} \\ Y_{51} & Y_{52} & Y_{53} & Y_{54} & Y_{55} & Y_{56} \\ Y_{61} & Y_{62} & Y_{63} & Y_{64} & Y_{65} & Y_{66} \end{bmatrix}$$

Olmak üzere,

$$Y = \begin{bmatrix} 4 - j11.75 & -2 + j4 & 0 & -1.18 + j4.71 & -0.83 + j3.11 & 0 \\ -2 + j4 & 9.33 - j23.20 & -0.77 + j3.85 & -4 + j8 & -1 + j3 & -1.56 + j4.45 \\ 0 & -0.77 + j3.85 & 4.16 - j16.57 & 0 & -1.46 + j3.17 & -1.92 + j9.61 \\ -1.18 + j4.71 & -4 + j8 & 0 & -5.3 - j15.13 & -0.13 + j2.5 & 0 \\ -0.83 + j3.11 & -1 + j3 & -1.46 + j3.17 & -0.13 + j2.49 & 4.42 - j14.63 & -1 + j3 \\ 0 & -1.56 + j4.45 & -1.92 + j9.61 & 0 & -1 + j3 & 4.48 - j17 \end{bmatrix}$$

Olarak ifade edilir

5.2.3.2. Bara yüklerinin admitansa çevrilmesi

Güç sistemini iki baralı duruma indirgenecektir. 4. yük barası için kritik değerlerin bulunması istediğinden 2, 3, 5 ve 6 numaralı baralar yok edilerek sistem 1-4 numaralı baralardan oluşan iki baralı hale dönüştürülür. Bu amaçla yük akışı yapılarak bulunan değerlerin kullanılması ile yok edilmek istenen 2, 3 ve 6 numaralı baraların aktif ve reaktif güç değerleri,

$$S_i = P_i + j * Q_i \quad (5.1)$$

$$\varphi_i = \tan^{-1} \left(\frac{Q_i}{P_i} \right) \quad (5.2)$$

$$z_i = \frac{v_i}{I_i} * e^{j * \varphi} = \frac{v_i^2}{v_i * I_i} * e^{j * \varphi} = \frac{v_i^2}{S_i} * e^{j * \varphi} \quad (5.3)$$

$$y_i = \frac{1}{z_i} \quad (5.4)$$

denklemleri yardımı ile şönt admitans değerlerine çevrilirler[11] Bu denklemlerde i indisi altı baralı örnek güç sistemi için, 4 numaralı yük barasını kritik değerleri arandığında 2 ,3,5, 6 değerlerini alır. Altı baralı güç sisteminde yok edilecek baralar için, tablo 5.4’de verilen yük akışı sonuç değerlerinin kullanılması neticesinde empedans değerleri ,

$$Z_2 = 1.2182 + j*1.0964$$

$$Z_3 = 0.9188 + j*0.9187$$

$$Z_5 = 0.6860 + j* 0.6860$$

$$Z_6 = 0.7001 + j* 0.7001$$

Olarak hesaplanır.

Admitans değerleri ise,

$$y_2 = 0.4535 - j*0.4082$$

$$y_3 = 0.5442 - j*0.5442$$

$$y_5 = 0.7289 - j*0.7289$$

$$y_6 = 0.7142 - j* 0.7142$$

olarak hesaplanır.

5.2.3.3. Admitansa çevrilen bara yüklerinin admitans matrisine eklenmesi

Akım yönleri de dikkate alınarak elde edilen şönt elemanlar bara admitans matrisine ilave edilir. Generatör barası güç değerleri için,

$$Y_{iiy} = Y_{ii} - y_i \quad (5.5)$$

Yük barası güç değerleri için ise ,

$$Y_{iiy} = Y_{ii} + y_i \quad (5.6)$$

İfadeleri elde edilir. Bu denklemlerde,

Y_{iiy} : Güç değerlerinin admitansa çevrilmesi ile bara admitans matrisine ilavesi sonucunda oluşan admitans matrisinin yeni köşegen elamanını

Y_{ii} : Güç sisteminin admitans matrisinin köşegen elamanını

y_i : bara gücünün admitan eşdeğerini ifade etmektedir.

Denklem 5.5. ve 5.6'da örnek altı baralı sistem için elde edilen veriler yerlerine yazılır ise oluşturulacak olan yeni bara admitans matrisinin yeni elamanlarının sayısal değerleri şu şekildedir,

$$Y_{22y} = 8.8748 - j*22.7873$$

$$Y_{33y} = 3.6115 - j*16.0231$$

$$Y_{55y} = 6.0222 - j*14.8667$$

$$Y_{66y} = 5.1963 - j*17.7189$$

5.2.3.4. Admitans matrisini 2X2 boyutuna indirmek için düzenlenmesi

Bara admitans matrisi üzerinde bara indirgeme işlemi yapılabilmesi için gerilim kararlılığı açısından kritik değerleri bulunmak istenilen yük barası ve salınım barası bara admitans matrisinin bir ve ikinci satır ve sütunlarında temsil edilmesi sağlanmalıdır. Bu amaçla matris üzerinde satır ve sütun işlemleri yapılır. Bu amaç ile örnek güç sisteminin bara admitans matrisinde ,

a) 1. satır ile 2. satır yer değiştirilir.

b) 1. satır ile 4. satır yer değiştirilir.

c) 1. sütun ile 2. sütun yer değiştirir

d) 1. sütun ile 4. sütun yer değiştirir.

Satır sütun değişiklikleri yapılır. Bu değişikliklerin yapılmasının ardından yeni bara admitans matrisinin elemanları ,

$$Y_y = \begin{bmatrix} Y_{44} & Y_{41} & Y_{43} & Y_{42} & Y_{45} & Y_{46} \\ Y_{14} & Y_{11} & Y_{13} & Y_{12} & Y_{15} & Y_{16} \\ Y_{34} & Y_{31} & Y_{33y} & Y_{32} & Y_{35} & Y_{36} \\ Y_{24} & Y_{21} & Y_{23} & Y_{22y} & Y_{25} & Y_{26} \\ Y_{54} & Y_{51} & Y_{53} & Y_{52} & Y_{55y} & Y_{56} \\ Y_{64} & Y_{61} & Y_{63} & Y_{62} & Y_{65} & Y_{66y} \end{bmatrix}$$

Şeklinde ifade edilir elemanların sayısal değerleri yerlerine yazıldığında yeni bara admitans matrisi,

$$\begin{bmatrix} 6.18 - j14.64 & -1.18 + j4.71 & 0 & -4 + j8 & -1 + j2 & 0 \\ -1.18 + j4.71 & 4 - j11.75 & 0 & -2 + j4 & -0.83 + j3.11 & 0 \\ 0 & 0 & 3.6 - j16.02 & -0.77 + j3.85 & -1.46 + j3.17 & -1.92 + j9.62 \\ -4 + j8 & -2 + j4 & -0.77 + j3.85 & -8.88 - j22.79 & -1 + j3 & -1.56 + j4.45 \\ -1 + j2 & -0.83 + j3.11 & -1.46 + j3.17 & -1 + j3 & 6.02 - j14.87 & -1 + j3 \\ 0 & 0 & -1.92 + j9.62 & -1.56 + j4.45 & -1 + j3 & 5.2 - j17.72 \end{bmatrix}$$

olarak ifade edilir.

5.2.3.5. Bara admitans matrisinin 2X2 boyutuna indirgenmesi

Bilinen bara indirgeme yöntemi ile bara admitans matrisi aşağıda gösterildiği gibi alt matrislere ayrılır.

$$Y_y = \left[\begin{array}{cc|cccc} Y_{44} & Y_{41} & Y_{43} & Y_{42} & Y_{45} & Y_{46} \\ Y_{14} & Y_{11} & Y_{13} & Y_{12} & Y_{15} & Y_{16} \\ \hline Y_{34} & Y_{31} & Y_{33y} & Y_{32} & Y_{35} & Y_{36} \\ Y_{24} & Y_{21} & Y_{23} & Y_{22y} & Y_{25} & Y_{26} \\ Y_{54} & Y_{51} & Y_{53} & Y_{52} & Y_{55y} & Y_{56} \\ Y_{64} & Y_{61} & Y_{63} & Y_{62} & Y_{65} & Y_{66y} \end{array} \right]$$

$$K = \begin{bmatrix} Y_{44} & Y_{41} \\ Y_{14} & Y_{11} \end{bmatrix}$$

$$L = \begin{bmatrix} Y_{43} & Y_{42} & Y_{45} & Y_{46} \\ Y_{13} & Y_{12} & Y_{15} & Y_{16} \end{bmatrix}$$

$$L^T = \begin{bmatrix} Y_{34} & Y_{31} \\ Y_{24} & Y_{21} \\ Y_{54} & Y_{51} \\ Y_{64} & Y_{61} \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} Y_{33y} & Y_{32} & Y_{35} & Y_{36} \\ Y_{23} & Y_{22y} & Y_{25} & Y_{26} \\ Y_{53} & Y_{52} & Y_{55y} & Y_{56} \\ Y_{63} & Y_{62} & Y_{65} & Y_{66y} \end{bmatrix}$$

$$[Y_{bara}]_{2 \times 2} = [K] - [L] * [M]^{-1} * [L^T] \quad (5.7)$$

Bilinen matris indirgeme yöntemi uygulanarak bara admitans matrisi 2X2'lik boyuta indirilmiş olur.

Sayısal değerler denklem 5.4'de yerine yazıldığında indirgenmiş yeni bara admitans matrisinin sayısal değeri,

$$[Y_{bara}]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} 3.0571 - j8.6608 & -2.9130 + j8.7461 \\ -2.9130 + j8.7461 & 3.0888 - j8.7785 \end{bmatrix}$$

5.2.3.6. İndirgenmiş iki baralı güç sisteminin A B sabitlerinin hesaplanması

Şekil 5.1'de verilen iki baralı güç sistemi eşdeğer devresi ile hattın empedans admitans değerleri belirlenir. Yukarıda verilen $[Y_{bara}]_{2 \times 2}$ bara admitans matrisi ifadesinin,

$$[Y_{bara}]_{2 \times 2} = \begin{bmatrix} y_{12} + y_1 & y_{12} \\ y_{12} & y_{12} + y_2 \end{bmatrix}$$

olması gerekliliğinin de göz önünde bulundurulması ile birlikte iletim hattı eşdeğer devresi bilinen denklemlerinin kullanılması neticesinde iki baralı hale indirgenen güç sisteminin A ve B sabitlerinin sayısal değerleri,

$$A = a_1 + j*a_2 = 0.99962 + j*0.0177$$

$$B = b_1 + j*b_2 = 0.0343 + j*0.1029$$

Olarak elde edilir.

5.2.3.7. Kritik değerlerin hesaplanması

Elde edilen A, B değerleri ve

$$V_s = 1.05 \text{ b}$$

$$\varphi = 45^\circ$$

sayısal değerleri ve tablo 5.4’de verilen yük akışı sonuç değerleri 4.32 , 4.33 , 4.34 , 4.35, 4.36, 4.37, 4.38 denklemlerinde yerlerine yazılır ise, dördüncü yük barasının kritik değerleri,

$$\text{Kritik yük açısı, } \delta_{\text{rkrt}} = -13.799 \text{ derece}$$

$$\begin{aligned} \text{Kritik gerilim, } V_{\text{rkrt}} &= 0.5403 \text{ b,} \\ V_{\text{rkrt}} &= 124.269 \text{ KV / faz} \end{aligned}$$

$$\text{Kritik güç, } P_{\text{rkrt}} = 189.61 \text{ MW}$$

Olarak hesaplanır. Bu değerler ile yük akışı yapıldığında kritik değer olarak bulunan değerlerin gerçek kritik değerler olmadığı anlaşılır. Bu durumda kritik değerleri aranan baranın yükü bir miktar arttırılarak şimdiye kadar yapılan tüm işlemler tekrarlanarak yeni kritik değerler hesaplanır. Bulunan değerler ile yük akışında yakınsamanın sağlanamadığı gerçek kritik değerler elde edilene kadar bu işlemlere devam edilir. Sonuçta dördüncü yük barası için gerçek kritik değerler,

$$\text{Kritik yük açısı, } \delta_{\text{rkrt}} = -15.273 \text{ derece}$$

$$\begin{aligned} \text{Kritik gerilim, } V_{\text{rkrt}} &= 0.5577 \text{ b,} \\ V_{\text{rkrt}} &= 128.271 \text{ KV / faz} \end{aligned}$$

Kritik güç, $P_{\text{rkrt}} = 198.46 \text{ MW}$

Olarak hesaplanır.

Örnek altı baralı güç sisteminde diğer yük baraları olan beş ve altı numaralı yük baraları için de kritik değerler aynı yöntem ile hesaplandığında beş numaralı yük barasının gerçek kritik değerleri,

Kritik yük açısı, $\delta_{\text{rkrt}} = -16.0277 \text{ derece}$

Kritik gerilim, $V_{\text{rkrt}} = 0.5590 \text{ b,}$
 $V_{\text{rkrt}} = 128.57 \text{ KV / faz}$

Kritik güç, $P_{\text{rkrt}} = 167.19 \text{ MW}$

Olarak hesaplanır. Altı numaralı yük barasının gerçek kritik değerleri ise,

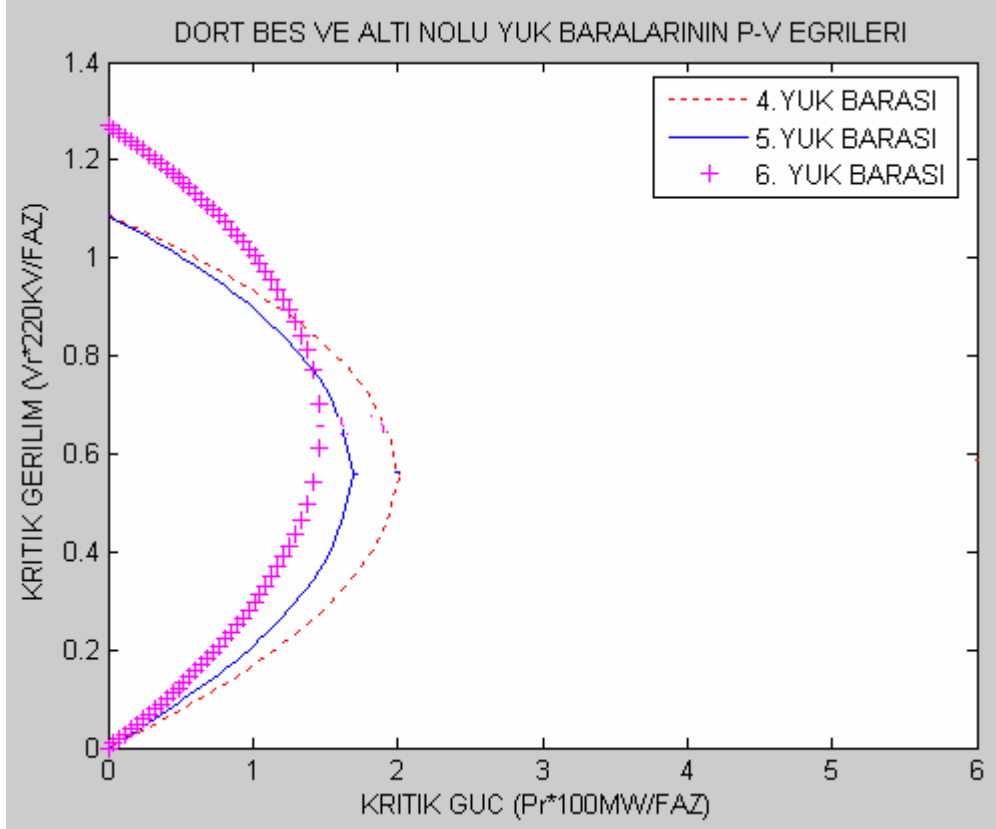
Kritik yük açısı, $\delta_{\text{rkrt}} = -13.708 \text{ derece}$

Kritik gerilim, $V_{\text{rkrt}} = 0.6559 \text{ b,}$
 $V_{\text{rkrt}} = 1150.857 \text{ KV / faz}$

Kritik güç, $P_{\text{rkrt}} = 146.13 \text{ MW}$

Olarak hesaplanır. .

İki baralı hale indirildikten sonra elde edilen A, B hat sabitlerinin kullanılması ile altı baralı güç sistemi için kritik derler p-v eğrileri ile toplu halde şekil 5.2’de olduğu gibi gösterilebilir.



Şekil 5.2 Örnek altı baralı sistemdeki yük baralarının P-V eğrileri

Yük akışı programı yöntemi ile elde edilen geçek kritik değerler tablo 5.6’da verilmektedir [74].Yük baralarının güçleri, yük akışı yöntemi ile elde edilen gerçek kritik aktif güç değerlerinin %25, %50, %75 ve %100 değerlerini aldıklarında bara indirgeme yöntemi ile bulunan kritik değerlere oranları

Tablo 5.7 Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları

P_i / P_{krk}	$P_{i(hes)} / P_{krk}$			$V_{i(hes)} / V_{krk}$			$\delta_{i(hes)} / \delta_{krk}$		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
0.25	0.997	1.000	0.862	0.968	0.972	0.986	0.986	1.030	0.922
0.50	1.010	1.032	0.912	0.979	0.992	1.029	1.002	1.051	0.962
0.75	1.012	1.027	0.930	0.980	0.989	1.044	1.007	1.060	0.958
1.00	99.87	1.027	1.015	0.982	0.987	1.031	1.028	1.076	0.968

Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları tablo 5.7’de verilmektedir. Bu tabloda ifade edilen kısaltmalar,

P_i / P_{krtk} : i. Baradaki gücün gerçek kritik güce oranı

$P_{i(hes)} / P_{krtk}$: Bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik gücün gerçek kritik güce oranı

$V_{i(hes)} / V_{krtk}$ Bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik gerilimin gerçek kritik gerilime oranı

$\delta_{i(hes)} / \delta_{krtk}$: Bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik yük açısının gerçek kritik yük açısının oranı

olarak ifade edilmektedirler.

5.2.4. Genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerin bulunması

Bu bölümde, yukarıda tanımlanan altı baralı örnek güç sistemindeki yük baralarının kritik değerleri genetik algoritma ile bulunmaktadır. Kararlılık sınır değerlerinin genetik algoritma ile bulunması, dört numaralı yük barası için aşama aşama aşağıda ayrıntılı olarak açıklanmaktadır. Diğer yük baralarının da kritik değerleri genetik algoritma ile bulunmakta ve sonuçlar tablo halinde verilmektedir.

5.2.4.1. Uygunluk fonksiyonunun belirlenmesi

Uygunluk fonksiyonu amaç fonksiyonu ve kısıt fonksiyonunun toplamıdır. Amaç fonksiyonu, dört numaralı yük barası için denklem 4.20’de ifade edilen aktif güç ifadesidir. Bu ifadede V_s hat başı gerilimi değeri 230 KV baz değeri dikkate alınmak şartı ile birim değer olarak 1.05 , a_1 , a_2 , b_1 , b_2 ifadeleri yerlerine de yukarıda tablo 5.4’de verilen yük akışı sonuçlarının kullanılması ile bara indirgeme yöntemi sayesinde hesaplanan,

$$A = a_1 + j*a_2 = 0.99962 + j*0.0177$$

$$B = b_1 + j*b_2 = 0.0343 + j*0.1029$$

Değerleri yazılmasının ardından amaç fonksiyonu (A.F.),

$$P_r = 3.06 * v_r * \cos \delta + 9.18 * \sin \delta * v_r - 3.07 * v_r^2$$

Olarak elde edilir.

Aynı değerler 4.21'deki reaktif güç ifadesinde yerine yazılı ise,

$$Q_r = 9.18 * v_r * \cos \delta - 3.06 * v_r * \sin \delta - 8.69 * v_r^2$$

Reaktif güç ifadesi elde edilir. Yükün güç katsayısı 1 olduğundan güç açısı (ϕ) 45^0 olmaktadır. Kısıt fonksiyonu (K.F.) ise,

$$K.F. = Q_r - P_r * \tan \phi$$

Ceza fonksiyonu (C.F.) ise

$$C.F. = 1 * (K.F.)^2$$

Uygunluk fonksiyonu (U.F.) ise,

$$U.F. = 6 * 10^5 + (P_r - 1 * (Q_r - P_r * \tan \phi)^2)$$

$$U.F. = 6 * 10^5 + [(3.06 * v_r * \cos \delta + 9.18 * \sin \delta * v_r - 3.07 * v_r^2) - (9.18 * v_r * \cos \delta - 3.06 * v_r * \sin \delta - 8.69 * v_r^2 - \tan(45^0) * (3.06 * v_r * \cos \delta + 9.18 * \sin \delta * v_r - 3.07 * v_r^2))^2]$$

Olarak ifade edilir.

Uygunluk fonksiyonu değişkenlerinin olabilecek en büyük değişim aralığı,

$$0 \leq v_r \leq 1.05 \quad (\text{birim değer})$$

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

olarak alınmaktadır.

5.2.4.2. Başlangıç popilasyonunun belirlenmesi

Elemanları ikilik sayı sistemi elemanları olan başlangıç popilasyonunun bir satırının toplam bit sayısı ve toplam satır sayısı olan popilasyon sayısı değerleri, denklem 3.4 ve denklem 3.5 ile,

$$\ell = \ell_1 + \ell_2 = 9 + 9 = 18 ,$$

$$\text{P.S.} = 24 ,$$

Olarak belirlenir.

Eleman dizilişleri rast gele program sayesinde oluşturulması ile örnek altı baralı güç sisteminde dört numaralı yük barasının kritik değerlerinin genetik algoritma ile aranmasına başlanabilmesi için başlangıç popilasyonu tablo 5.8’de verilmektedir.

Tablo 5.8. Başlangıç Popilasyonu

Birey No	V_r										δ									
1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1		
2	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1		
3	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		
24	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0		

5.2.4.3. Genetik algoritma aşamalarının gerçekleştirilmesi ile kritik değerlerin belirlenmesi

Tablo 5.8.'de verilen ikilik sayı sistemi ile ifade edilen ,başlangıç popilasyonunun her bir bireyini (satırını) oluşturan değişken değerlerinin onluk sayı sistemine çevrilmesinin ardından , uygunluk fonksiyonu ifadesinde yerine yazılması ile 24 adet uygunluk fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bunlardan en büyük değeri veren iki birey elitizm ile seçilir. Popilasyonun geriye kalan elemanları aralarında seçim, çaprazlama ve mutasyon işlemleri ile 22 adet yeni birey meydana getirmeleri sonucunda bunlar, seçilen 2 elit birey ile birlikte yeni bir popilasyon oluşturur.

Bu örnekte seçim ve çaprazlaam işlemlerini gerçekleştirmek amacı ile turnuva seçim yöntemi ve düzenli (uniform) çaprazlama yöntemi uygulanmaktadır. Mutasyon oranı 0.04 olarak kullanılmaktadır.

Her popilasyon bir generasyon demektir. Algoritma birkaç defa çalıştırılarak uygun generasyon sayısı belirlenir.Bu örnekteki generasyon sayısı 250 olarak alınmıştır. Genetik algoritma programı çalıştırıldığında, her generasyonda elde edilen en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değeri,

$$\text{Generasyon } n : f (\mathbf{V}_r , \delta) = \dots\dots\dots$$

Olarak ekranda görünmesi program ile sağlanmaktadır.. Bu ifade genetik algoritma yöntemi ile aranılan kritik güç, kritik gerilim ve kritik açı değerlerini belirtmektedir

Örnek altı baralı güç sisteminde dördüncü yük barası için kritik değerlerin arandığı genetik algoritma programı çalıştırıldığında, her bir generasyonda bulunan en büyük aktif güç değerlerini veren uygunluk fonksiyonu değerleri,

$$\text{Generasyon 1: } f(0.932, 0.156)=599944.000$$

$$\text{Generasyon 2: } f(0.888, 0.062)=599994.224$$

$$\text{Generasyon 3: } f(0.403, 0.250)=599997.591$$

Generasyon 4: $f(0.403, 0.250)=599997.591$

• • •
• • •

Generasyon 10: $f(0.857, 0.109)=600001.146$

• • •
• • •

Generasyon 15: $f(0.754, 0.150)=600001.575$

Generasyon 16: $f(0.413, 0.285)=600001.604$

Generasyon 17: $f(0.705, 0.167)=600001.624$

• • •
• • •

Generasyon 38: $f(0.400, 0.296)=600001.742$

Generasyon 39: $f(0.517, 0.250)=600001.886$

Generasyon 40: $f(0.520, 0.250)=600001.894$

• • •
• • •

Generasyon 46: $f(0.521, 0.250)=600001.895$

• • •
• • •

Generasyon 88: $f(0.549, 0.238)=600001.897$

• • •
• • •

Generasyon 250: $f(0.535, 0.244)=600001.897$

Olarak elde edilir. Uygunluk fonksiyonu ifadesi dikkatli bir şekilde incelenecek olursa fonksiyonun negatif değer almaması için 600000 sayısı ilave edilmişti. Kritik güç değeri başta eklediğimiz bu sayıyı düşüğümüz zaman elde ettiğimiz değerdir.

Uygunluk fonksiyonu içinde yer alan caza fonksiyonu ifadesi birkaç generasyon sonunda sifıra yaklaşmakta ve daha sonra sıfır olmaktadır. Bu nedenle uygunluk fonksiyonu artık amaç fonksiyonuna eşit olmaktadır.

Generasyon 250: $f(0.535, 0.244) = 600001.897$ (birim değer)

İfadesi kritik değerleri verir, burada dört numaralı yük barasının kritik güç değeri,

$$P_{\text{rkrt}} = 600001.897 - 600000 = 1.897 \text{ b}$$

Olarak elde edilir. Baz olarak seçilen güç değeri 100 MVA olduğundan, dört numaralı yük barasının gerçek kritik güç değeri

$$P_{\text{rkrt}} = 189.7 \text{ MW}$$

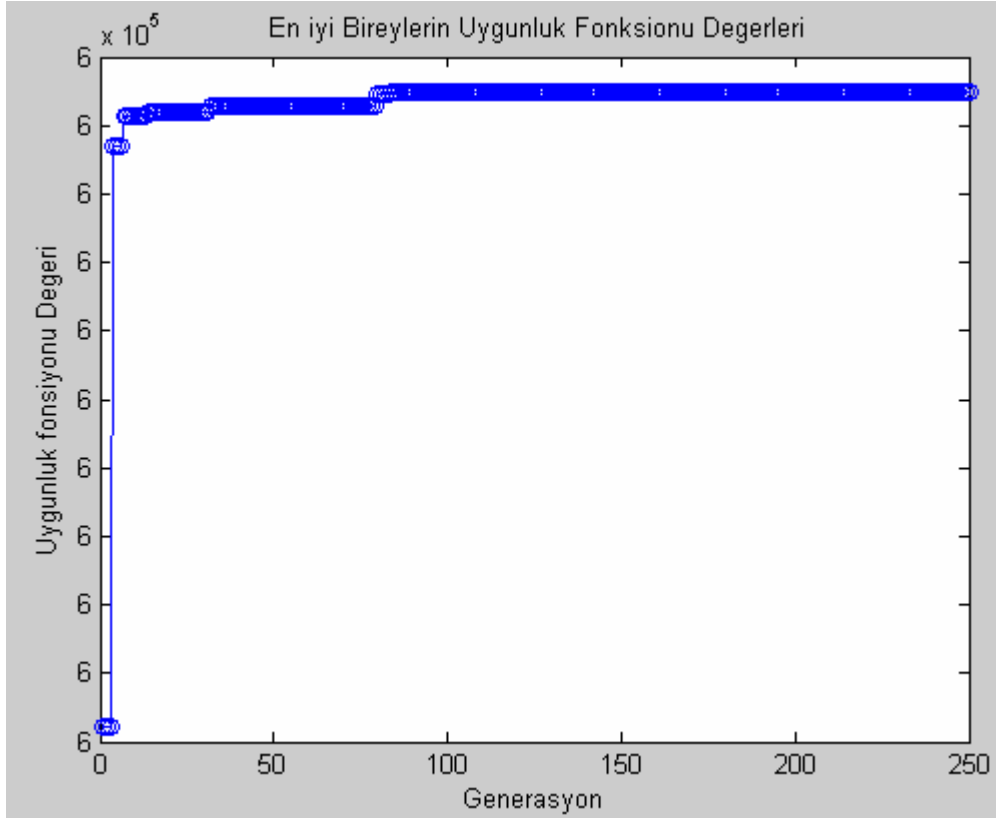
Olarak genetik algoritma yöntemi ile bulunur.

Açı ve gerilimin kritik değerleri ise,

$$\text{Kritik yük açısı , } \delta_{\text{rkrt}} = 0.244 \text{ radyan} = 13.98 \text{ derece}$$

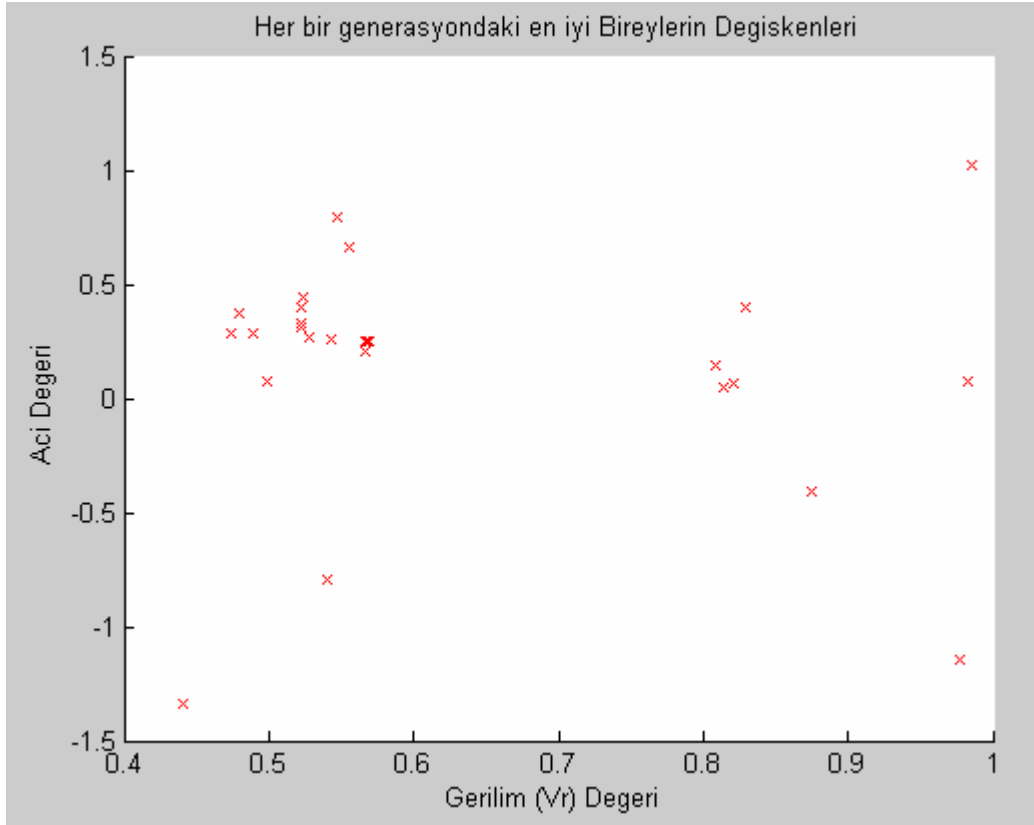
$$\begin{aligned} \text{Kritik gerilim , } V_{\text{rkrt}} &= 0.535 \text{ b,} \\ V_{\text{rkrt}} &= 123.05 \text{ KV / faz} \end{aligned}$$

Olarak bulunur. Genetik algoritmanın generasyonları ile kritik değerleri bulmasını bir grafik olarak ifade etmesi istenirse bu durum şekil 5.3 de belirtilmektedir.



Şekil 5.3. Dört numaralı yük barsı için genetik algoritmanın her bir generasyonunun en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi

Şekil 5.3’de gösterilen değişim örnek altı baralı sistemde dört numaralı yük barasının kritik güç değerinin değişimidir. Uygunluk fonksiyonu kritik güç değerini verdiğinde bu fonksiyonun değişkenleri olan , bara gerilim genlik ve açı değerlerinin (V_r , δ) aldığı değerler de kritik gerilim ve kritik açı değeridir. Genetik algorithmada sadece gücün kritik değeri değil aynı zamanda gerilimin ve açının kritik değerleri de aranmaktadır. Bu durum şekil 5.4’de ifade edilmektedir.



Şekil 5.4. Dört numaralı yük barası için genetik algoritma ile kritik gerilim ve kritik açının aranması

Dört numaralı bara 15 MW yüke sahipken genetik algoritma ile bulunan kritik değerler , ile yük akışı yapılması ile bu değerlerin gerçek kritik değer olup olmadığı test edilir. Eğer bulunan değerler gerçek kritik değerler değil ise bu durumda bara belli bir oranda artırılarak aynı işlemler gerçek kritik değerlere ulaşıncaya kadar tekrar ettirilir. Genetik algoritma ile bulduğumuz değerler ile yük akışı yapıldığında bu değerlerin gerçek kritik değerler olmadığı anlaşılır. Yük artırımları ile genetik algoritma ile bulunan gerçek kritik değerler,

Generasyon 250 : (0.556, 0.267)=600001.976

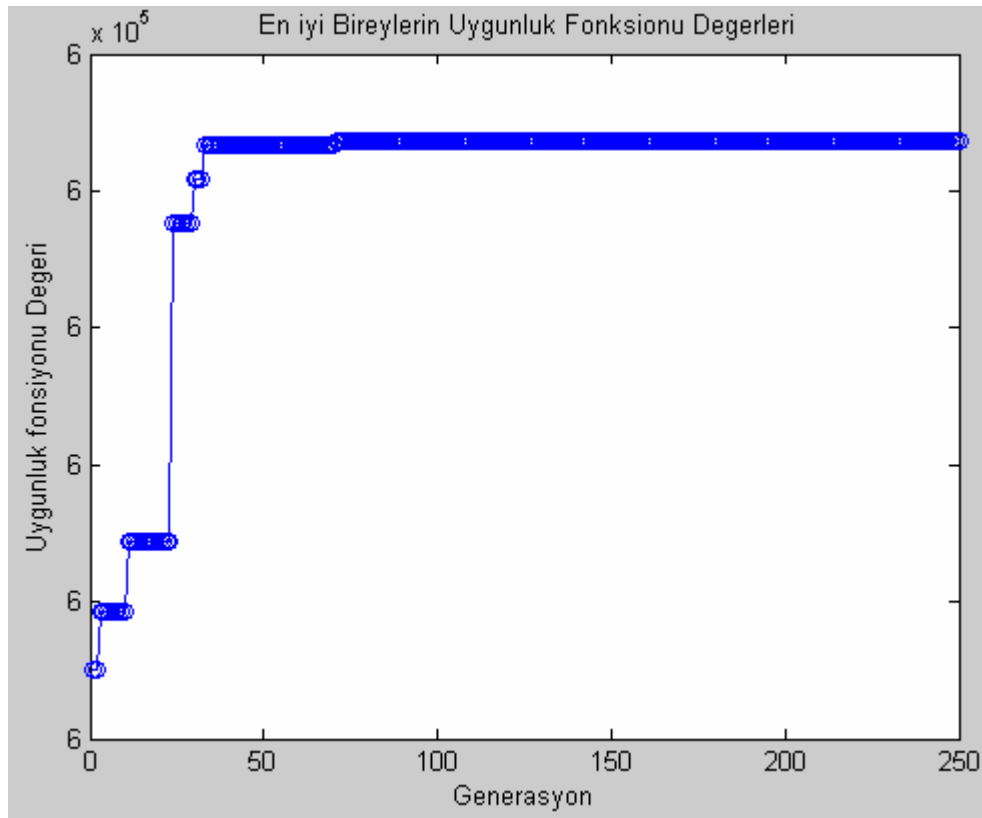
Olmaktadır. Buna göre altı baralı güç sistemindeki dört numaralı yük barasının genetik algoritma yöntemi ile bulunan gerçek kritik değerleri ,

Kritik yük açısı, $\delta_{krt} = 0.267$ radyan = 15.298 derece

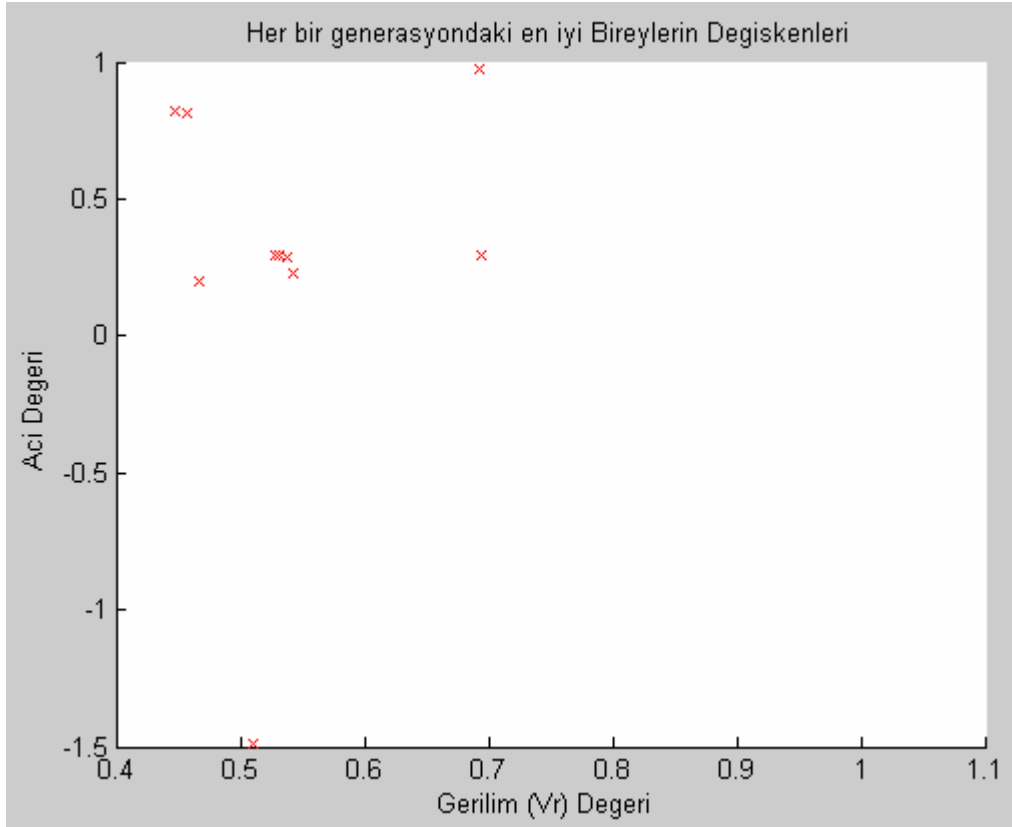
Kritik gerilim, $V_{\text{rkt}} = 0.556 \text{ b,}$
 $V_{\text{rkt}} = 127.88 \text{ KV / faz}$

Kritik güç, $P_{\text{rkt}} = 197.6 \text{ MW}$

Olarak bulunur. Altı baralı güç sisteminin diğer yük baraları olan beş ve altıncı baraların da kritik değerleri genetik algoritma ile bulunmaktadır. Beş numaralı yük barasının genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerinin elde edilmesi için her bir generasyondaki en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi şekil 5.5’de gösterilmektedir. Genetik algoritma ile kritik aktif güç değeri bulunmaya çalışılırken kritik gerilim genlik ve kritik açı değerinin değişimleri ise şekil 5.6’da gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Beş numaralı yük barsı için genetik algoritmanın her bir generasyonunun en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi



Şekil 5.6. Beş numaralı yük barası için genetik algoritma ile kritik gerilim ve kritik açının aranması

Beş numaralı yük barasının genetik algoritma ile bulunan kritik değerleri ,

Generasyon 250: $f(0.565, 0.279)=600001.689$

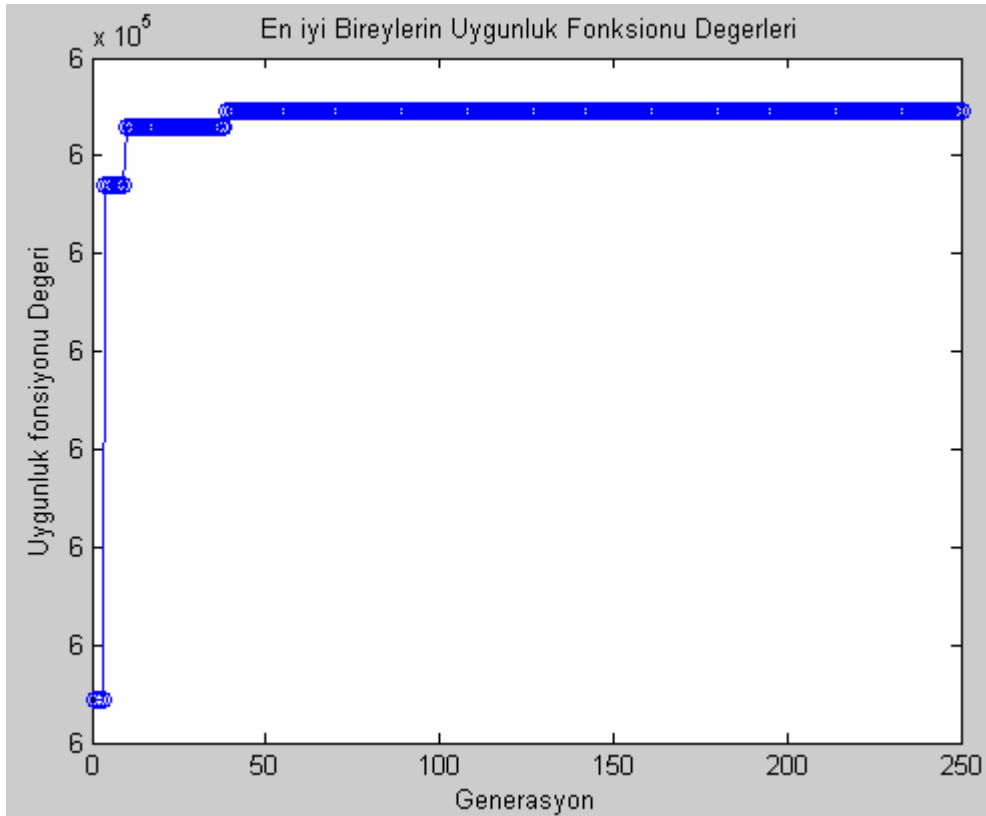
Kritik yük açısı, $\delta_{\text{rkrt}} = 0.279$ radyan = 15.986 derece

Kritik gerilim, $V_{\text{rkrt}} = 0.565$ b,
 $V_{\text{rkrt}} = 129.95$ KV / faz

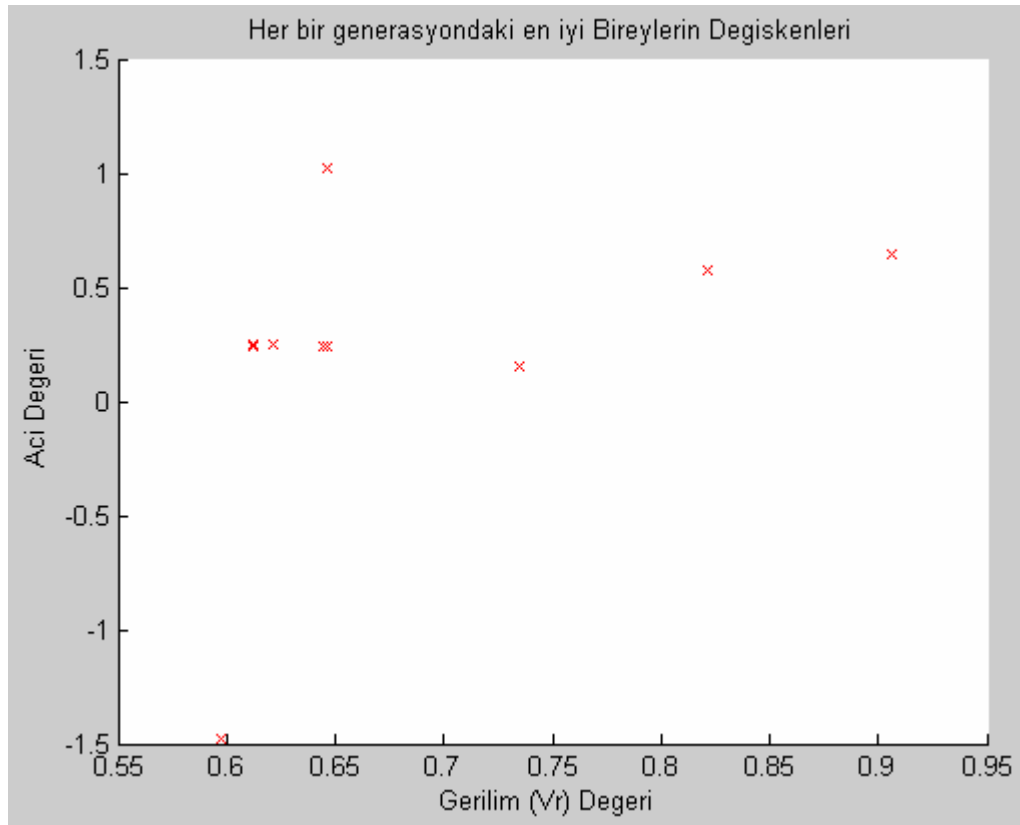
Kritik güç, $P_{\text{rkrt}} = 168.9$ MW

Olarak ifade edilir.

Altı numaralı yük barasının genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerinin elde edilmesi için her bir generasyondaki en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi şekil 5.7’de gösterilmektedir. Genetik algoritma ile kritik aktif güç değeri bulunmaya çalışılırken kritik gerilim genlik ve kritik açı değerinin değişimleri ise şekil 5.8’de gösterilmektedir.



Şekil 5.7. Altı numaralı yük barsı için genetik algoritmanın her bir generasyonunun en büyük değerli uygunluk fonksiyonu değerlerinin değişimi



Şekil 5.8. Altı numaralı yük barası için genetik algoritma ile kritik gerilim ve kritik açının aranması

Altı numaralı yük barasının genetik algoritma ile bulunan kritik değerleri ise,

Generasyon 250: $f(0.632, 0.250)=600001.461$

Kritik yük açısı, $\delta_{rkt} = 0.250$ radyan = 14.324 derece

Kritik gerilim, $V_{rkt} = 0.632$ b ,
 $V_{rkt} = 145.36$ KV / faz

Kritik güç, $P_{rkt} = 146.1$ MW

Olarak elde edilir. Yük baralarının güçleri, yük akışı yöntemi ile elde edilen gerçek kritik güç değerlerinin %25 , %50 , %75 ve %100 değerlerini aldıklarında genetik algoritma yöntemi ile bulunan kararlılık sınır değerlerinin oranları tablo 5.9' da verilmektedir.

Tablo 5.9. Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde genetik algoritma ile bulunan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları

P_i / P_{krtk}	$P_{i(GA)} / P_{krtk}$			$V_{i(GA)} / V_{krtk}$			$\delta_{i(GA)} / \delta_{krtk}$		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
0.25	0.997	1.000	0.913	0.949	0.949	0.974	1.026	1.052	1.234
0.50	1.011	1.028	0.915	0.974	0.946	1.001	1.026	1.098	1.066
0.75	1.008	1.026	0.930	1.005	0.974	1.012	1.003	1.075	1.042
1.00	1.001	1.028	1.015	0.977	0.991	1.089	1.050	1.075	1.022

Tablo 5.9’da yer alan kısaltmalar ,

$P_{i(GA)} / P_{krtk}$: Genetik Algoritma ile bulunan kritik gücün gerçek kritik güce oranı

$V_{i(GA)} / V_{krtk}$ Genetik Algoritma ile bulunan kritik gerilimin gerçek kritik gerilime oranı

$\delta_{i(GA)} / \delta_{krtk}$: Genetik Algoritma ile bulunan kritik yük açısının gerçek kritik yük açısına oranı

olarak ifade edilmektedir.

5.2.5. Altı baralı güç sisteminde salınım barasının değişmesi halinde kritik değerlerin değişimi

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 tablo 5.10’da gösterilmektedir. Örnek güç sistemi üzerindeki uygulamada salınım barası değiştirilirken, daha önce salınım barası olarak seçilen generatör barası verileri ile yeni salınım barası seçilen farklı generatör barası verileri yer değiştirilmektedir.

Tablo 5.10. Altı baralı sistemde salınım barasının değişmesi durumunda kritik değerlerin değişimi

Salınım Barası No	P_{ikrtk}			V_{ikrtk}			δ_{ikrtk}		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
1	197	164	144	0.57	0.57	0.58	-14.57	-14.87	-15.19
2	281	230	224	0.54	0.54	0.55	-13.57	-16.10	-17.37
3	188	221	314	0.59	0.61	0.58	-16.47	-16.06	-19.85

5.2.6. Altı baralı güç sistemindeki iletim hatlarından bazılarının açması durumunda kritik değerleri değişimi

Güç sistemindeki iletim hatlarından bir veya birkaç tanesinin kısa devre, bakım gibi herhangi bir neden ile devre dışı kalması durumunda gerilim kararlılığı kritik değerleri de değişmektedir. Örnek teşkil etmesi bakımından altı baralı örnek güç sistemindeki en tehlikeli durum olarak düşünülen, salınım barasına bağlı paralel hatlar olan, 1-4 numaralı baralar arasındaki iletim hattının bir arıza sonucu devre dışı kaldığı varsayımı ile arıza öncesi ve sonrasındaki güç sisteminin kritik değerlerinin değişimleri tablo 5.11’de gösterilmektedir.

Tablo 5.11. Altı baralı sistemde 1-4 numaralı baralar arasındaki iletim hattının devrede olup olmama durumlarında kritik değerleri değişimi

Hat 1-4	P_{ikrtk}			V_{ikrtk}			δ_{ikrtk}		
	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara	4.Bara	5.Bara	6.Bara
Devrede	197	164	144	0.57	0.57	0.58	-14.57	-14.58	-15.19
Devre Dışı	96	120	106	0.58	0.47	0.50	-13.98	-17.02	-17.02

Tablo 5.11’de salınım barasına paralel bağlı tüm hatların normal işletme şartlarında çalışmalarını sürdürdükleri ve yük akışı görevlerini yerine getirdikleri, devrede kelimesi ile belirtilirken, hatların yük akışı görevlerini sürdüremedikleri devre dışı kelimesi ile ifade edilmiştir. Güç sisteminde bazı iletim hatlarının devre dışında kalması durumunda yük baralarının kritik aktif güç değerleri önemli ölçüde azaldıkları görülmektedir. Hat açmaları maksimum güç transferi açısından olumsuz bir durum oluşturmaktadır.

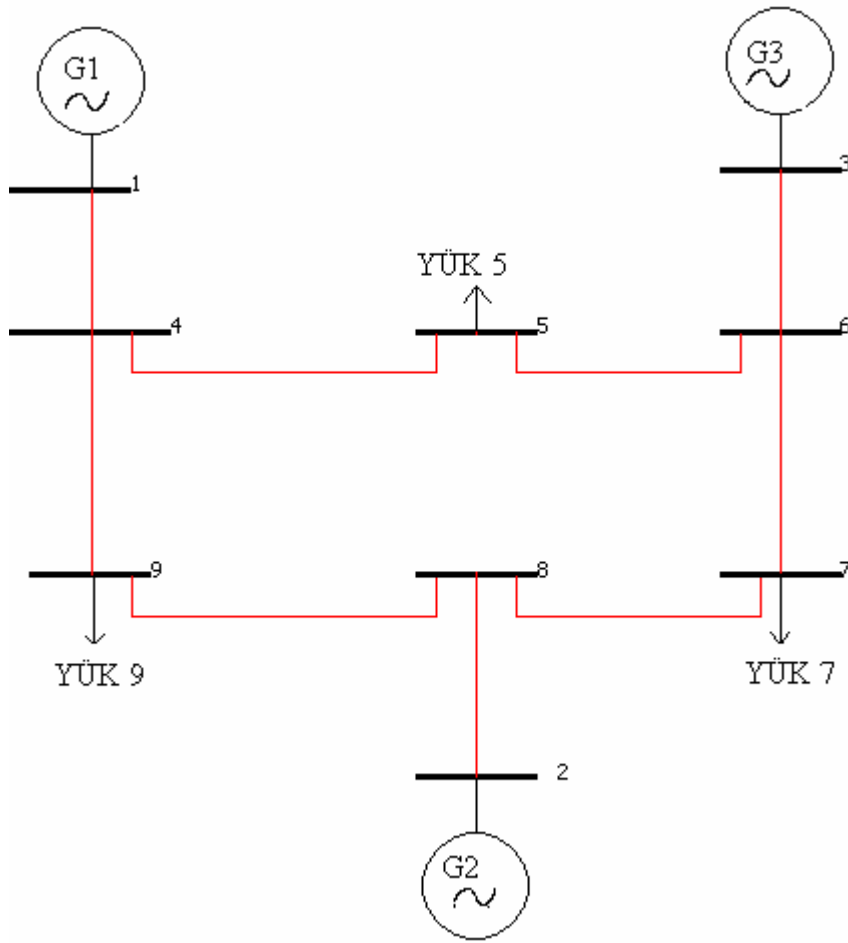
5.3. IEEE'nin Standart Dokuz Baralı Güç Sisteminin Kritik Değerlerinin Belirlenmesi

Dokuz baralı örnek sistemde beş, yedi ve dokuz numaralı yük baralarının kararlılık sınırlarını ifade eden kritik değerler olan, kritik aktif güç (P_{krk}), kritik gerilim genlik (V_{krk}) ve kritik açı (δ_{krk}) değerleri üç farklı yöntem ile bulunmaktadır. Bu yöntemler ;

- 1) Yük akışı programı yöntemi ile sistemde çökme meydana gelene kadar yük artırımı yapılması neticesinde kritik değerlerin belirlenmesi
- 2) Bara indirgeme yöntemi ile sistemde salınım ve ilgili yük barası haricindeki baraların yok edilmesinden sonra, iki baralı sistem için geliştirilen analitik formüller yardımı ile kritik değerlerin belirlenmesi
- 3) Genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerin belirlenmesi

Örnek güç sisteminin beş yedi ve dokuz numaralı yük baralarını kritik değerlerinin bulunabilmesi için gerekli data ları elde etmek amacı ile IEEE'nin dokuz baralı standart güç sistemi tek hat şeması şekil 5.9'da, hat verileri tablo 5.12'de, generatör ve yük verileri ise tablo 5.13'de verilmektedir. [120]

5.3.1. Dokuz baralı örnek sistem ve verileri



Şekil 5.9. IEEE'nin örnek dokuz baralı güç sistemi

Tablo5. 12. IEEE' nin dokuz baralı sistem hat verileri

HAT NO	R(pu)	X(pu)	B(pu)
1.-4	0	0.0576	0
4.-5	0.017	0.092	0.158
6.-5	0.039	0.17	0.358
3.-6	0	0.1008	0
6.-7	0.0119	0.072	0.149
8.-7	0.0085	0.072	0.149
2.-8	0	0.0625	0
8.-9	0.032	0.161	0.306
4.-9	0.01	0.085	0.176

Tablo 5.13. IEEE' nin Dokuz Baralı Sistem Generatör ve Yük Verileri

BARA NO	BARA TİPİ	ÜRETİM		YÜK		GERİLİM (b)	REAKTİF GÜÇ LİMİTLERİ	
		P(MW)	Q(MVAr)	P(MW)	Q(MVAr)		$Q_{min}(MVAr)$	$Q_{max}(MVAr)$
1	PV	SALINIM BARASI				1.04		
2	PV	163	0			1.03	-40	40
3	PV	85	0			1.04	-40	40
4	PQ							
5	PQ			90	30			
6	PQ							
7	PQ			100	35			
8	PQ							
9	PQ			125	50			

5.3.2. Yük akışı ile bulunan gerçek kritik değerler

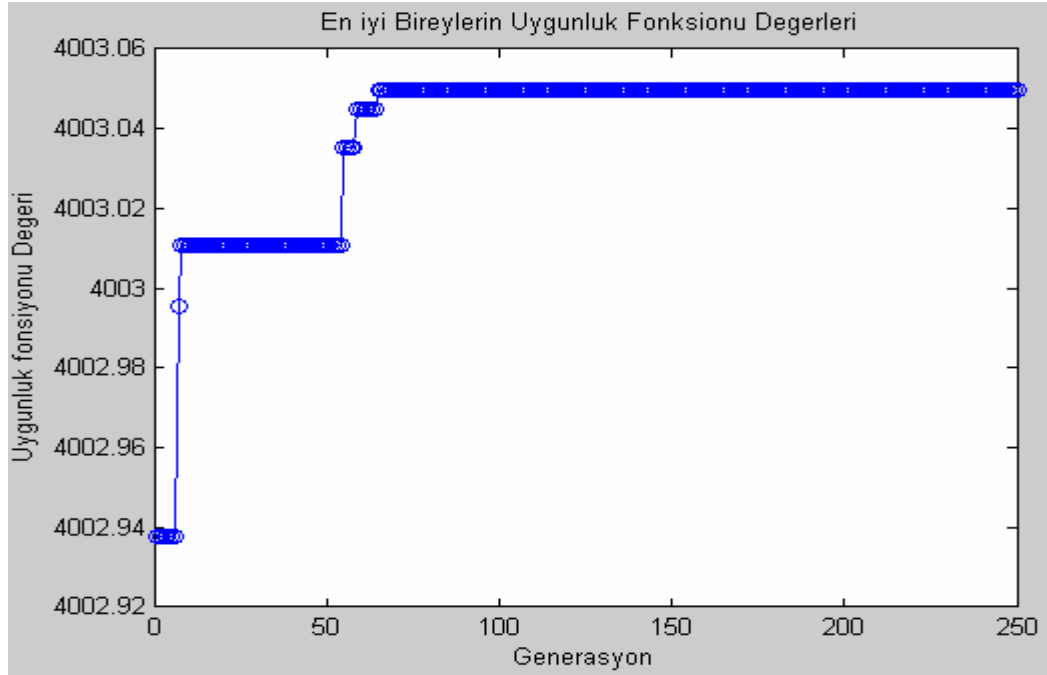
Yük kaşı programı ile [119] dokuz baralı sistemde her bir yük barası için yakınsamanın sağlanamadığı duruma kadar aktif güç değerlerinin aşama aşama artırılması ile elde edilen gerçek kritik değerler tablo 5.14'de verilmektedir.

Tablo 5.14. IEEE dokuz baralı güç sisteminde yük akışı ile bulunan kritik değerler

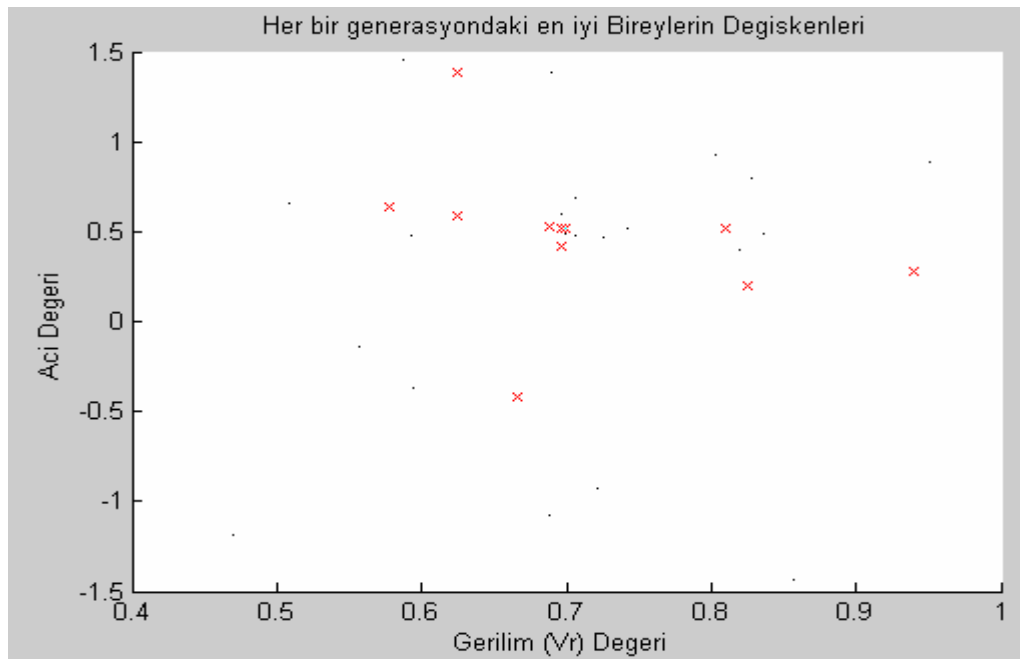
BARA NO	$P_{krtk}(MW)$	$V_{krtk}(pu)$	$\delta_{krtk}(derece)$
5	302	0.74	-26.96
7	260	0.78	-22.71
9	318	0.74	-24.31

5.3.3. Bara indirgeme yöntemi ve genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerin belirlenmesi

Yük baralarının aktif güçlerinin sabit güç katsayıları altında, yük akışı programı ile elde edilen gerçek kritik gücün %25, %50, %75 ve %100 değerlerini aldığıında, bara genetik algoritma yöntemi ile dokuz baralı örnek sisteminin kritik değerlerinin elde edilişleri şekil 5.10, 5.11, 5.12, 5.13, 5.14, 5.15, 'de ayrı ayrı verilmektedir..



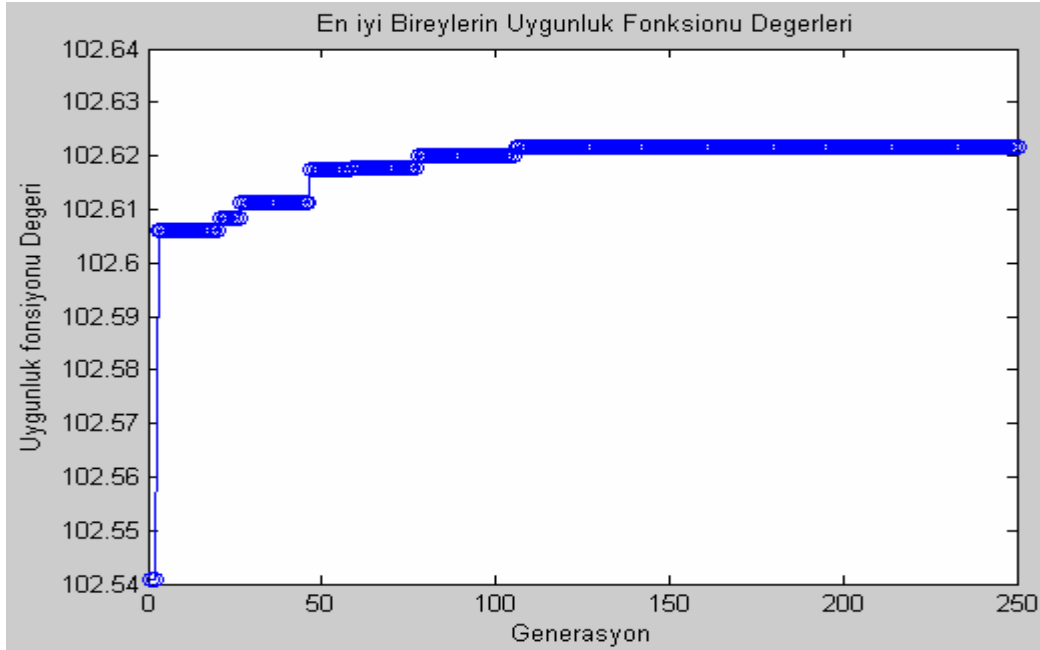
Şekil 5.10. IEEE 9 baralı sistemdeki beş numaralı yük barasının kritik aktif güç değerinin GA yöntemi ile elde edilmesi



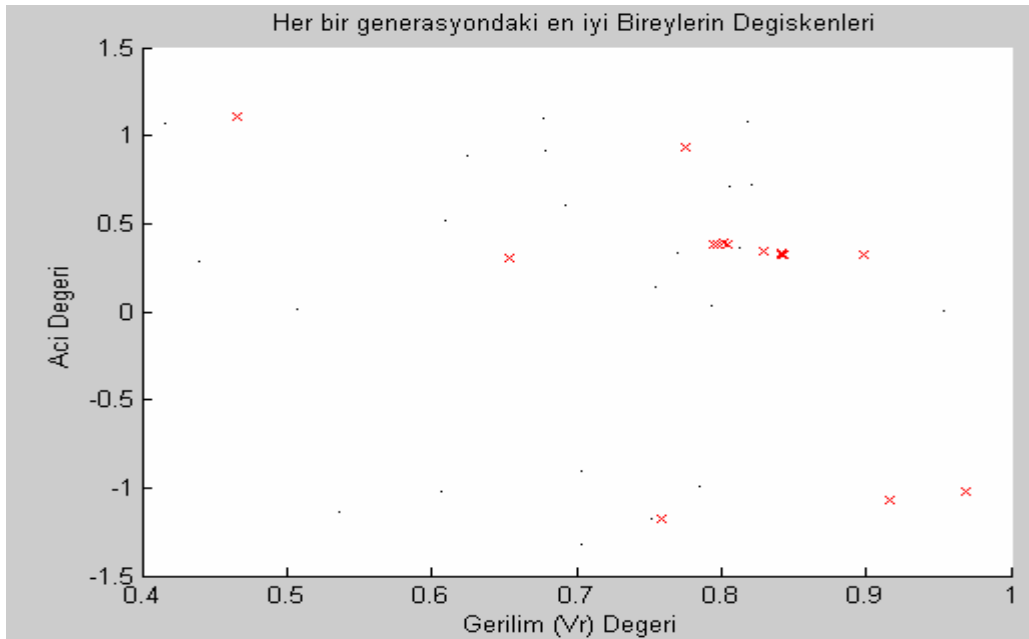
Şekil 5.11. IEEE 9 baralı sistemdeki beş numaralı yük barasının kritik gerilim ve açı değerinin GA yöntemi ile elde edilmesi

Generation 250: $f(0.688, 0.525)=4003.041$ (K= 4000)

Kritik değerler ; $P_{5krk} = 304$ MW , $V_{5krk} = 0.688$ b. $\delta_{5krk} = 0.525$ rad.



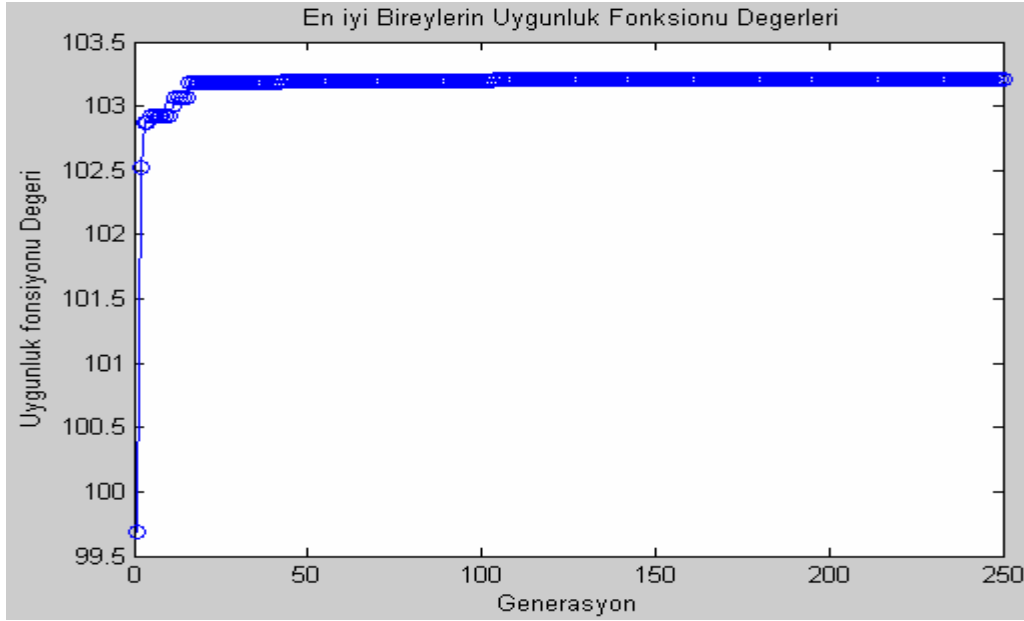
Şekil 5.12. IEEE 9 baralı sistemdeki yedi numaralı yük barasının kritik aktif güç değerinin GA yöntemi ile elde edilişi



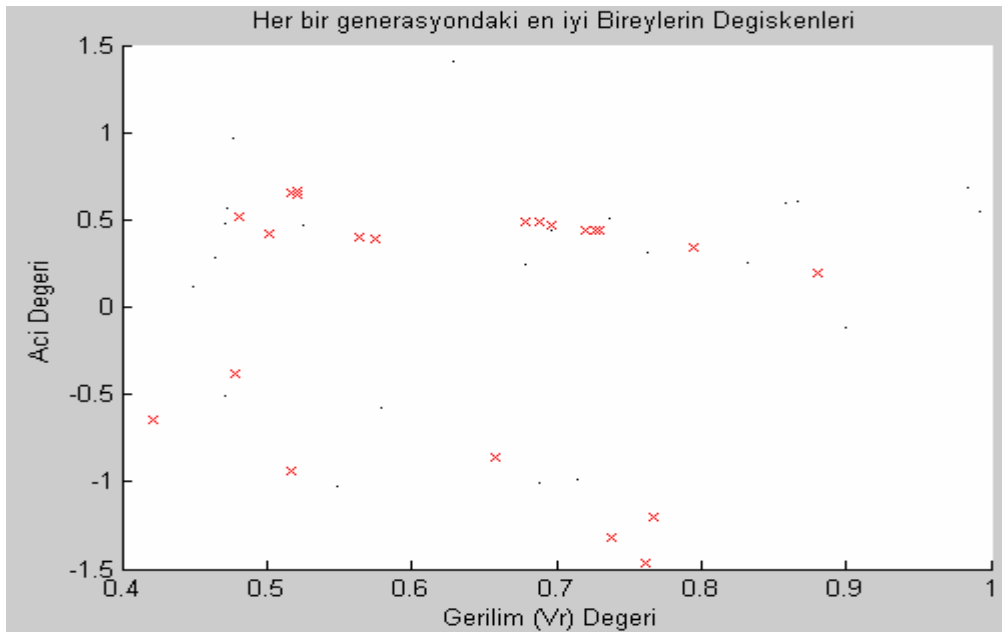
Şekil 5.13. IEEE 9 baralı sistemdeki yedi numaralı yük barasının kritik gerilim ve açı değerinin GA yöntemi ile elde edilişi

Generation 250: $f(0.830, 0.343)=102.622$ ($K=100$)

Kritik değerler ; $P_{7krtk} = 262$ MW , $V_{7krtk} = 0.83$ b. $\delta_{7krtk} = 0.343$ rad.



Şekil 5.14. IEEE 9 baralı sistemdeki dokuz numaralı yük barasının kritik aktif güç değerinin GA yöntemi ile elde edilişi



Şekil 5.15. IEEE 9 baralı sistemdeki dokuz numaralı yük barasının kritik gerilim ve açı değerinin GA yöntemi ile elde edilişi

Generation 250: $f(0.686, 0.473)=103.204$ ($K=100$)

Kritik değerler ; $P_{9krk} = 321$ MW, $V_{9krk} = 0.697$ b., $\delta_{9krk} = 0.484$ rad.

Yük baralarının aktif güçlerinin sabit güç katsayıları altında, yük akışı programı ile elde edilen gerçek kritik gücün %25, %50, %75 ve %100 değerlerini aldığıında, bara indirgeme yöntemi ve genetik algoritma yöntemi ile elde edilen dokuz baralı örnek sistemi kritik değerleri tablo 5.15, 5.16 ve 5.17’de ayrı ayrı verilmektedir..

Tablo 5.15. IEEE dokuz barlı güç sistemindeki beş numaralı yük barsının kritik değerleri

P_i / P_{krk}	Bara İndirgeme Yöntemi İle Bulunan Kritik Değerler			Genetik Algoritma İle Bulunan Kritik Değerler			İki Baralı Duruma İndirilen Güç Sisteminin Hat Sabitleri	
	$P_{5krk}(MW)$	$V_{5krk}(pu)$	δ_{5krk}^0	$P_{5krk}(MW)$	$V_{5krk}(pu)$	δ_{5krk}^0	A	B
0,25	277	0,646	31,1	280	0,641	31,8	$0.9700-j*0.0499$	$0.0143+j*0.1374$
0,5	285	0,659	31	287	0,688	29,79	$0.9510-j*0.0514$	$0.0142+j*0.1368$
0,75	297	0,681	30,9	300	0,675	31,79	$0.9222-j*0.0546$	$0.1040+j*0.1359$
1	301	0,686	29,6	304	0,688	30,08	$0.9238-j*0.0913$	$0.0146+j*0.1364$

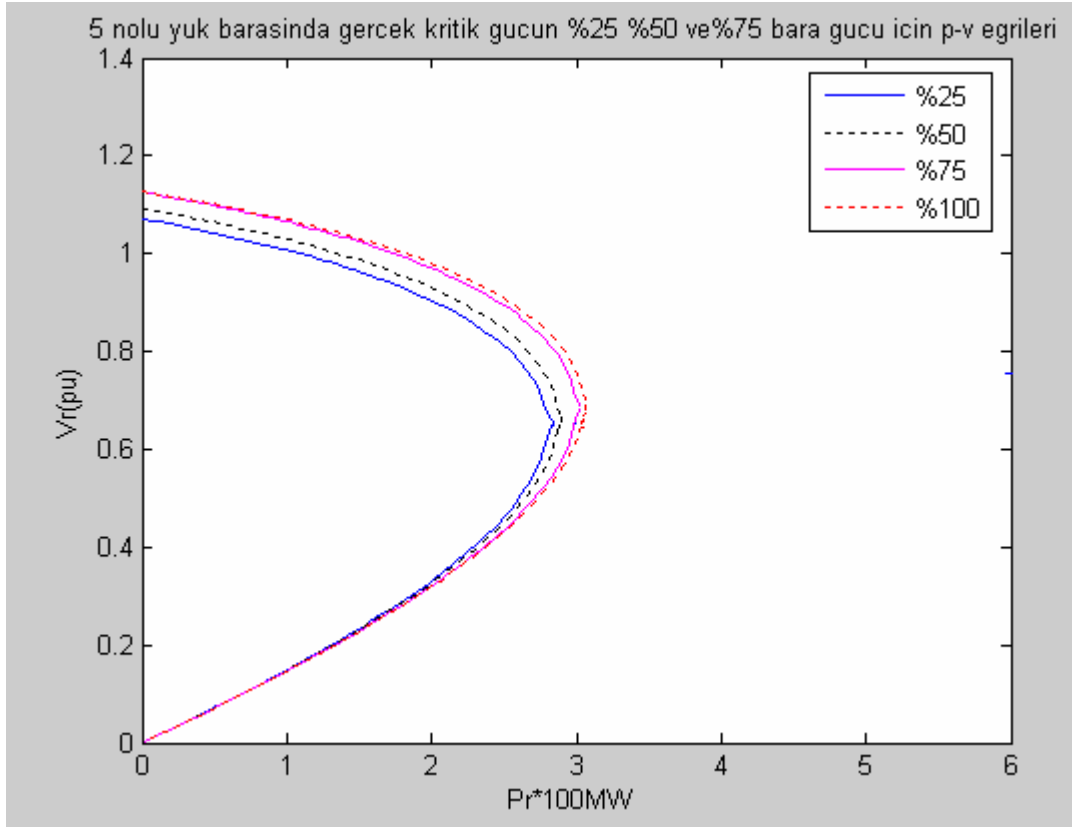
Tablo 5.16. IEEE dokuz barlı güç sistemindeki yedi numaralı yük barsının kritik değerleri

P_i / P_{krk}	Bara İndirgeme Yöntemi İle Bulunan Kritik Değerler			Genetik Algoritma İle Bulunan Kritik Değerler			İki Baralı Duruma İndirilen Güç Sisteminin Hat Sabitleri	
	$P_{7krk}(MW)$	$V_{7krk}(pu)$	δ_{7krk}^0	$P_{7krk}(MW)$	$V_{7krk}(pu)$	δ_{7krk}^0	A	B
0,25	194	0,694	25,8	197	0,692	26,76	$0.9383-j*0.2199$	$0.0143+j*0.1374$
0,5	210	0,732	25,8	209	0,728	26,07	$0.8992-j*0.2257$	$0.0204+j*0.2230$
0,75	231	0,789	25,1	230	0,795	24,75	$0.8368-j*0.2335$	$0.0203+j*0.2209$
1	257	0,825	19	262	0,83	19,65	$0.8036-j*0.3966$	$0.0220+j*0.2219$

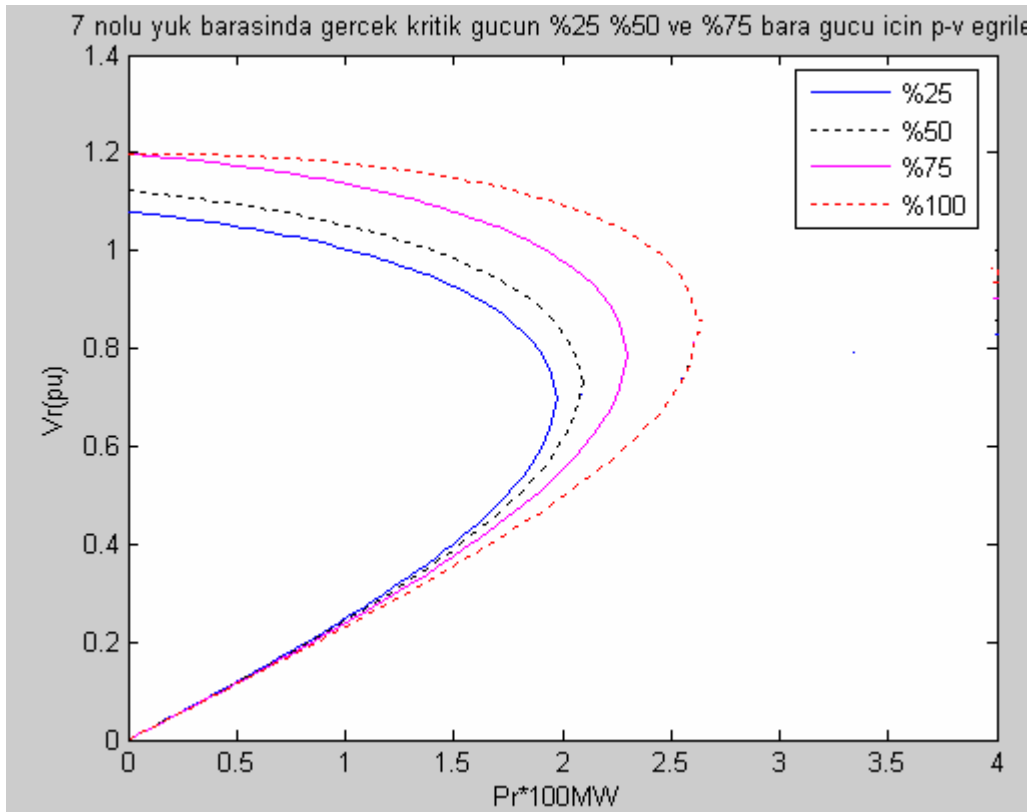
Tablo 5.17. IEEE dokuz barlı güç sistemindeki dokuz numaralı yük barsının kritik değerleri

P_i / P_{krk}	Bara İndirgeme Yöntemi İle Bulunan Kritik Değerler			Genetik Algoritma İle Bulunan Kritik Değerler			İki Baralı Hale İndirilen Sistemin Hat Sabitleri	
	$P_{9krk}(MW)$	$V_{9krk}(pu)$	δ_{9krk}^0	$P_{9krk}(MW)$	$V_{9krk}(pu)$	δ_{9krk}^0	A	B
0,25	290	0,648	29,6	287	0,652	29,45	$0.9713-j*0.0867$	$0.0092+j*0.1312$
0,5	298	0,663	29,4	298	0,652	30,08	$0.9511-j*0.0913$	$0.0092+j*0.1307$
0,75	312	0,688	29	313	0,692	28,76	$0.9194-j*0.100$	$0.0092+j*0.1298$
1	320	0,6929	37,3	320	0,686	27,73	$0.9228-j*0.1518$	$0.0098+j*0.1297$

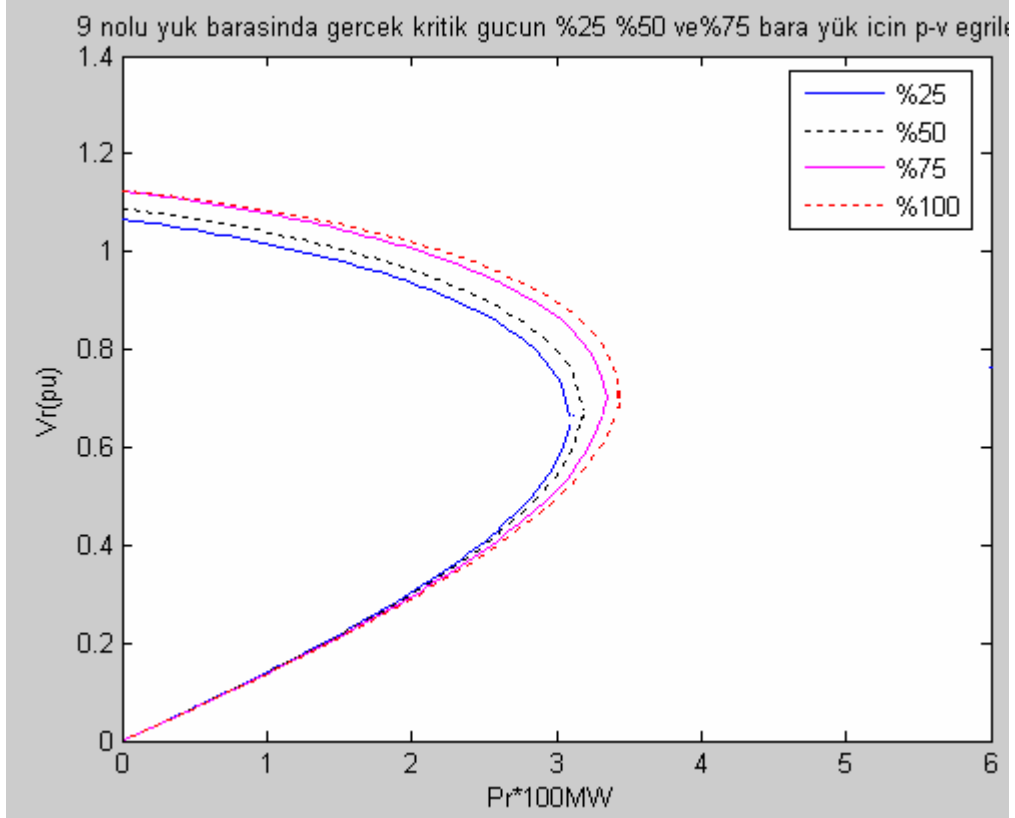
IEEE’nin standart dokuz baralı güç sistemindeki beş, yedi ve dokuz numaralı yük baralarının sabit güç katsayısı şartı ile aktif güç değerlerinin kademe kademe arttırılmaları neticesinde kritik değerlerin elde edilmesini gösteren p-v eğrileri şekil 5.16, 5.17 ve 5.18’de verilmektedir.



Şekil 5.16 Beş numaralı yük barası için kritik değerlerin elde edilmesini gösteren P-V eğrileri



Şekil 5.17 Yedi numaralı yük barası için kritik değerlerin elde edilmesini gösteren P-V eğrileri



Şekil 5.18. Dokuz numaralı yük barası için kritik değerlerin elde edilmesini gösteren P-V eğrileri

Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları tablo 5.18’de verilmektedir

Tablo5.18. Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde bara indirgeme yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları

P_i / P_{krtk}	$P_i (hes) / P_{krtk}$			$V_i (hes) / V_{krtk}$			$\delta_i (hes) / \delta_{krtk}$		
	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara
0.25	0,917	0,746	0,912	0,873	0,8897	0,876	1,152	1,137	1,216
0.50	0,944	0,808	0,937	0,8905	0,9385	0,896	1,149	1,1379	1,2082
0.75	0,983	0,888	0,981	0,9203	1,0115	0,93	1,145	1,1048	1,1922
1.00	0,997	0,988	1,006	0,927	1,0577	0,936	1,099	0,8828	1,123

Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde genetik algoritma ile bulunan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları tablo5.19’da verilmektedir.

Tablo5.19. Kritik bara yüklerinin farklı yüzdelerinde genetik algoritma yöntemi ile hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlere oranları

P_i / P_{krtk}	$P_{i(GA)} / P_{krtk}$			$V_{i(GA)} / V_{krtk}$			$\delta_{i(GA)} / \delta_{krtk}$		
	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara
0.25	0,927	0,758	0,903	0,8662	0,8872	0,881	1,179	1,1784	1,2119
0.50	0,95	0,804	0,937	0,9297	0,9333	0,881	1,107	1,1485	1,2379
0.75	0,993	0,885	0,984	0,9122	1,0192	0,935	1,181	1,0903	1,1835
1.00	1	1,008	1,006	0,9297	1,0641	0,927	1,117	0,8656	1,1412

5.3.4. Salınım barasının değişmesi halinde kritik değerlerin değişimi

Gerilim kararlılığı kritik değer hesaplamalarında salınım barasının seçimi önemlidir. Farklı salınım barası seçilmesi halinde elde edilen kritik değerler de gerçek değerlerinden farklı olacaktır. Dokuz baralı örnek güç sistemindeki üç adet generatör baralarının sıra ile salınım barası seçilmesi durumlarında güç sistemindeki kritik değerlerin değişimi tablo 5.20’de gösterilmektedir. Örnek güç sistemi üzerindeki uygulamada salınım barası değiştirilirken, daha önce salınım barası olarak seçilen generatör barası verileri ile yeni salınım barası seçilen farklı generatör barası verileri yer değiştirilmektedir.

Tablo 5.20. Dokuz baralı sistemde salınım barasının değişmesi durumunda kritik değerlerin değişimi

Salınım Barası No	P_{ikrtk}			V_{ikrtk}			δ_{ikrtk}		
	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara
1	304	262	320	0.69	0.83	0.69	-30.08	-19.65	-27.73
2	206	316	276	0.77	0.76	0.70	-23.12	-25.76	-56.44
3	185	251	200	0.82	0.82	0.82	-19.00	-15.93	-23.52

5.3.5. Güç sistemindeki iletim hatlarından bazılarının açması durumunda kritik değerleri değişimi

Elektrik Enerji iletim sistemindeki iletim hatlarından bir veya birkaç tanesinin arızalanma gibi herhangi bir neden ile devre dışı kalması durumunda gerilim kararlılığı kritik değerleri de değişmektedir. Örnek teşkil etmesi bakımından dokuz baralı örnek güç sistemindeki dört ve beş numaralı baralar arasındaki iletim hattının

bir arıza sonucu devre dışı kaldığı varsayımı ile arıza öncesi ve sonrasındaki güç sisteminin kritik değerlerinin değişimleri tablo 5.21’de gösterilmektedir. Güç sistemlerinde kritik değerlerin hat açmaları durumunda en fazla etkilendiği durum, salınım barasına bağlı olan paralel hatlarda açma meydana gelmesidir.

Tablo 5.21. Dokuz baralı sistemde 4-5 numaralı baralar arasındaki hattın devrede olup olmama durumlarında kritik değerleri değişimi

Hat 4-5	P_{ikrtk}			V_{ikrtk}			δ_{ikrtk}		
	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara	5.Bara	7.Bara	9.Bara
Devrede	304	262	320	0.69	0.83	0.69	-30.08	-19.65	-27.73
Devre Dışı	120	156	246	1.01	1.03	0.92	-23.23	-16.99	-16.50

BÖLÜM 6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada geleneksel yöntemlerle bulunan gerilim kararlılığı sınır değerleri olan kritik değerler (V_{krt} , P_{krt} , δ_{krt}), genetik algoritma yöntemi ile belirlenmiştir. Genetik algoritma yönteminin, kritik değerlerin belirlenmesindeki potansiyeli ortaya konulmuştur. Geleneksel yöntemler olarak ifade edilen, güç sisteminin jakobiyen matrisinden türetilen kritik değer formülleri ve yük baralarının aktif güç ile gerilim genlik değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren P-V eğrileri ile bulunan kararlılık sınır değerleri, genetik algoritma yöntemi ile bulunan değerler ile uyumlu sonuçlar vermektedir.

Gerilim kararlılığı kritik değerleri ilk olarak iki baralı elektrik güç sistemlerinin değişik işletme koşulları için belirlenmiştir. Değişik işletme koşulları, yükün güç faktörü, hat uzunluğu, hat kayıp faktörü, hat başı gerilimi, paralel hat sayısı, seri kompanzasyon oranı ve şönt kompanzasyon oranı gibi etkilerin değişik durumlarıdır. Güç sistemi üzerindeki bu etkilerin değişik durumlarının, gerilim kararlılığı üzerindeki tesiri ortaya konulmuş ve enerji iletim sistemi için en uygun durum belirlenmeye çalışılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar aşağıda verilmektedir.

İki baralı sistem için yapılan çalışmalar N baralı sistemler için de yapılmıştır. N baralı sistemlerde kritik değerler, güç akışı programı yardımı ile çökme meydana gelene kadar yük baralarının güçlerini kademe kademe arttırılması ile belirlenmiştir. Daha sonra bara indirgeme yöntemi ile sistem iki baralı duruma indirilmesinin ardından, kritik değerler formülleri yardımıyla kritik değerler hesaplanmıştır. Son olarak aynı kritik değerler genetik algoritma yöntemi ile de belirlenmiş ve genetik algoritma yönteminin N baralı sistemlerde de kritik değerlerin belirlenmesinde kullanılabileceği ortaya çıkmıştır. Yapılan incelemelerde varılan sonuçlar özetle aşağıda verilmiştir.

1) N baralı güç sistemlerinde gerçek kritik değerler yük akışı programı ile belirlenmektedir. N baralı güç sistemi ilgilenilen yük barası ile salınım barasından ibaret olmak üzere iki baralı hale dönüştürüldükten sonra, kritik değer formüllerinin kullanılması ile de aynı kritik değerler bulunabilmektedir. Bu yöntemlerin temelinde jakobiyen matris tekilliği bulunmaktadır. Güç sisteminde tekil nokta bulunmayabilir ya da birden fazla tekil nokta bulunabilir. Bu durumda çözüm eksik yada yanlış olabilir. Bu çalışmada N baralı güç sistemindeki kritik değerler genetik algoritma yöntemi ile de bulunmuştur. Genetik algoritma yöntemi tekil nokta aramaz olması muhtemel tüm çözümleri deneyerek en iyi çözümü bulur. Sistemin birden fazla tekil noktası bulunması halinde bu noktalardan en iyi olanını çözüm olarak bulur. N baralı örnek güç sistemleri üzerinde yapılan çalışmalarda güç akışının herhangi bir anında genetik algoritma yöntemi ile gerçek kritik değerlerin ortalama %95 oranında bir yaklaşım ile kritik değerler elde edilmektedir. Ayrıca genetik algoritma ile bulunan kritik değerlerin geleneksel yöntemlerle bulunan kritik değerler ile neredeyse aynı olduğu görülmüştür. Bu durum genetik algoritma yönteminin kritik değerlerin bulunmasındaki potansiyelini göstermektedir.

2) Yükün güç faktörü değeri endüktif (geri) değerlerden kapasitif (ileri) değerlere doğru gitmesi durumunda kritik değerlerin (V_{krt} , P_{krt} , δ_{krt}) arttığı görülmektedir. Bu durum enerji transferi açısından olumlu bir durum olmasına karşılık gerilim çökmesi riskinin başlayacağı kritik gerilim değerinin artması gerilim kararlılığı açısından olumsuz bir durumdur.

3) İletim hattının uzunluğunun azalması P_{krt} değerinin artmasına V_{krt} ve δ_{krt} değerlerinin ise azalmasına sebep olmaktadır. Bu durum güzergah seçiminde gerilim kararlılığı açısından en kısa güzergahın seçilmesinin uygun olacağını göstermektedir.

4) Hattın kayıp faktörünü artması ile V_{krt} , P_{krt} , δ_{krt} değerleri azalmaktadır. Bu durum enerji transferi için olumsuz fakat gerilim kararlılığı için olumlu bir durumdur.

5) Hat başı geriliminin artması ile V_{krt} , P_{krt} , δ_{krt} değerleri artmaktadır. Herhangi bir neden ile yükte artma olduğunda gerilim düşümünü karşılamak için hat başında

generatör uyarımı ile hat başı gerilimi arttırılabilir. Böyle bir durumda sistemdeki yük normal durumuna döndüğünde generatör uyarım ile gerilim eski seviyesine zamanında döndürülemez ise artan kritik gerilim değeri sebebi ile, gerilim kararlılığı açısından olumsuz bir durum söz konusudur.

6) Enerji iletiminin tek hat yerine özdeş iki hat ile yapılması durumunda P_{krt} değeri neredeyse iki kat artmasına karşılık V_{krt} değerinde çok az bir artma görülmektedir. Büyük miktarlarda enerji transferinde paralel hat sayısının artması olumlu bir durumdur.

7) Güç sistemin üzerinde seri kompanzasyon yapıldığında, seri kompanzasyon oranı arttıkça P_{krt} değeri artmakta ve V_{krt} , δ_{krt} değerleri ise azalmaktadır. Güç sisteminde seri kompanzasyon yapılması sistemin kritik değerlerinin iyileşmesine sebep olmaktadır.

8) Elektrik enerji iletim sisteminden şönt kompanzasyon yapıldığında, şönt kompanzasyon oranı arttıkça V_{krt} , δ_{krt} değerlerinin azalması gerilim kararlılığı açısından olumlu bir durum meydana getirmesi yanında P_{krt} değerinde azalma meydana gelmesi şönt kompanzasyonun dikkatli bir şekilde yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır.

9) Elektrik güç sistemlerinde bara gerilimi genlik değeri ile reaktif güç değeri arasında güçlü bir ilişki bulunmaktadır. Bu neden ile baranın reaktif güç değeri arttığında, aynı baranın gerilim ve aktif güç kritik değerlerinin de arttığı görülmektedir. Generatörlerin reaktif güç sınır değerleri dikkate alınmaz ise genetik algoritma ve geleneksel yöntemlerle hesaplanan kritik değerlerin gerçek kritik değerlerden çok farklı olduğu görülmektedir. Bu sebep ile N baralı güç sistemlerinde genetik algoritma yöntemi ile kritik değerler hesaplanırken güvenilir sonuçlar elde edebilmek için salınım barası dışındaki generatörlerin reaktif güç sınır değerleri mutlaka dikkate alınmalıdır.

10) N baralı bir elektrik enerjisi iletim sisteminde iletim hatlarından bir veya birkaçının devre dışında kalması sistemdeki kritik değerlerin değişmesine sebep

olmaktadır. Bu değişim gerilim kararsızlığına, hatta buradan gerilim çökmesine kadar ilerleyen bir etkiye sebep olabilmektedir. Salınım barasını sisteme bağlayan paralel hatlarda devre dışı kalmalar olduğunda kritik değerlerin en büyük oranda etkilendiği görölmektedir.

11) Güç sisteminde salınım barasının değişmesi halinde yük akışı denklemleri de değişeceğinden, sistemin kritik değerleri de değişir. Gerilim kararlılığı açısından genetik algoritma yöntemi ile kritik değerlerin hesaplanmasında, seçilen salınım barasının doğru salınım barası olup olmadığı önemlidir. Farklı salınım baraları ile yapılan çalışmalarda güç sistemi üzerinde farklı kritik değerler elde edilmektedir.

Gerilim kararlılığı konusunda yapılan çalışmalar neticesinde varılan sonuçlardan sonra, araştırmacılara verilebilecek öneriler özetle aşağıda verilmiştir.

1) Genetik algoritma yöntemi esasında bir optimizasyon yöntemidir. Genetik algoritma optimizasyon problemlerinde çok güvenilir doğru sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bu çalışmada yük akışı sonuçlarının kullanılması ile elektrik güç sisteminin kritik değerleri genetik algoritma ile bulunmuştur. Genetik algoritma yönteminin kullanılması ile optimal güç akışı yapılmasının ardından elde edilen sonuçlar ile gerilim kararlılığı sınır değerlerinin bulunması konusunda çalışmalar yapılabilir. Bu durumda gerilim kararlılığı çalışmasında, elektrik enerjisi üretim santrallerinin yakıt maliyetleri ile iletim hatlarındaki kayıpların da dikkate alınması söz konusudur.

2) Genetik algoritma yöntemi ve geleneksek yöntemler ile kararlılık sınır değerlerinin hesaplanması çalışmaları yük akışı çalışmalarına bağlı olarak yapılmıştır. Dolayısı ile çalışmalarda elde edilen sonuçların güvenilirliği doğru salınım barası seçilmiş olmasına bağlıdır. Bu sebeple güç akışı çalışmalarında doğru salınım barası seçmek için dikkat edilmesi gereken hususlar araştırılmalıdır. Bir yerine birden fazla salınım barası kullanımı ile yük akışı yapılmasının gerilim kararlılığı üzerindeki etkileri araştırılmalıdır.

3) Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinin tasarımı ve işletilmesi esnasında güç sistemi üzerinde bulunan tüm etkiler dikkatlice incelenmeli ve gerilim kararlılığı açısından yük baralarının en büyük aktif değerlerine karşılık mümkün olan en küçük bara gerilim genlik ve açı değerlerini veren uygun çözüm tercih edilmelidir. En uygun çözüm aranırken hat uzunluğu, yükün güç katsayısı, seri ve şöt kompanzasyon oranı v.b. etkilerden en uygun kombisayonu veren çözüm tercih edilmelidir. Gerilim kararlılığı açısından kontrol sistemi tasarımında da bu durumların olumlu veya olumsuz etkileri dikkate alınmalıdır.

4) Güç sistemlerinde reaktif güç üretimlerinin bir veya birkaç büyük reaktif güç üretim merkezi yerine tüketicilere yakın yerlerde olmaları kararlılık açısından büyük faydalar sağlamaktadır. Bu durumda generatör trafo ve hatlardaki kayıplar azalacağı gibi gerilim düşümlerinde sisteme müdahale etmek daha kolay olacaktır. Ayrıca sürekli reaktif güç üretimi yapılmasına gerek kalmayacak ve olağan dışı bir durumda reaktif güç talebi daha kolay karşılanacaktır. Sisteme reaktif güç sağlayacak kontrol ve anahtarlama elemanlarının sistemdeki değişimlere göre cevap verebilecek uygun hız özelliğine sahip olmaları gerekmektedir.

5) Gerilim kararlılığı kritik değer hesaplamaları, yük baralarının artan aktif güç eğrilerine karşılık bara gerilim genlik değerinin alabileceği en küçük değeri üzerinde odaklanmaktadır. Yük baralarından yük azalmaları durumunda yük barası gerilim genlik değeri artmaktadır. Bu durumda belirli bir üst gerilim değeri aşıldığında da gerilim kararsızlığının oluşması söz konusudur. Gerilim kararlılığı çalışmalarında yük barasının gerilim genlik değerinin artması ile ulaşabileceği üst kritik gerilim değeri ve bu andaki kritik bara aktif güç ve bara açı değeri üzerinde de çalışmalar yapılmalıdır.

6) Genetik algoritma yöntemi ile gerilim kararlılığı kritik değerler bulunurken genetik algoritma operatörlerinden, elitizim, turnuva seçimi, düzenli çaprazlama, ekleme mutasyonu operatörleri kullanılmıştır. Genetik algoritma çalışmalarında çok çeşitli seçim çaprazlama mutasyon operatörleri bulunmaktadır. Farklı operatörler kullanılarak da güç sistemi kritik değerleri bulunabilir. Operatör değişiklikleri

özellikle doğru sonuca ulaşma zamanı üzerinde etkili olabileceği tahmin edilmektedir.

7) Dinamik yük akışı yapılarak bulunan kritik değerlerle genetik algoritmanın uyumluluğu araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] HARMAND, Y., “Analysis of a Voltage Collapse-Incident and Proposal for a Time Based Hiterarchical Containment Scheme”, CIGRE 1990 Session, 26 August-1 September, 38/39-02
- [2] JOHANSSON, S., SJOGREN, F., “Voltage Collapse in Power Systems: The Influence of Generator Current Limiters on Load Tap Changers and Load Dynamics”, Chalmers University of Technology, Göteborg Sweden ,1995, ISBN:91-7197-119-X
- [3] WALVE, K., “Modelling of Power System Compenents at Severe Disturbance”, CIGRE SC38-18,1986
- [4] DAMME, R,V,D, “The Incident of August 4th 1982 of the Belgian Electricity System”, Intercom, Semtember 12 , 1983
- [5] “Interim Report: Causes of The August 14th Blackout in the United States and Canada” Tech. Rep., November 2003, Available at, <http://www.nrcanrncan.gc.ca/madia/docs/814BlackoutReport.pdf>
- [6] US-Canada Power Systems Outage Task Force “First Report on The August 14 2003, Blackout in The United States and Canada: Causes and Recommendations”, April 2004
- [7] “Report on The Events of September 28th, 2003 Culminating in The Seperation of The İtalian Power Systems From The Other UCTE Networks”, Tech. Rep., April 2004, Available at, <http://www.autorita.energia.it/docs/04/061-04all.pdf>
- [8] “The black-Out in Southern Sweden and Eastern Danmark, 23 September 2003” Tech.Rep.,October,2003,Availableat http://www.svk.se/upload/3195/Disturbance_Sweden_DanmarkSpet23pdf
- [9] <http://www.pserc.wisc.edu/Resources.htm>
- [10] LEE, C.Y., TSAİ, T.C., “An Investigation of Voltage Stability and Reactive Power Suply on Tai-Power System”, 2004 International Conference on Power System Technology – POWERCON 2004, Singapore, pp. 1245-1249, 2004
- [11] YALÇIN, M.A., “Enerji İletim Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşım ile İncelenmesi”, Doktora Tezi , İ.T.Ü. , F.B.E. , 1995

- [12] 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
- [13] GLAVIC, M., "Power Sytem Voltage Stability A short Tutorial", University of Liege , Electrical Engineering and Computer Science Department , 2003
- [14] TAYLOR, C.W., "Power System Voltage Stability" , Mc Graw Hill, Inc.,1994
- [15] KWANTY, H.G., PASRIJA, A.K., BAHAR, L.Y., "Static Bifurcations in Electric Power Networks: Loss of Steady-State Stability and Voltage Collapse",IEEE Transactions on Circuits and Systems, vol. Cas-33, No.10, p.p. 981-991,1986
- [16] REPO, S., "On-Line Voltage Stability Assessment of Power System an Approach of Black –Box Modelling", Phd. Thesis, Tampere Univrsity of Technology , Publication 344, Tampere, 2001
- [17] HUANG, J.S., CHANG, C.S., "Worst-Case Indentification of Reactive Power Magrin and Local Weakness of Power Sytem" , Electric Power Research 44, 77-83, 1998
- [18] AUMULLER, C.A., SAHA, T.K., "Determination of Power Sytem Coerant Bus Groups by Novel Sensitivity – Based Method for Voltage Stability Assessment", IEEE Transactions on Power Systems , Vol. No 3 2003
- [19] VAN CUTSEM, T., VOURNES, C., "Voltage Stability of Electric Power Systems " Kluwer Academic Publishers, Boston ,USA ,1998
- [20] ANDERSON, P.M., FOUAD, A.A., "Power System Control and Stability", The Iowa State University Press, 4 th. Printing, 1986
- [21] MITHUNANTHAN, N., YOME, A.S., ACHARYA, N., "Application of FACTS Controllers in Thailand Power Systems", School of Environment Resources and Devolopment Assian Institute of Technology , RTG Budget – Joint Research Project, 2005
- [22] KUNDUR, P., "Power System Stability and Control ", McGraw-Hill, New York , USA , 1994
- [23] BEGOVIC, M., MILOSEVIC, B., NOVOSEL, D., MEMBER, S., "A Novel Method for Voltage Instability Protection" , Proceedings of the 35 th Havai International Conference on System Science, 2002
- [24] Cigre Task Force 38-02-12, " Criteria and Countermeasures for Voltage Collapse ",Preprint, April 1994.

- [25] Cigre Task Force 38-02-10, “Modelling of Voltage Collapse Including Dynamic Phenomena”, Summary in Electra, No.147, April 1993
- [26] IEEE Committee Report, “Voltage Stability of Power System : Concepts . Analytical Tools, and Industry Experience” IEEE/PES 90TH0358-2-PWR.1990
- [27] ARİFOĞLU, U., “Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi”, Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti., İstanbul, 2002
- [28] GAO, B., et al., “Towards the Development of a Systematic Approach for Voltage Stability Assessment of Large- Scale Power System”, IEEE Transactions on Power System, Vol. 11 , No. 3, pp 1314-1324, 1996
- [29] IEEE TF Report, “Proposed Terms and Definition for power system stability”, IEEE Trans. Power Apparatus and Systems , vol. PAS-101 , pp.1894-1897, July 1982
- [30] CIGRE Task Force 38-02-12, Criteria and Countermeasures for Voltage Collapse , CIGRE Publication, 1994
- [31] GONG, Y., “Development of an Improved on – line Voltage Stability Index Using Synchronized Phasor Measurement”, Ph.D. thesis, Mississippi State University ,Electrical Engineering in the department of electrical and computer engineering, 2005
- [32] KUNDUR, P., PASERBA J., AJJARAPU V., ANDERSON G., BOSE A., CANİZARES C., HATZİARGYRİOU N., HİLL D., STANKOVIĆ A., TAYLO C., CUTSEM T.V., VİTTAL V., “Definition and Classification of Power System Stability”, IEEE Transaction of power system, Vol 19, No 2, pp 1387-1401, 2003
- [33] Prepared by : Power system Planning and Development version No 1.0
NEMCO Assessment of potential Security Risks due to High Levels of Wind Generation in South Australia , Summary of DİGSİLENT Studies (Stage1)
- [34] CHEN L., VAZİRİ M., “Automated Operation Procedures for Transfer Limits”, Final Report , Washington State University , 2001
- [35] LARSSON, M.,”The ABB Power Transmission Test Case” Corporate Research, 2002
- [36] SOLANKİ M.J., “Voltage Stability”, PH.D Seminar Indian Institute of Technology, Bombay
- [37] BAEK, Y.S., GU, M.Y., “Optimal Placement for Facts to Improve Static Voltage Stability”, KİEE International Transactions on Power System, Vol.4-A No.3, pp.141-145, 2004

- [38] MAZUMDER, P., RUNICK, E.M., “Genetic Algorithm For VLSI Design Layout Test Otomation”, Prentice Hall PTR, 1999
- [39] WHITLEY, L.D., “Foundations of Genetic Algorithms-2”, Morgan Kaufmann Publishers, Inc., California, 1993
- [40] Genetic Algorithms in Search Optimization and Machine Learning , Goldberg D.E. 1989 Addison –Wesley Longman
- [41] ORTAÇ, Y. ÖZEL, C., ALLİ, H., “Genetik Algoritmalar İle İki Kademeli Düz Dişlili Redüktör Mekanizmaları için Optimum Hacim ve Ağırlık Tasarımı 2004 Akıllı Sistemlerde Yenilikler ve Uygulamaları Sempozyumu Y.T.Ü.
- [42] FLETCHER, R., “Pratical Methods of Optimization”, 2nd ed., New York, Willey, 1990
- [43] OZTURK, A., ERDOĞMUŞ, P., YALÇIN, M.A., ”Genetik Algoritma ile Elektrik Güç Sistemlerinin Kritik Değerlerinin Değişik Çalışma Koşulları İçin Bulunması”, Conference for Computer Aided Engineering and System Modeling, 11 th FİGES Users Conference, ISBN 875-98408-2-0, Turkey, 2006
- [44] VENKATRAMAN, S., YEN,G.G., “A G eneric Framework for Constrained Optimization Using Genetic Algorithms”,IEEE Transactions on Evolutionary Computation Vol.9, No.,4, pp.424-435, 2005
- [45] YENİAY, Ö., “Penalty Function Methods for Constrained Optimization with Genetic Algorithms”, Mathematical and Computational Applications, Vol.10, No.1, pp. 45-56, 2005
- [46] 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, pp. 579-584, IEEE Press, 1994
- [47] 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
- [48] MICHALEWICZ, Z., “Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs”, Springer ,-Verlag Berlin Heidelberg ,New York,1999
- [49] SARUHAN, H., UYGUR, İ., “Design Optimization of Mechanical Systems Using Genetic Algorithms”, S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 7.Cilt, 2.Sayı, 2003
- [50] MAN, K.F., TANG, K.S., KWONG, S., “Genetic Algorithms : Concepts and Applications”, IEEE Trans on Endustrial Electronics, Vol.43, No.5, 1996

- [51] DAVIS, L., "Handbook of Genetic Algorithms", New York ,Van Nostrand, 1991
- [52] WOOK, C., RAMAKRISHNA, R.S., "Elitism-Based Compact Genetic Algorithms", IEEE, Transactions on Evolutionary Computation, Vol.7, No.4, pp.367-385, 2003
- [53] SHEBLE,G.B., MAIFELD,T.T., BRITTING K., FAHD, G., "Unit Commitment by Genetic Algorithm with penalty method and a Comparison of Lagrangian Search and Genetic Algorithm-Economic Dispatch Algorithm", Int. Journal of Electric Power Energy Systems, Vol.18, No.6, pp. 339-346, 1996
- [54] LU, W., "Optimum Design of Cold-Formed Steel Purlins Using Genetic Algorithms", Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures Publications 25, 2003
- [55] ELKAMCHOUCHI, H.M., WAGIB, M.M., "Failure Restoration and Array Synthesis Using Genetic Algorithms" Eighteenth National Radio Science Conference, Mansoura Univ., Egypt, pp.123-130, 2001
- [56] MICHAŁOWICZ, Z., "Genetic Algorithms +Data Structures= Evolution Programs Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, Third, Revised Extended Edition ,1999
- [57] SUMALEE, A., "Optimal Road User Charging Cordon Design: a Heuristic Optimization Approach", Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering 19, pp. 377-392, 2004
- [58] MASTORAKIS,N.E.,GONOS,F., SWAMY,M.N.S.,"Design of Two-Dimensional Recursive Filters Using Genetic Algorithms" IEEE Transactions on Circuits and Systems-I : Fundamental Theory and Applications, vol.50, no.5, pp. 634-639, 2003
- [59] WU, S.J., CHOW, P.T., "Steady-State Genetic Algorithms for Discrete Optimization of Trusses Computers&Structures ,Vol.56,No.6, pp.979-991, 1995
- [60] WITLEY, D., "The GENITOR Algorithm and Selection Pressure: Why Rank-Based Allocation of Reproductive Trials is Best", in Proc. 3rd.Intern. Conf. On Genetic Algorithms, pp. 116-121, 1989
- [61] PARK, J.B., PARK, Y.M., WON, J.R., LEE, K.Y., "An Improved Genetic Algorithm for Generation Expansion Planning", IEEE Transaction on Power Systems, Vol.15, No3, pp. 916-922, 2000
- [62] MITCHELL, M., "An Introduction to Genetic Algorithms", MIT Press: Cambridge, MA, 1996

- [63] SRINIVAS, N., DEB, K., "Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms", *Evol. Comput.*, Vol.2, No3, pp. 221-248, 1994
- [64] BACK, T., HAMMEL, U., SCHEFEL, A., "Evolutionary Computation Comments on The History and Current State", *IEEE Trans. Evol. Comput.* Vol.1, pp. 3-17, 1997
- [65] ZHANG, J.J., "An Introduction to Evolutionary Computation", Department of Computer Science Western Washington University, 2003
- [66] WHITLEY, D., "The GENITOR Algorithm and Selection Pressure: Why Rank Based Allocation of Reproductive Trials is Best in J.D. Schaffer, Editor, *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, pp. 116-121, Morgan Kaufmann, 1989
- [67] GOLDBERG, D.E., DEB, K., "A Comparative Analysis of Rawlins Editor, *Foundation of Genetic Algorithms*, pp. 69-93, Morgan Kaufmann, 1991
- [68] MINSKER, B., "Genetic Algorithms for Effective Solution of Real-World Optimization Problems", University of Illinois at Urbana-Champaign, ASCE-EWRI Conference, 2003
- [69] HOLLNAD, J., "Adaptation in Nature and Artificial Systems", University of Michigan Press, Ann Arbor, 1975
- [70] AGGARWAL, V., "Fitness Evaluation Based on Learning for Automatic Analogue Circuit Synthesis Using Genetic Algorithm", in *Hypothesis Papers* Varun's Griha, www.geocities.com/mumukshu/fit/learn.html, 2002
- [71] ANSARI, N., CHEN, M., HOU, E., "A Genetic Algorithm for Point Pattern Matching", in *Dynamic Genetic and Chaotic Programming*, B. Soucek Ed., New York: Wiley, pp. 353-371, 1992
- [72] SPEARS, W.M., DE JONG, K.A., "An Analysis of Multi-Point Crossover in G.J.E. Rawlins Editor, *Foundation of Genetic Algorithms*, pp. 301-315, Morgan Kaufmann, 1991
- [73] SEYSWERDA, G., "Uniform Crossover in Genetic Algorithms", in *Proc. 3rd Int. Conf. on Genetic Algorithms and Applications*, pp. 2-9, 1989
- [74] HUANG, W.C., KAO, C.Y., HORNG, J.T., "A Genetic Algorithm Approach for Set Covering Problems", in *Proceeding of the First IEEE Conference on Evolutionary computation*, pp. 569-574, 1994
- [75] SEYSWERDA, G., "Uniform crossover in Genetic Algorithms", in *Proc. 3rd Inter. Conf. On Genetic Algorithms*, pp. 2-9, 1989

- [76] TU, Z., LU, Y., “A Robust Stochastic Genetic Algorithms (St GA) for Global Numerical Optimization”, IEEE Transactions Evolutionary Computation, Vol.,8, No.5, pp.456-470, 2004
- [77] 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, pp.62-80 , 1997
- [78] AYASUN, S., “Tekil Noktaların Güç Sistemlerinin Dinamiğine Olan Etkileri”, Elektrik –Elektronik- Bilgisayar Mühendisliği 10. Ulusal Kongresi, pp. 28-31, 2004
- [79] CANİZARES, C.A., ALVARADO, F.L., “ Point of Collapse and Continuation Methods for Large ac/dc Systems”, IEEE Trans. Power Systems, Vol. 8, No.1,pp.1-8, 1993
- [80] ÇAKIR, H., “Enerji İletimi(Elektrik Hesapları)”, Nesil Matbaacılık Yayıncılık San. Tic. A.Ş., İstanbul, 1986
- [81] KALENDERLİ, Ö., KOCATEPE, C., “ Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniği Cilt 1”, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2005
- [82] GÜNEY İ., AY, S.,”Çözümlü Enerji İletim Hatları Problemleri”, Marmara Üniversitesi Yayın, İstanbul 1994
- [83] ELGERD, O.I., ”Electric Energy Systems Theory An Introduction” McGraw-Hill Book Company , 1971
- [84] GÖNEN, T., “Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design”, John Willey&Sons Inc., 1988
- [85] ”Basic Concept of Voltage Stability”,
<http://pw.elec.kitami-it.ac.jp/ueda/java/VQ/>
- [86] FU, Y., CHUNG, T.S., Lİ, X.Y., “An Improved Approach To Voltage Stability Analysis Via Network Equivalence”, Proceedings of The 4th International Conference on advances in Power System Control, Operation and Management , APSCOM-97 , pp. 231-235, Hong Kong , 1997
- [87] IEEE System Dynamic Performance Subcommittee of The Power System Engineering Committe of The PES, “Voltage Stability of Power Systems: Concepts, Analytical Tools, and Industry Experience”, IEEE Tech. Rep., 90TH0358-2-PWR, 1990.
- [88] AJJARAPU, V., CHRİSTY, C., “The Continuation Power Flow. A Tool For Steady State Analysis “, IEEE Transactions on Power System, Vol.5, No.1, 1992

- [89] 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
- [90] ABE, S., FUKUNOVA, Y., ISONO, A., KONDO, B., "Power System Voltage Stability" IEEE Transaction on Power Apparatus and Systems , Vol. 101, No.10, pp.3830-3840, 1982
- [91] 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
- [92] 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, pp147-150, 1975
- [93] 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
- [94] MILLER, T.J.E., "Reactive Power Control in Electric Power System ", John Wiley&Sons, Inc., 1982
- [95] YAO, Z., WENNAN,S., "Power System Static Voltage Stability Limit and The Indentification of Weak Bus", IEEE TENCON'93/Beijing , pp. 157-160, 1993
- [96] AUMULLELLER, C.A., SAHA, T.K., "Determination of Power Sytem Coerant Bus Groups by Novel Sensitivity – Based Me", No.3, thod for Voltage Stability Assessment , IEEE Transactions on Power Systems, Vol. No.3, 2003
- [97] IBA, K., SUZUKI, H., EGAVA, M., WATANEBE, T., "Calculation of Critical Loading Condition With Nose Curve Using Homotopy Continuation Method", IEEE Transactions on Power Systems, Vol.6, No.2, p.p. 584-593, 1991
- [98] HUANG, J.S., CHANG ,C.,S., "Worst-Case Indentification of Reactive Power Magrin and Local Weakness of Power Sytem ", Electric Power Research 44 (1998), pp.77-83, 1998
- [99] IEEE TF Report, "Proposed Terms and Defination for Power System Stability", IEEE Trans. Power Apparatus and Sytems , Vol. PAS-101 , pp.1894-1897, 1982
- [100] IEEE Committee Report, "Proposed Terms and Definitions for Power System Stability", IEEE Transactions on Power Apparatus and systems, Vol.PAS-101,1982

- [101] CHANG, C.S., DUAN, C., LIEW, A.C., “Mathematical Modelling of Loads and Voltage Support Devices for Power System Voltage Stability”, Proceedings of the 4th International Conference on Advances in Power System Control ,Operation and Management, APSCOM-97, pp. 125-130, Hong Kong, 1997
- [102] JOHNSON, L.W., RIESS, R.D., ARNOLD, J.T., “Introduction to Linear Algebra”, Virginia Polytechnic Institute and State University, Third Edition, Addison-Wesley Publishing Company, 1993
- [103] CULLEN, C.D., “Linear Algebra& Differential Equations: An Integrated Approach”, Second Edition International Student Edition, PWS-KENT Publishing Company, Boston, Massachusetts, 1991
- [104] FONG, Z.H., “In: Voltage Stability Study in Power System “, Ph.D. Thesis, Tsinghua University, 1990
- [105] ZHANG, X.P., JU, P., WU, F., HANDSCHIN, E., “Voltage Stability Analysis of Anbalanced Three Phase Power Systems by Continuation Three-Phase Power Flow Approach”. Bulk Power System Dynamics and Control – VI Conference, Italy , pp. 327-332, 2004
- [106] ZAMBRONI DE SOUZA, A.C.Z., QUINTANA, V.H., “New Technique of Network Partitioning for Voltage Collapse Magrin Calculations” IEE Proc-Gener. Transm. Distrib., Vol.141, No.6, pp.630-636, 1994
- [107] ANTON, H., “Calculus with Analytic Geometry”, Fifty Edition, Drexel University, John Wiley&Sons. Inc., 1995
- [108] 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 Transactions on Power Delivery, Vol.4, No.2, pp. 1246-1252, 1989
- [109] YUKSELER,N.H., “The Effects of Voltage Stability Boundaries on Capability Charts for Shunt Compensated Power Systems “, Electrotechnical Conference, Proceedings 7th Mediterranean, Vol.3, pp.936-939, 1994
- [110] YALÇIN M.A., YÜKSELER, N.H., ”A New Method in Determining Critical Values for The Large Scale Power Systems Voltage Stability”, Melecon 98, 9th Mediternean Electrotechnical Conference, Israel Vol.2, p.p. 946-949, 1998
- [111] 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.p. 815-825, 2004

- [112] SARUHAN, H. ROUCH, K.E. CARLO, A.R., “Design Optimization of Tilting –Pad Journal Bearing Using a Genetic Algorithm”, *International Journal of Rotating Machinery* , 10 (4), pp.301-307, 2004
- [113] TAMURA Y., ET ALL., “In: Relationship Between Voltage Instability and Multiple Load Flow Solution in Electric Power Systems”, *IEEE Transaction PAS-102* (5), 1115, 1983
- [114] AJJARAPU, V., CHRISTY, C., “The Continuation Power Flow A Tool For Steady State Voltage Stability Analysis”, *IEEE Transaction on Power Systems*, Vol.7, No.2, pp.416-423, 1992
- [115] MCCALLEY, J.D., DORSEY, J.F., LUINI, J.F., MACKIN, R.P., MOLINA, G.H., “Subtransmission Reduction for Voltage Instability Analysis “, *IEEE Transaction on Applied Superconductivity*, Vol.3, No.1, pp.349-356, 1993
- [116] YÜKSELER, H.N., “The Effects of Voltage Stability Boundiries on Capability Charts for Shunt Compensated Power Systems “, *IEEE Melecon 94*, Vol.3 , pp. 936-939, Antalya Turkey, 1994
- [117] YOME, A.S.,”Applications of FACTS Controllers for Available Transfer Capability Enhancement”, *Doctoral Student Energy Field of Study AIT Engineer Level 7 System Control and Operation Division, EGAT, Asian Institute of Technology*, 2004
- [118] This is the 6 bus example from pp. 104, 112, 119, 123-124, 549 of "Power Generation, Operation, and Control, 2nd Edition", by Allen. J. Wood and Bruce F. Wollenberg, John Wiley & Sons, NY, 1996.
- [119] POWERWORLD Power System Similation Program,
<http://www.powerworld.com>
- [120] HUANG, Y.H., YEH, S.N., “Cogeneration Pricing Based on Avoided Costs of Power Generation and Transmission”, *Journal of the Chinese Institute of Engineers*, Vol.27 No 2, pp.211-221, 2004

EKLER

Ek A P-V Eğrilerinin Çizdirildiği Denklemler

V_S, I_S ; Kaynak (generator) gerilim ve akımı

V_r, I_r ; Yük gerilim ve akımı

A , B ; Uzun iletim hattı sabitleri olmak üzere kaynak gerilimi bilinen şekli ile,

$$V_S = A * V_r + B * I_r \quad (\text{Ek A1})$$

olarak ifade edilir . Bu denklemdaki A, B, V_r , I_r ifadelerinin açık halleri,

$$A = a_1 + ja_2 , \quad (\text{Ek A2})$$

$$B = b_1 + jb_2 \quad (\text{Ek A3})$$

$$V_r = V_{r1} + jV_{r2} \quad (\text{Ek A4})$$

$$S_r = P_r + jQ_r = V_r * I_r^* \quad (\text{Ek A5})$$

$$I_r = \frac{P_r - jQ_r}{V_r^*} \quad (\text{Ek A6})$$

şeklinde belirtilir. P_r ve Q_r yükün aktif ve reaktif gücünü sembolize eder. Ek A1 de eşitliğin sağ tarafındaki ifadelerin açık halleri yazılır ise,

$$V_S = (a_1 + ja_2)^* (V_{r1} + jV_{r2}) + (b_1 + jb_2)^* \left(\frac{P_r - jQ_r}{V_r^*} \right) \quad (\text{Ek A7})$$

denklemini 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 denklemini 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. Eşitliğin her iki tarafı eşleniği ile çarpılır ise sonuç değişmez . Buna göre eşitliğin iki tarafı da eşleniği ile çarpıldığında,

$$|V_S|^2 * |V_r|^2 = (a_1^* |V_r|^2 + b_1^* P_r + b_2^* Q_r)^2 + (a_2 |V_r|^2 + b_2^* P_r - b_1^* Q_r)^2 \quad (\text{Ek A11})$$

ifadesi elde edilir. Bu denklemde eşitliğin sağ tarafında bulunan parantezlerin kareleri alındığında,

$$\begin{aligned} |V_S|^2 * |V_r|^2 &= (a_1^2 + a_2^2)^* |V_r|^4 + [2^* P_r^* (a_1^* b_1 + a_2^* b_2) + \\ &2^* Q_r^* (a_1^* b_2 - a_2^* b_1)] * |V_r|^2 + (b_1^2 + b_2^2)(P_r^2 + Q_r^2) \end{aligned} \quad (\text{Ek A12})$$

denklemini elde edilir.

$$a_1^2 + a_2^2 = |A|^2 \quad (\text{Ek A13})$$

$$b_1^2 + b_2^2 = |B|^2 \quad (\text{Ek A14})$$

Ek A13 ve Ek A14 ifadeleri Ek A12 denkleminde yerine yazılır ve yeniden düzenlenirse denklem,

$$|A|^2 * |V_r|^4 + [2 * P_r * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2) + 2 * Q_r (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)] * |V_r|^2 + |B|^2 * (P_r^2 + Q_r^2) = 0 \quad (\text{Ek A15})$$

olarak ifade edilir. Bu denklemde φ güç açısı olmak üzere,

$$Q_r = P_r * \tan \varphi \quad (\text{Ek A16})$$

denklemini Ek A15’de yerine yazıldığında,

$$|A|^2 * |V_r|^4 + [2 * P_r * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2) + 2 * P_r * \tan \varphi (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)] * |V_r|^2 + |B|^2 * (P_r^2 + (P_r * \tan \varphi)^2) = 0 \quad (\text{Ek A17})$$

Denklemini elde edilir. Bu denklemde $|V_r|^2 = x$ olarak düşünüldüğünde Ek A17’de ifade edilen denklem,

$$a * x^2 + b * x + c = 0 \quad (\text{Ek A18})$$

formatında ifade edilebilen ikinci dereceden bir denklem haline gelmiş olur. Güç sisteminin uzun iletim hattı sabitlerinin bulunması ile $a_1, a_2, b_1, b_2, |A|, |B|$, katsayıları elde edilir. Çalışmalar sabit güç katsayısı altında yapıldığından , yükün

güç açısı olan φ değeri de bellidir. P_r yük barasının aktif gücü sıfırdan itibaren adım adım arttırılması ile her defasında ikinci dereceden denklem çözülerek 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 şekilde elde edilen çok sayıda çözümün oluşturduğu değerler uygun bir bilgisayar programı yardımı ile bir eğri şeklinde çizdirilmesi ile güç sisteminin P-V eğrisi oluşturulur.

Ek B Yük Barasının Aktif ve Reaktif Güç Denklemlerinin Elde Edilmesi

Kaynak ve yük gerilimleri,

$$V_s = V_s \angle 0^\circ \quad (\text{Ek B1})$$

$$V_r = V_r \angle -\delta = V_r * (\cos \delta - j \sin \delta) \quad (\text{Ek B2})$$

olmak üzere , Denklem Ek A1, Ek A2 ve Ek A3 göz önünde bulundurulduğunda yük barasının akımı ve bu akımın eşleniği,

$$I_r = \frac{V_s - A * V_r \angle -\delta}{B} = \frac{V_s - (a_1 + ja_2) * V_r * (\cos \delta - j \sin \delta)}{b_1 + jb_2} \quad (\text{Ek B3})$$

$$I_r^* = \frac{V_S - (a_1 - ja_2) * V_r * (\cos \delta + j \sin \delta)}{b_1 - jb_2} \quad (\text{Ek B4})$$

olarak ifade edilir. S_r yük barasının görünür gücünü ifade etmek üzere, yük barasının görünür gücü,

$$S_r = V_r \angle -\delta * I_r^* \quad (\text{Ek B5})$$

$$S_r = V_r * (\cos \delta - j \sin \delta) * I_r^* \quad (\text{Ek B6})$$

$$S_r = \frac{V_S * V_r * (\cos \delta - j \sin \delta) - (a_1 - ja_2) * V_r^2 * (\cos^2 \delta + \sin^2 \delta)}{b_1 - jb_2} \quad (\text{Ek B7})$$

denklemini elde edilir. $(\cos^2 \delta + \sin^2 \delta) = 1$ olduğu bilinmektedir. Bu denklemin pay ve paydası $b_1 + jb_2$ ile çarpılır ise, yük barasının görünür gücü,

$$S_r = \frac{V_S * V_r * (\cos \delta - j \sin \delta) * (b_1 + jb_2) - (a_1 - ja_2) * V_r^2 * (b_1 + jb_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B8})$$

denklemini ile ifade edilir. Ek B7 denkleminin gerçek bileşeni yük barasının aktif gücünü, sanal bileşeni ise yük barasının reaktif gücünü ifade eder. Denklem açık hale getirilip, gerçek ve sanal bileşenleri ayrıldığında elde edilen yük barasının aktif ve reaktif güç denklemleri şu şekilde ifade edilir;

$$P_r = \frac{V_S * V_r * (b_1 * \cos \delta + b_2 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B9})$$

$$Q_r = \frac{V_S * V_r * (b_2 * \cos \delta - b_1 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek B10})$$

EK C Yük Barasının Kritik Değerlerinin Hesaplandığı Formüllerin Elde Edilmesi

Denklem Ek B9 ve Ek B10 ile verilen yük barası aktif ve reaktif güç ifadelerinin de göz önünde bulundurulması ile Newton yük akışındaki jakobiyeen matrisi elde etmek için

$$f_1(V_S, V_r, \delta) = P_r - \frac{V_S * V_r * (b_1 * \cos \delta + b_2 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek C1})$$

$$f_2(V_S, V_r, \delta) = Q_r - \frac{V_S * V_r * (b_2 * \cos \delta - b_1 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_2 + a_2 * b_1)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek C2})$$

Denklemleri elde edilir. Newton yük akışında V_S sabit , δ , V_r değişken olduğundan, Jakobiyeen 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 ;

$$\frac{\partial f_1}{\partial \delta} = 0 - \frac{V_S * V_r * (-b_1 * \sin \delta + b_2 * \cos \delta)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek C3})$$

$$\frac{\partial f_1}{\partial V_r} = 0 - \frac{V_S * (b_1 * \cos \delta + b_2 * \sin \delta) + 2 * V_r * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek C4})$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial \delta} = 0 - \frac{V_S * V_r * (-b_2 * \sin \delta - b_1 * \cos \delta)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek C5})$$

$$\frac{\partial f_2}{\partial V_r} = 0 - \frac{V_S * (b_2 * \cos \delta - b_1 * \sin \delta) + 2 * V_r * (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek C6})$$

olarak ifade edilebilirler. Maksimum aktif güç noktası jakobiyen matrisin determinantının sıfır olduğu durum için bulunur. Jakobiyen matrisin determinantının sıfır olduğu nokta ise,

$$\left(\frac{\partial f_1}{\partial \delta} * \frac{\partial f_2}{\partial V_r}\right) - \left(\frac{\partial f_1}{\partial V_r} * \frac{\partial f_2}{\partial \delta}\right) = 0 \quad (\text{Ek C7})$$

Denklemleri ile bulunur. Ek C3 , Ek C4 , Ek C5 , Ek C6 , denklemleri Ek C7 denkleminde yerine yazılır ve ara işlemler yapılır ise,

$$V_s = 2 * V_r * (a_1 * \cos \delta + a_2 * \sin \delta) \quad (\text{Ek C8})$$

denklemleri elde edilir. Bu denklem jakobiyen matrisin determinantının sıfır olduğu anda elde edilen denklem olduğundan , bu denklemi sağlayan V_s , δ değerleri kritik değerlerdir. Ek C8 denklemleri Ek B9 de belirtilen edilen yük barasının aktif güç ifadesinde yerine yazılır ise, hat sonundaki yük barasından çekilen gücün kritik değerini ifade eden denklem elde edilir. Denklem Ek C8 denklem Ek B10 da yerine yazılırsa yük barasından çekilen reaktif gücün kritik değerini veren denklem elde edilir. Aşağıda kritik değerlerin hesaplandığı formüller elde edilecektir, Denklem Ek B9 ve Ek B10' in kullanılması ile,

$$\tan \varphi = \frac{Q_r}{P_r} = \frac{V_s * V_r * (b_2 * \cos \delta - b_1 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)}{V_s * V_r * (b_1 * \cos \delta + b_2 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)} \quad (\text{Ek C9})$$

denklemleri elde edilir. Kritik nokta durumunda bu denklemdeki V_s ifadesi yerine EkC8 denklemleri yazılabilir. Bu durumda,

$$\tan \varphi = \frac{2 * V_r * (a_1 * \cos \delta + a_2 * \sin \delta) * V_r * (b_2 * \cos \delta - b_1 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_2 - a_2 * b_1)}{2 * V_r * (a_1 * \cos \delta + a_2 * \sin \delta) * V_r * (b_1 * \cos \delta + b_2 * \sin \delta) - V_r^2 * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)}$$

(Ek C10)

Denklemini elde edilir.

$$2 * \cos 2\delta - 1 = \cos 2\delta \quad (\text{Ek C11})$$

$$1 - \sin 2\delta = \cos 2\delta \quad (\text{Ek C12})$$

$$2 * \cos \delta * \sin \delta = \sin 2\delta \quad (\text{Ek C13})$$

Bilinen trigonometrik bağlantılar, Ek C10 denkleminin parantezsiz açık halinde yerine yazılmasından sonra ,

$$\tan \delta = \frac{a_1 * b_2 * \cos 2\delta + a_2 * b_1 * \cos 2\delta + \sin 2\delta * (a_2 * b_2 - a_1 * b_1)}{a_1 * b_1 * \cos 2\delta - a_2 * b_2 * \cos 2\delta + \sin 2\delta (a_1 * b_2 + a_2 * b_1)} \quad (\text{Ek C14})$$

İfadesi elde edilir. Bu ifadenin pay ve paydası $\cos 2\delta$ ile bölünür ise ,

$$\tan \delta = \frac{a_1 * b_2 + a_2 * b_1 + \tan 2\delta * (a_2 * b_2 - a_1 * b_1)}{a_1 * b_1 - a_2 * b_2 + \tan 2\delta (a_1 * b_2 + a_2 * b_1)} \quad (\text{Ek C15})$$

Denklemini elde edilir. bu denklemde iç dış çarpımının yapılmasının ardından $\tan 2\delta$ katsayılı terimler eşitliğin bir tarafında olacak şekilde düzenlenen denklem sayesinde, $\tan 2\delta$ ifadesi elde edilir. Bu ifade,

$$\tan 2\delta = \frac{a_1 * b_2 + a_2 * b_1 - a_1 * b_1 * \tan \varphi + a_2 * b_2 * \tan \varphi}{a_1 * b_1 - a_2 * b_2 + a_1 * b_2 * \tan \varphi + a_2 * b_1 * \tan \varphi} \quad (\text{Ek C16})$$

olarak elde edilir. Bu denklemin pay ve paydası için,

$$K_1 = a_1 * b_2 + a_2 * b_1 - a_1 * b_1 * \tan \varphi + a_2 * b_2 * \tan \varphi \quad (\text{Ek C17})$$

$$K_2 = a_1 * b_1 - a_2 * b_2 + a_1 * b_2 * \tan \varphi + a_2 * b_1 * \tan \varphi \quad (\text{Ek C18})$$

kısaltmaları yapılabilir. Bu durumda Ek C16 denklemini,

$$\tan 2\delta = \frac{K_1}{K_2} \quad (\text{Ek C17})$$

olarak ifade edilebilir. Bu işlemler jakobiyeen matrisin determinantının sıfır olduğu nokta için yapıldığından δ değeri kritik değerdir. Bu neden ile $\delta = \delta_{krtk}$ yazılabilir. Bu durumda denklem Ek C17'den yük barasının kritik açı değerini veren formül,

$$\delta_{krtk} = \frac{1}{2} * \tan^{-1}\left(\frac{K_1}{K_2}\right) = \frac{\pi}{4} + \frac{1}{2} \tan^{-1}\left(\frac{K_2}{-K_1}\right) \quad (\text{Ek C18})$$

olarak elde edilir. Kritik noktada çalışıldığından denklem Ek C8'de $V_r = V_{krtk}$ yazılabilir. Kritik yük açısı formülü denklem Ek C8 'de yerine yazıldığında,

$$V_{krtk} = \frac{V_s}{2 * (a_1 * \cos \delta_{krtk} + a_2 * \sin \delta_{krtk})} \quad (\text{Ek C19})$$

Yük barasının kritik gerilim değerini veren formül elde edilir. Yük barası için, gerilim ve açı değerleri kritik değerlerini aldığında aktif güç ifadesi de kritik değerini alır. Bu durumda denklem Ek B9 yeniden düzenlenir ise bu ifade,

$$P_{krtk} = \frac{V_s * V_{krtk} * (b_1 * \cos \delta_{krtk} + b_2 * \sin \delta_{krtk}) - V_{krtk}^2 * (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)}{b_1^2 + b_2^2} \quad (\text{Ek C20})$$

Olarak yazılabilir. Denklem Ek C18 ve Ek C 19'daki δ_{krtk} , V_{krtk} ifadelerinin açık hali denklem Ek C 17 yerine yazılması ve,

$$K_3 = (b_1 * \cos \delta_{krtk} + b_2 * \sin \delta_{krtk}) \quad (\text{Ek C21})$$

$$K_4 = (a_1 * \cos \delta_{krtk} + a_2 * \sin \delta_{krtk}) \quad (\text{Ek C22})$$

kısaltmalarının da kullanılması neticesinde,

$$P_{krtk} = \frac{V_s^2 * [2 * K_3 * K_4 - (a_1 * b_1 + a_2 * b_2)]}{(b_1^2 + b_2^2) * 4 * K_4^2} \quad (\text{Ek C23})$$

ifadesi elde edilir. Böylece hat sonundan yük barası tarafından çekilen kritik aktif güç değerinin hesaplandığı formül belirlenmiş olur.

Ek D Program Kodları

Ek D1 Hat Sabitlerinin Elde Edildiği Program kodları

```
% hat sabitlerinin belirlenmesi
%VS=cosh(gm*l)*VR+Zc*sinh(gm*l)*IR
%IS=( 1/ Zc ) * sinh (gm*l ) *VR+cosh( gm*l ) *IR
%gm=sqrt(z*y)
%gm*l=sqrt(z*l*y*l)
%zc=sqrt(z/y)
%vs1=380000/sqrt(3);
%vs= 380000;
%fi=30% cosfi .... geri veya ileri
%cosfi=cos(fi*pi/180)
%tanfi=tan(fi*pi/180)
clear all
clc
r=0.0173; %ohm/km
x=0.157;%ohm/km
z=r+x*i;
y=0.0000069i; %s/km
l=550; % km olarak hat uzunluğu
gm=sqrt(z*y); gm:gama yayılma sabiti
alfa=real(gm);
beta=imag(gm);
zc=sqrt(z/y); %karakteristik empedans değeri
A=cosh(gm*l)
```

```

B=zc*sinh(gm*l)
C=(1/zc)*sinh(gm*l);
D=A;
% pu cinsinden hat sabitleri
ub=380000;sb=100000000;zbaz=ub.^2/sb;Apu=A/zbaz;Bpu=B/zbaz;

```

Ek D2 Değişik Güç Katsayıları İçin P-V Eğrilerinin Çizdirildiği Program Kodları

```

%fi = -30 0 30 için p-v eğrilerinin aynı eksen takımında gösterilmesi
clear all
clc
vs=220000;
r=0.0173; x=0.157;z=r+x*i; %ohm/km
y=0.0000069i; %s/km
l=550; % km olarak hat uzunluğu
gm=sqrt(z*y); %gm:gama yayılma sabiti
zc=sqrt(z/y); %karakteristik empedans değeri
A=cosh(gm*l)
B=zc*sinh(gm*l)
C=(1/zc)*sinh(gm*l);
D=A;
a1=real(A),a2=imag(A),b1=real(B),b2=imag(B);
A2=(a1.^2+a2.^2),B2=b1.^2 +b2.^2;
%+++++
% cos(30) için p-v gerçek değerler ile eğrisi
%tanfi=beta
beta=0.577 %tan(30)
pdn=linspace(0, 9e+8 ,1000);
b=2*pdn*(a1*b1+a2*b2)+2*pdn*beta*(a1*b2-a2*b1)-vs.^2;
delta=b.^2- (4*A2*B2*pdn.^2)*(1+beta.^2);
%v2n=sqrt(3)*(sqrt(-b+sqrt(delta))/(2*A2));
v2n=sqrt((-b+sqrt(delta))/(2*A2));

```

```

%+++++
pdp=linspace(9e+8 , 0 , 1000);
by=2*pdp*(a1*b1+a2*b2)+2*pdp*beta*(a1*b2-a2*b1)-vs.^2;
deltay=by.^2-4*A2*B2*pdp.^2*(1+beta.^2);
%v2p=sqrt(3)*((sqrt(-by-sqrt(deltay))/(2*A2))));
v2p=sqrt((-by-sqrt(deltay))/(2*A2));
pd1=[pdn pdp];
v21=[v2n v2p];
%!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
% cos(0) için p-v gerçek değerler ile eğrisi
beta=0; %tan(0)
pdn=linspace(0, 9e+8 ,1000);
b=2*pdn*(a1*b1+a2*b2)+2*pdn*beta*(a1*b2-a2*b1)-vs.^2;
delta=b.^2- (4*A2*B2*pdn.^2)*(1+beta.^2);
%v2n=sqrt(3)*(sqrt(-b+sqrt(delta))/(2*A2))));
v2n=sqrt((-b+sqrt(delta))/(2*A2));
%+++++
pdp=linspace(9e+8 , 0 , 1000);
by=2*pdp*(a1*b1+a2*b2)+2*pdp*beta*(a1*b2-a2*b1)-vs.^2;
deltay=by.^2-4*A2*B2*pdp.^2*(1+beta.^2);
%v2p=sqrt(3)*((sqrt(-by-sqrt(deltay))/(2*A2))));
v2p=sqrt((-by-sqrt(deltay))/(2*A2));
pd2=[pdn pdp];
v22=[v2n v2p];
%!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!
%% cos(-30) için p-v gerçek değerler ile eğrisi
beta=-0.577; %tan(-30)
pdn=linspace(0, 9e+8 ,1000);
b=2*pdn*(a1*b1+a2*b2)+2*pdn*beta*(a1*b2-a2*b1)-vs.^2;
delta=b.^2- (4*A2*B2*pdn.^2)*(1+beta.^2);
%v2n=sqrt(3)*(sqrt(-b+sqrt(delta))/(2*A2))));
v2n=sqrt((-b+sqrt(delta))/(2*A2));
%+++++

```


$v2=0.9, v3=0.89, v4=0.91, v6=0.85, v7=0.85, v8=0.88, v9=0.86;$
 $s2=p2+q2*i, s3=p3+q3*i, s4=p4+q4*i, s6=p6+q6*i, s7=p7+q7*i;$
 $s8=p8+q8*i, s9=p9+q9*i;$
 $fi2=atan(q2/p2), fi3=atan(q3/p3), fi4=atan(q4/p4), fi6=atan(q6/p6);$
 $fi7=atan(q7/p7), fi8=atan(q8/p8), fi9=atan(q9/p9);$
 $fi2d=fi2*180/pi, fi3d=fi3*180/pi, fi4d=fi4*180/pi, fi6d=fi6*180/pi;$
 $fi7d=fi7*180/pi, fi8d=fi8*180/pi, fi9d=fi9*180/pi;$
 $z2=(v2^2*cos(fi2)/p2), z3=(v3^2*cos(fi3)/p3), z4=(v4^2*cos(fi4)/p4);$
 $z6=(v6^2*cos(fi6)/p6), z7=(v7^2*cos(fi7)/p7), z8=(v8^2*cos(fi8)/p8);$
 $z9=(v9^2*cos(fi9)/p9);$
 $z2r=z2*cos(fi2), z2i=z2*sin(fi2), Z2=z2r+i*z2i;$
 $z3r=z3*cos(fi3), z3i=z3*sin(fi3), Z3=z3r+i*z3i;$
 $z4r=z4*cos(fi4), z4i=z4*sin(fi4), Z4=z4r+i*z4i;$
 $z6r=z6*cos(fi6), z6i=z6*sin(fi6), Z6=z6r+i*z6i;$
 $z7r=z7*cos(fi7), z7i=z7*sin(fi7), Z7=z7r+i*z7i;$
 $z8r=z8*cos(fi8), z8i=z8*sin(fi8), Z8=z8r+i*z8i;$
 $z9r=z9*cos(fi9), z9i=z9*sin(fi9), Z9=z9r+i*z9i;$
 $y2=1/Z2, y3=1/Z3, y4=1/Z4, y6=1/Z6, y7=1/Z7, y8=1/Z8, y9=1/Z9$
 $y11=-17.36*i, y12=0, y13=0, y14=17.36*i, y15=0, y16=0, y17=0, y18=0, y19=0;$
 $y21=y12; y22e=-16*i, y23=0, y24=0, y25=0, y26=0, y27=0, y28=16*i, y29=0;$
 $y31=y13; y32=y23; y33e=-9.92*i, y34=0, y35=0, y36=9.92*i, y37=0, y38=0, y39=0;$
 $y41=y14; y42=y24; y43=y34; y44e=3.31-39.31*i;$
 $y45=-1.94+10.51*i, y46=0, y47=0, y48=0, y49=-1.37+11.6*i$
 $y51=y15; y52=y25; y53=y35; y54=y45; y55=3.22-15.84*i;$
 $y56=-1.28+5.59*i, y57=0, y58=0, y59=0;$
 $y61=y16; y62=y26; y63=y36; y64=y46; y65=y56; y66e=3.52-28.77*i;$
 $y67=-2.23+13.52*i, y68=0, y69=0;$
 $y71=y17; y72=y27; y73=y37; y74=y47; y75=y57; y76=y67; y77e=3.85-27.07*i;$
 $y78=-1.62+13.7*i, y79=0;$
 $y81=y18; y82=y28; y83=y38; y84=y48; y85=y58; y86=y68; y87=y78;$
 $y88e=2.8-35.45*i, y89=-1.19+5.98*i;$
 $y91=y19; y92=y29; y93=y39; y94=y49; y95=y59; y96=y69; y97=y79; y98=y89;$
 $y99e=2.55-17.34*i$

```

y22=y22e-y2;y33=y33e-y3;y44=y44e+y4;y66=y66e+y6;y77=y77e+y7;
y88=y88e+y8;y99=y99e+y9;
y0=[y11 y12 y13 y14 y15 y16 y17 y18 y19;y21 y22e y23 y24 y25 y26 y27 y28 y29;
    y31 y32 y33e y34 y35 y36 y37 y38 y39;y41 y42 y43 y44e y45 y46 y47 y48 y49;...
    y51 y52 y53 y54 y55 y56 y57 y58 y59;y61 y62 y63 y64 y65 y66e y67 y68 y69;...
    y71 y72 y73 y74 y75 y76 y77e y78 y79;y81 y82 y83 y84 y85 y86 y87 y88e y89;...
    y91 y92 y93 y94 y95 y96 y97 y98 y99e];
%!!!!!!!!!!!!!! 5. yük barasi icin :!!!!!!!!!!!!!!
y5=[y55 y51 y53 y54 y52 y56 y57 y58 y59;y15 y11 y13 y14 y12 y16 y17 y18 y19;
    y35 y31 y33 y34 y32 y36 y37 y38 y39; y45 y41 y43 y44 y42 y46 y47 y48 y49;.
    y25 y21 y23 y24 y22 y26 y27 y28 y29; y65 y61 y63 y64 y62 y66 y67 y68 y69;
    y75 y71 y73 y74 y72 y76 y77 y78 y79; y85 y81 y83 y84 y82 y86 y87 y88 y89;.
    y95 y91 y93 y94 y92 y96 y97 y98 y99];
a=y5(1:2,1:2);b=y5(1:2,3:9);c=y5(3:9,1:2);d=y5(3:9,3:9);
% iki baraya inen yeni sistenim admitans matrisi:.....
yy=a-(b*inv(d)*c);Y12=-1*yy(1,2);z=1/Y12;y1y=yy(1,1)-Y12;y2y=yy(2,2)-Y12;
A=1+z*y1y;B=z;a1=real(A);a2=imag(A);b1=real(B);b2=imag(B);
b3=1/(b1.^2+b2.^2);Vs=1.04;fi=19;
k1=a1*b2+a2*b1-a1*b1*tan(fi*pi/180)+a2*b2*tan(fi*pi/180);
k2=a1*b1-a2*b2+a1*b2*tan(fi*pi/180)+a2*b1*tan(fi*pi/180);
acikrtk=0.5*atan(k1/k2);acikrtkd=acikrtk*180/pi
acikrtk2=pi/4+0.5*atan(k2/-k1);
k3=b1*cos(acikrtk)+b2*sin(acikrtk);
k4=a1*cos(acikrtk)+a2*sin(acikrtk);
Vr=Vs/(2*k4);Vr=Vs/(2*(a1*cos(acikrtk*pi/180)+a2*sin(acikrtk*pi/180)));
Pr1f=(Vs*Vr)*(b1*cos(acikrtk)+b2*sin(acikrtk))*(b3);
Prs=(Vr.^2)*(a1*b1+a2*b2)*(b3);
Pr=Pr1f-Prs ;
pr2=(Vs.^2*(2*k3*k4-(a1*b1+a2*b2)))/(4*k4.^2*(b1.^2+b2.^2))

```

Ek D5 Altı Baralı Güç Sisteminde Kritik Değerlerin Genetik Algoritma İle Bulunduğu Program Kodları

```

clc
clear all
close all
generasyon_n = 250;
popilasyonsayısı = 24;
çaprazlama oranı = 1;
mutasyon oranı = 0.04;
bit_n = 9; %bir değişkenin bit sayısı
obj_fcn = 'peaksfcn'; %amaç fonksiyonu
cons_fcn2 = 'consfcn2'; %kısıt fonksiyonu
    var_n = 2; %değişken sayısı
    range = [0.4,1.05;-1.5,1.5 ];    %değişkenlerin sınır değerleri

% Rast gele başlangıç popilasyonu
popu = rand(popuSize, bit_n*var_n) > 0.5 ;
upper = zeros(generation_n, 1);
average = zeros(generation_n, 1);
lower = zeros(generation_n, 1);

% GA nın ana döngüsü
for i = 1:generation_n;

% gereksiz objelerin silinmesi
    delete(findobj(0, 'tag', 'member'));
    delete(findobj(0, 'tag', 'individual'));
    delete(findobj(0, 'tag', 'count'));

% Her bir birey için amaç fonksiyonu değerlerinin hesaplanması
    fcn_value = evalpopu(popu, bit_n, range, obj_fcn);
% her bir birey için kısıt fonksiyonu değerlerinin hesaplanması

```

```

fcn_value3 = evalpopu(popu, bit_n, range, cons_fcn2);
% ceza fonksiyonu
penalty1=fcn_value3;
penalty=10*penalty1.^2;
d=min(penalty);
e=max(penalty);

% Uygunluk fonksiyonunun hesaplanması
uygunluk1= 6e+5+(fcn_value - penalty);
% Amaç fonksiyonu matrisini doldur
upper(i) = max(fcn_value);
average(i) = mean(fcn_value);
lower(i) = min(fcn_value);

%Kısıt fonk matrisinin doldurulması
upper(i) = max(fcn_value3);
average(i) = mean(fcn_value3);
lower(i) = min(fcn_value3);
% Uygunluk fonksiyonu matrisini doldur
upper(i) = max(uygunluk);
average(i) = mean(uygunluk);
lower(i) = min(uygunluk);
% display current best
[best, index] = max(uygunluk);
fprintf('Generation %i: ', i);
        fprintf('f(%2.3f, %2.3f)=%2.3f\n', ...
                bit2num(popu(index, 1:bit_n), range(1,:)), ...
                bit2num(popu(index, bit_n+1:2*bit_n), range(2,:)), ...
                best);

% bir sonraki generasyon için yeni popilasyonu elitizm seçim çaprazlama
%ve mutasyon ile oluştur.
popu = nextpopu(popu, uygunluk, xover_rate, mutate_rate);

```

Genetik algoritmanın istendiği anda durdurulup bir tuş basma ile devam ettirilmesi

```
%if (i==5)
%    fprintf('1. generasyon da popilasyon .\n');
%    fprintf('devam için herhangi bir tuşa basınız...\n');
%    pause;
%end

% x1 ve x2 nin en uygun değerinin belirlenmesi
xopt1=bit2num(popu(index, 1:bit_n), range(1,:));
xopt2=bit2num(popu(index, bit_n+1:2*bit_n), range(2,:));
hold on
plot(xopt1,xopt2,'r.')
xlabel('yük barasi gerilimi'); ylabel('yük barasi acisi');
end
figure;
blackbg;
x = (1:generation_n)';
plot(x, upper, 'o', x, average, 'x', x, lower, '*');
hold on;
plot(x, [upper average lower]);
hold off;
legend('EN IYI', 'ORTA', 'EN KÖTÜ');
xlabel('GENERASYON'); ylabel('UYGUNLUK');
% Amaç fonksiyonunun ifade edilmesi
function z = peaksfcn(input)
x = input(1); y = input(2);
Vs=1.05;
%%%%%%%%%% %%%           dördüncü yük barası           %%%%%%%%%%%
%p4  15MW
%a1=0.9962;
%a2=0.0177;
%b1=0.0343;
%b2=0.1029;
```

%p4 %25

%a1=0.9774;

%a2=0.0214;

%b1=0.0312;

%b2=0.1025;

%p4 %50

%a1=0.9667;

%a2=0.0272;

%b1=0.0309;

%b2=0.1022;

%p4 %75

%a1=0.9649;

%a2=0.0286;

%b1=0.0308;

%b2=0.1022;

%p4 %100

%a1=0.9697;

%a2=0.0354;

%b1=0.0305;

%b2=0.1029;

%%%%%%%% %%%%

beşinci yük barası

%%%%%%%% %%%%

%p5 15MW

%a1=0.99918;

%a2=0.0183;

%b1=0.0357;

%b2=0.1247;

%p5 %25

%a1=0.9760;

%a2=0.0249;

%b1=0.0351;

%b2=0.1239;

%p5 %50

%a1=0.9549;

%a2=0.0319;

%b1=0.0344;

%b2=0.1228;

%p5 %75

%a1=0.9576;

%a2=0.0349;

%b1=0.0343;

%b2=0.1229;

%p5 %100

%a1=0.9591;

%a2=0.0402;

%b1=0.0338;

%b2=0.1228;

%%%%%%%%%%

altıncı yük barası

%%%%%%%%%%

%p6 15MW

%a1=0.9746;

%a2=0.0010;

%b1=0.0542;

%b2=0.1688;

%p6 %25

%a1=0.9439;

%a2=0.0110;

%b1=0.0333;

%b2=0.1674;

%p6 %50

%a1=0.9030;

%a2=0.0240;

%b1=0.0513;

%b2=0.1647;

%p6 %75

%a1=0.8901;

%a2=0.0208;

%b1=0.0511;

```

%b2=0.1647;
%p6 %100
a1=0.8251;
a2=-0.0049;
b1=0.0509;
b2=0.1640;
b3=b1.^2+b2.^2;
z= (1/b3)*(Vs* x*( b1* cos(y) + b2*sin(y) )) - (1/b3)*(( a1* b1+ a2*b2 )* x.^2 ) ;
% Kısıt fonksiyonunun ifadesi
function t = consfcn2(input)
x = input(1); y = input(2);
Vs=1.05;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% dördüncü yük barası %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%p4 %100
%a1=0.9697;
%a2=0.0354;
%b1=0.0305;
%b2=0.1029;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% beşinci yük barası %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%p5 %100
%a1=0.9591;
%a2=0.0402;
%b1=0.0338;
%b2=0.1228;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% altıncı yük barası %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%p6 %100
a1=0.8251;
a2=-0.0049;
b1=0.0509;
b2=0.1640;
b3=b1.^2+b2.^2;
t=(1/b3)*(Vs* x*( b2* cos(y) - b1*sin(y) )) - (1/b3)*(( a1* b2- a2*b1 )* x^2 )-...
(15/15)*((1/b3)*(Vs*x*( b1*cos(y)+ b2*sin(y) )) - (1/b3)*(( a1* b1+ a2*b2 )* x^2));

```

```

% genetik algoritma operatörleri elitizm, seçim, çaprazlama, mutasyon
function new_popu = nextpopu(popu, uygunluk, xover_rate, mut_rate)
new_popu = popu;
popu_s = size(popu, 1);
string_leng = size(popu, 2);
% ===== ELITISM: korunacak en iyi iki değerin bulunması
tmp_uygunluk = uygunluk;
[junk, index1] = max(tmp_uygunluk);      %en iyi uygunluğa sahip birinci değer
%tmp_uygunluk(index1) = min(tmp_uygunluk);
[junk, index2] = max(tmp_uygunluk);      % en iyi uygunluğa sahip ikinci değer
new_popu([1 2], :) = popu([index1 index2], :);
% ===== SEÇİM VE ÇAPRAZLAMA=====
for i = 2:popu_s/2,
    % === UYGUNLUK DEĞERLERİNE GÖRE EBEVEYN SEÇİMİ
    %TURNUVA SEÇİMİ
    cand=ceil(popu_s*rand(2,1)); % popilasyondan rastgele iki birey al (rastgele iki
satır numarası belirle )
    if uygunluk(cand(1))>uygunluk(cand(2))
        parent1= popu(cand(1), :); % iki bireyden hangisi büyükse o anne diğerini at
    else
        parent1= popu(cand(2), :);
    end
    cand=ceil(popu_s*rand(2,1));
    if uygunluk(cand(1))>uygunluk(cand(2))    % iki bireyden hangisi büyükse o
baba diğerini at
        parent2= popu(cand(1), :);
    else
        parent2= popu(cand(2), :);
    end
    anne=parent1;
    baba=parent2;
    % === çaprazlama
    if rand < xover_rate;

```

```

        % Perform crossover operation
        xover_point = ceil(rand*(string_leng-1));
        new_popu(i*2-1, :) = ...
            [parent1(1:xover_point) parent2(xover_point+1:string_leng)];
        new_popu(i*2, :) = ...
            [parent2(1:xover_point) parent1(xover_point+1:string_leng)];
    end

    % ===== Mutasyon
    mask = rand(popu_s, string_leng) < mut_rate;
    new_popu = xor(new_popu, mask);
    % restore the elites
    new_popu([1 2], :) = popu([index1 index2], :);
    %pause;
end

%disp(new_popu);
% fonksiyon değerlerinin hesaplanması
function obj = evalpopu(population, bit_n, range, obj_fcn, cons_fcn2);
global count
pop_n = size(population, 1);
obj = zeros(pop_n, 1);
%fitness = zeros(pop_n, 1);
for count = 1:pop_n;
    obj(count) = evaleach(population(count, :), bit_n, range, obj_fcn);
end

function kisit3 = cosevalpopu(population, bit_n, range, cons_fcn2)
global count
pop_n = size(population, 1);
kisit3 = zeros(pop_n, 1);
%fitness = zeros(pop_n, 1);
for count = 1:pop_n,
    kisit3(count) = evaleach(population(count, :), bit_n, range, cons_fcn2);
    %fitness(count) = evaleach(population(count, :), bit_n, range, cons_fcn2);
end

```

```

function out = evaleach(string, bit_n, range,obj_fcn , cons_fcn2 );
var_n = length(string)/bit_n;
input = zeros(1, var_n);
for i = 1:var_n;
    input(i) = bit2num(string((i-1)*bit_n+1:i*bit_n), range(i, :));
end
out = feval(obj_fcn, input);
% fonksiyonların onluk ve ikilik sayı sisteminde hesaplanması
function num = bit2num(bit, range)
integer = polyval(bit, 2);
num = integer*((range(2)-range(1))/(2^length(bit)-1)) + range(1);

```

ÖZGEÇMİŞ

Ali Öztürk, 1974 yılında Düzce’de doğdu İlk ve orta öğrenimini Düzce’de tamamladı. 1996 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi’nden Elektrik Mühendisi olarak mezun oldu. 1998 yılında Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda başladığı yüksek lisans çalışmasını 2001 yılında tamamladı. Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Ana Bilim Dalında doktora çalışmasını sürdürmektedir. Ali Öztürk evli ve bir çocuk babasıdır.