

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİSTEM GENİŞLEMESİ KOŞULLARI
ALTINDA İŞLETMENİN ENİYİLENMESİ İÇİN YENİ BİR AKILLI YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

Doğan Recep GÜMELİ

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

NİSAN 2014

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİSTEM GENİŞLEMESİ KOŞULLARI
ALTINDA İŞLETMENİN ENİYİLENMESİ İÇİN YENİ BİR AKILLI YÖNTEM
GELİŞTİRİLMESİ**

DOKTORA TEZİ

**Doğan Recep GÜMELİ
(504902008)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK

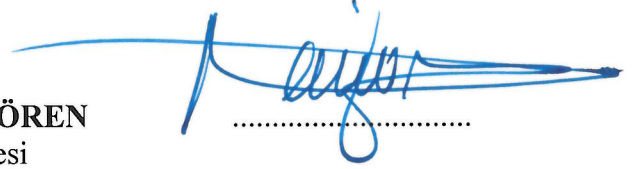
NİSAN 2014

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504902008 numaralı Doktora Öğrencisi **Doğan Recep GÜMELİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİSTEM GENİŞLEMESİ KOŞULLARI ALTINDA İŞLETMENİN ENİYİLENMESİ İÇİN YENİ BİR AKILLI YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

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



Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN**
İstanbul Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Ramazan ÇAĞLAR
İstanbul Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Mehmet BAYRAK
Sakarya Üniversitesi



Doç. Dr. Recep YUMURTACI
Yıldız Teknik Üniversitesi



Teslim Tarihi : **21 Mart 2014**
Savunma Tarihi : **29 Nisan 2014**

Sevgili ailem ve değerli hocam Mustafa BAĞRIYANIK'a,

ÖNSÖZ

Elektrik güç sistemleri, enerji ihtiyacındaki artış ve gelişen teknolojiler ile her geçen gün biraz daha büyümekte, daha karmaşık yapıya bürünmekte ve önümüze çözülmesi gereken yeni sorunları getirmektedir. Güç sistemlerinin genişlemesi ile tüketiciye kaliteli ve güvenilir enerjiyi sunmak daha karmaşık bir hal almaktadır. Bu gelişmelerden yola çıkarak, genişleyen güç sistemlerinde en iyi işletme koşullarını araştırmayı doktora çalışmamın konusu olarak belirledik. Sorunun boyutunu detayları ile anlayabilmek ve uygulanabilir bir çalışmaya yönelebilmemiz için TEİAŞ yetkilileri ile görüştük. Bizlerden desteğini esirgemeyen tüm TEİAŞ yetkililerine teşekkür ederim.

Endüstri tesisleri ve enerji sistemleri ile ilgili 25 yılı aşkın piyasa tecrübemin üzerine akademik çalışma yapmaya karar verdiğimde beni öğrencisi olarak kabul eden ve danışmanlığımı üstlenen Prof. Dr. Mustafa BAĞRIYANIK'a ve tez izleme sürecinde katkılarını esirgemeyen değerli jüri üyelerim Prof. Dr. Ayşen DEMİRÖREN ve Doç. Dr. Mehmet BAYRAK'a da teşekkür ederim.

Mühendislik eğitimimin ardından çalışmaya başladığım ve kişisel gelişimime önemli katkılar sağlayan Siemens firması da gerek imkanları ve gerekse orada edindiğim tecrübeler ile çalışmama ışık olmuştur.

Doktora çalışmamda en önemli motivasyon kaynağım ailem oldu, destekleri ile yolumu açtılar. Bu vesile ile eşim Gaye'ye, kızım Cemre'ye ve oğlum Tuna'ya da sonsuz teşekkür ederim.

Mart 2014

Doğan Recep GÜMELİ
(Elk. Yük. Müh, Proje Yöneticisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xxi
SUMMARY.....	xxv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı.....	2
1.2 Tezin Çalışma Akışı	4
1.3 Literatür Araştırması	5
2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE GENİŞLEMENİN ETKİLERİ	13
2.1 Giriş	13
2.2 Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Profiline Yıllar İçinde Değişimi	13
2.3 Güç Sistemlerinde Genişleme	15
2.4 Örnek Sistem İncelemeleri ve Sonuçları	16
2.4.1 IEEE 30 baralı test sistemi için temel durum.....	17
2.4.2 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 1'in uygulanması	18
2.4.3 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 2'nin uygulanması.....	19
2.4.4 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 3'ün uygulanması.....	20
2.4.5 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 4'ün uygulanması.....	21
2.4.6 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 5'in uygulanması	22
2.4.7 Temel durum ve senaryolardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi	23
3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE DUYARLILIK ANALİZİ	27
3.1 Giriş	27
3.2 Duyarlılık Analizi ve Önemi.....	27
3.3 Ağırlıklı Toplam Karar Verme Yöntemi	28
3.4 Karar Verme Yöntemi İçin Seçilen Kriterler ve Ağırlıkları	30
3.5 Duyarlılık Analizi ve Akış Şeması.....	31
4. SİSTEM GENİŞLEME ETKİLERİNİN BULANIK ORTAMDA ELE	
ALINMASI.....	35
4.1 Giriş	35
4.2 Bulanık Mantık.....	35
4.3 Bulanıklık ve Bulanık Küme.....	36
4.4 Eniyileme Probleminde Kullanılacak Üyelik Fonksiyonları	38
4.4.1 Bara gerilimi üyelik fonksiyonu.....	38
4.4.2 Arıza akımı üyelik fonksiyonu.....	39
4.4.3 Kayıplar (P_{lost} , Q_{lost}) için üyelik fonksiyonu	42
5. ENİYİLEME PROBLEMİNİN OLUŞTURULMASI.....	45
5.1 Giriş	45
5.2 Amaç Fonksiyonları	45

5.2.1 Bara arıza akımı (f_1)	45
5.2.2 İletim hatları kayıpları (f_2 ve f_3)	46
5.3 Kısıtlamalar	47
5.3.1 Eşitlik kısıtlamaları	47
5.3.2 Eşitsizlik kısıtlamaları	48
5.4 Kontrol Değişkenleri	49
5.5 Yöntemin Akış Şeması	49
6. ENİYİLEME PROBLEMİNİN EVRİMSEL ALGORİTMALAR İLE ÇÖZÜMÜ	51
6.1 Giriş	51
6.2 Evrimsel Algoritmanın Tanıtımı	51
6.3 Evrimsel Algoritmada Temel Döngü	52
6.4 Evrimsel Algoritmaların Sınıflandırılması	52
6.5 Genetik Algoritmalar	55
6.5.1 Seçim (Selection)	56
6.5.2 Çaprazlama (crossover)	57
6.5.3 Mutasyon (mutation)	57
6.6 Ateş Böceği Algoritması	57
6.6.1 Ateş böceklerinin davranışı	58
6.6.2 Ateşböceği algoritması	58
6.6.3 Levy ateşböceği algoritması-LAA (Levy Firefly Algorithms-LFA)	60
6.6.4 Parametrelerin seçimi	61
6.6.5 Asimptotik durumlar	62
6.7 LAA'nın GA ve PSO ile Karşılaştırılması	62
7. UYGULAMANIN GERÇEKLENMESİ	65
7.1 Test Amaçlı Güç Sistemlerinin Tanıtımı	65
7.1.1 IEEE 30 baralı test sistemi	65
7.1.2 IEEE 118 baralı test sistemi	67
7.1.3 Trakya güç sistemi	69
7.1.3.1 Trakya güç sistemine ait bilgiler	69
7.1.3.2 Trakya güç sistemi ve Avrupa kıtası elektrik sistemine bağlantısı	71
7.2 Test Sistemleri Üzerinde Uygulamalar	72
7.2.1 IEEE 30 baralı test sistemi ile yapılan inceleme ve sonuçları	72
7.2.1.1 IEEE 30 baralı test sisteminde genetik algoritma (GA) ile yapılan eniyileme	72
7.2.1.2 IEEE 30 baralı test sisteminde ateşböceği algoritması (AA) ile yapılan eniyileme	76
7.2.2 IEEE 118 baralı test sistemi ile yapılan inceleme sonuçları	79
7.2.2.1 IEEE 118 baralı test sisteminde genetik algoritma (GA) ile yapılan eniyileme	79
7.2.2.2 IEEE 118 baralı test sisteminde ateşböceği algoritması (AA) ile yapılan eniyileme	84
7.2.3 Trakya güç sistemi ile yapılan inceleme sonuçları	89
7.2.3.1 Trakya güç sisteminde genetik algoritma (GA) ile yapılan eniyileme	89
7.2.3.2 Trakya güç sisteminde ateşböceği algoritması (AA) ile yapılan eniyileme	95
7.3 Test ve Gerçek Sistemler Üzerinde Yapılan İncelemelerin Değerlendirilmesi	101
8. SONUÇLAR	105

KAYNAKLAR.....	109
EKLER.....	119
ÖZGEÇMİŞ	145

KISALTMALAR

AA	: Ateşböceği Algoritması
BEDAŞ	: Boğaziçi Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
BFA	: Bakteriyel Toplayıcılık Algoritması / Bacterial Foraging Algorithm
BMR_k	: Bus Marginal Rate Criterion
ENTSO-E	: European Network of Transmission System Operators for Electricity
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETSO	: European Transmission System Operators
FA	: Firefly Algorithm
FACTS	: Flexible AC Transmission System
FCL	: Fault Current Limiter
GA	: Genetik Algoritma / Genetic Algorithm
HTS-FCL	: High Temperature Superconductor Fault Current Limiter
IEE	: Institution of Electrical Engineers
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
İTÜ	: İstanbul Teknik Üniversitesi
LAA	: Levy Ateşböceği Algoritması
LFA	: Levy Firefly Algorithm
PSO	: Parçacık Sürü Optimizasyonu / Partical Swarm Optimization
PSSE	: Power System Simulation for Engineers
SFCL	: Superconducting Fault Current Limiter
SSFCL	: Solid-State Fault Current Limiter
STATCOM	: Static Synchronous Compensator
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
TREDAŞ	: Trakya Elektrik Dağıtım Anonim Şirketi
UCTE	: Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Türkiye kurulu gücünün ve üretim bilgilerinin yıllara göre değişimi...	13
Çizelge 2.2 : Temel durum bara gerilimleri ve kısa devre akımları.....	17
Çizelge 2.3 : Senaryo 1'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları	18
Çizelge 2.4 : Senaryo 2'ye ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları	19
Çizelge 2.5 : Senaryo 3'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları	20
Çizelge 2.6 : Senaryo 4'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları	21
Çizelge 2.7 : Senaryo 5'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları	22
Çizelge 2.8 : Her bir durum için hesaplanan aktif ve reaktif kayıplar	24
Çizelge 2.9 : Genişleyen güç sisteminde tespit edilen değişimler	25
Çizelge 3.1 : Karar verme matrisi	29
Çizelge 5.1 : Eniyilemede kullanılan kontrol değişkenleri.....	49
Çizelge 6.1 : Algoritma performanslarının kıyaslanması	63
Çizelge 7.1 : IEEE 30 baralı test sistemindeki üretim bilgileri.....	65
Çizelge 7.2 : IEEE 30 baralı test sistemindeki yükler	66
Çizelge 7.3 : IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi	75
Çizelge 7.4 : IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi	78
Çizelge 7.5 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi	83
Çizelge 7.6 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi	88
Çizelge 7.7 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi	93
Çizelge 7.8 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi	99
Çizelge 7.9 : IEEE 30 ve 118 baralı test sistemleri ile Trakya güç sistemi üzerinde yapılan inceleme sonuçları	103
Çizelge 7.10 : Test sistemlerinde kullanılan eniyileme tekniklerinin çözüm süreleri	104
Çizelge A.1 : IEEE 30 baralı test sistemindeki hat bilgileri	120
Çizelge A.2 : IEEE 30 baralı test sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler	121
Çizelge A.3 : IEEE 30 baralı test sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler	122
Çizelge B.1 : IEEE 118 baralı test sistemindeki hat bilgileri	123
Çizelge B.2 : IEEE 118 baralı test sistemindeki yük bilgileri	125
Çizelge B.3 : IEEE 118 baralı test sistemindeki üretim bilgileri	126
Çizelge B.4 : IEEE 118 baralı test sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler	127

Çizelge B.5 : IEEE 118 baralı test sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.....	129
Çizelge C.1 : Trakya güç sistemine ait bara numaraları ve adları.....	131
Çizelge C.2 : Trakya güç sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler	134
Çizelge C.3 : Trakya güç sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler	139

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1	: Türkiye kurulu gücünün yıllara göre değişimi.....	14
Şekil 2.2	: Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yıllara göre değişimi.....	14
Şekil 2.3	: 2002-2021 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi ...	15
Şekil 2.4	: Temel duruma ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.....	17
Şekil 2.5	: Senaryo 1'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.....	18
Şekil 2.6	: Senaryo 2'ye ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.....	19
Şekil 2.7	: Senaryo 3'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.....	20
Şekil 2.8	: Senaryo 4'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.....	21
Şekil 2.9	: Senaryo 5'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.....	22
Şekil 2.10	: Sistem genişlemesinin bara gerilimlerine etkisi	23
Şekil 2.11	: Sistem genişlemesinin arıza akımlarına etkisi	24
Şekil 2.12	: Sistem genişlemesi durumunda aktif ve reaktif kayıpların değişimi	25
Şekil 3.1	: Ağırlıklı toplam modelin uygulandığı duyarlılık analizi akış şeması	32
Şekil 4.1	: Bara gerilimi üyelik fonksiyonu	39
Şekil 4.2	: Kesicinin mekanik açma sayısının akım ile değişimi	40
Şekil 4.3	: Bara arıza akımı üyelik fonksiyonu	41
Şekil 4.4	: Toplam aktif güç kaybı üyelik fonksiyonu.....	42
Şekil 4.5	: Toplam reaktif güç kaybı üyelik fonksiyonu	43
Şekil 5.1	: Yeni akıllı yöntem uygulamasına ait akış şeması	50
Şekil 6.1	: Evrimsel algoritmada temel döngü	52
Şekil 6.2	: Eniyileme algoritmalarının sınıflandırılması	53
Şekil 6.3	: Evrimsel algoritma ailesinin bileşenleri	54
Şekil 6.4	: Genetik Algoritmalarda temel döngü	55
Şekil 6.5	: Genetik Algoritmalarda kromozomun değişimi	56
Şekil 6.6	: Levy Ateşböceği Algoritması (LAA) kodu	60
Şekil 7.1	: IEEE 30 baralı test sistemi tek hat şeması.....	66
Şekil 7.2	: IEEE 118 baralı test sistemi tek hat şeması	68
Şekil 7.3	: Trakya güç sistemine ait iletim hatlarını, üretim noktalarını gösteren şema	70
Şekil 7.4	: Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan arasındaki bağlantıyı gösteren tek hat şeması	71
Şekil 7.5	: IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.....	73
Şekil 7.6	: IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.....	74
Şekil 7.7	: IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.....	74
Şekil 7.8	: IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.....	76
Şekil 7.9	: IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve	

sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi	77
Şekil 7.10 : IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi	77
Şekil 7.11 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.....	80
Şekil 7.12 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi	81
Şekil 7.13 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi	82
Şekil 7.14 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.....	85
Şekil 7.15 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi	86
Şekil 7.16 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi	87
Şekil 7.17 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.....	90
Şekil 7.18 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.....	91
Şekil 7.19 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.....	92
Şekil 7.20 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.....	96
Şekil 7.21 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.....	97
Şekil 7.22 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi	98

ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE SİSTEM GENİŞLEMESİ KOŞULLARI ALTINDA İŞLETMENİN ENİYİLENMESİ İÇİN YENİ BİR AKILLI YÖNTEM GELİŞTİRİLMESİ

ÖZET

Elektrik enerjisi, 19. yüzyılda keşfedilmesinin ardından çok kısa süre içinde laboratuvar ortamından çıkarak günlük hayatımıza girdi. İlk olarak aydınlatmaya yönelik kullanılan elektrik enerjisi sonrasında yaşamımızın her alanında kullanılmaya başlandı. Elektrik enerjisi, yaşamın vazgeçilmez unsurlarındandır. Gelişen teknoloji ile elektrik enerji üretim yöntemleri çeşitlenmekte ve değişik kaynaklar kullanılmaktadır. Elektrik enerjisinin üretimi, taşınması ve dağıtılmasına imkan sağlayan sistem, elektrik güç sistemi olarak adlandırılmaktadır. Güç sisteminin sağlıklı işletilmesinde temel kaideler vardır. Üretimin, tüketimi karşılaması, gerilim seviyesinin istenen limitler içinde olması, arıza akımlarının şalt cihazların koruma limitleri altında olması, kayıpların minimum olması gibi.

Elektrik güç sistemleri, günden güne genişleyen ve güçlenen bir yapıya sahiptir. Artan enerji ihtiyacını karşılayabilmek için yeni üretim noktalarının inşası yapılmakta ve üretimi tüketiciye taşıyabilmek için yeni iletim sistemleri devreye alınmaktadır. Böylece, elektrik güç sistemleri her geçen gün biraz daha büyümekte ve güçlenmektedir. Büyümenin yanı sıra gelişen teknoloji ve kesintisiz enerji ihtiyacı nedeniyle güvenilir enerji talebi de artmaktadır. Artık, tüketiciler temiz ve kesintisiz enerji talep etmekte, sözleşmelerine enerji kalitesini cezai şart olarak koymaktadırlar.

Elektrik güç sistemlerinde tüm üretim ve tüketim noktaları iletim hatları ile birbirine bağlanarak genelde tümleşik olarak çalıştırılmakta ve böylece enterkonnekte güç sistemi oluşmaktadır. Hatta, belirli noktalardan komşu ülkelerle de bağlantı anlaşmaları yapılarak enerji alışverişinde bulunmaktadır. Tüm üretim ve tüketim noktalarının birbirine bağlantılı olduğu enterkonnekte elektrik güç sistemlerine yeni üretim noktalarının, yeni iletim hatlarının ve yeni tüketim noktalarının eklenmesi ile sistem güçlenmekte, bunun sonucunda baraların empedans değerleri düşmekte, düşen empedans değerleri ise arıza akımlarını yükseltmektedir. Yükselen arıza akımlarının değeri, baraya bağlı şalt cihazlarının dayanım sınırlarını aşması durumunda, şalt cihazları koruma görevlerini yapamayabilir. Bunun sonucu olarak, elektrik güç sisteminin belirli noktalarında zayıflıklar oluşabilir ve hatta zaman zaman arızalara karşı korumasız kalınabilir. Bu gibi durumlar sistem güvenilirliğini tehdit ettiği gibi bir noktada oluşabilecek açma, zincirleme açmalara da sebebiyet verebilir. Zaman zaman karşılaşılan zincirleme açmalar, yüksek maliyetlerin oluşmasına neden olabilir. Öyleyse genişleyen güç sistemleri için gerek planlama aşamasında ve gerekse işletme koşullarında analizler yapılmalı, zayıf noktalar tespit edilmeli, mevcut işletme koşulları altında en iyi işletme şartları bulunmalıdır. Buna imkan yok ise yeni yatırımlar ile elektrik güç sisteminin işletme koşulları iyileştirilmelidir.

Bu tespitlerimizin ardından, genişleyen ve güçlenen elektrik güç sistemlerinde mevcut işletme koşullarında, en iyi işletme şartının bulunması ve arıza akım seviyelerinin düşürülmesine yönelik çalışmanın ihtiyaç olduğu görüldü ve bu konu üzerinde çalışmaya karar verildi. Çalışmada, arıza akımlarının sistem işletim sınırlarının altına çekilmesinin ve azaltılmasının yanı sıra sistem kısıtları olan gerilim ve akımlara ilişkin sınırlamalar, aktif ve reaktif kayıpların azaltılması gibi ekonomik işletim amaçlarını da dikkate alan yeni bir yöntem geliştirildi. Arıza akımını düşürebilmek için mevcut işletme olanakları arasında, bazı hatları açarak sistemin işletilmesi, arıza akımı açısından kritik istasyonlarda bara kuplajının açılarak sistemin işletilmesi veya kontrollü bölgeler oluşturularak (splitted area mode) sistemin işletilmesi sayılabilir. Kontrollü bölge oluşturulması durumunda arıza akımı küçülür ve yaşanacak arıza etkisinin sistemin tümüne yayılmasının önüne geçilebilir.

Bu işlemlerin olumsuz etkileri de olacaktır. Örneğin; bazı hatların açılması, enterkonnekte sistemde radyal hatların oluşmasına ve güvenilirliğin zayıflamasına neden olabilir. Bunların bir bütün içinde analiz edilmesi, ona göre işletme şartlarına karar verilmesi gerekir.

Elektrik güç sistemi üzerinde tüm bu seçenekleri deneyerek istenilen en iyi işletme koşulları bulunabilir. Ancak, büyük güç sistemleri dikkate alındığında tüm seçeneklerin denenmesi, sonuca ulaşmada bizi verimsiz, pratik uygulama imkanı olmayan bir çalışma içine itebilir. Büyük sistemlerde sistem koşullarını eniyilemede kullanılabilecek müdahale seçeneklerinin sayısının yüksek olması çözüm süresinin çok uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, amaçlar üzerinde etkisi yüksek olan seçeneklerin belirlenmesine yönelik duyarlılık analizine dayalı çalışmalar da tezde yer almaktadır. Duyarlılık analizinde birden fazla amacı aynı anda ele alabilmek için ağırlıklı toplam karar verme yöntemi kullanılarak, memnuniyet seviyesini yansıtır biçimde en iyi senaryolardan (müdahale seçeneği durumu) en kötü senaryolara doğru sıralama elde edilmiştir. Bu sayede müdahale seçenekleri azaltılarak, eniyilenmiş sistem durumuna ilişkin çözüme daha hızlı ulaşılması başarılmıştır.

Elektrik güç sisteminde, ağırlıklı toplam karar verme yöntemi ile duyarlılık analizi yapılmasının ardından daraltılmış çözüm kümesi içinde yapılacak incelemeler için amaç fonksiyonları, eşitlik kısıtlamaları ve eşitsizlik kısıtlamaları tanımlanarak eniyileme çalışması gerçekleştirilmiştir. İşletim şartlarını daha gerçekçi olarak yansıtabilmek ve sistem işleticisinin isteklerini çözüme mümkün olduğunca yüksek oranda dahil edebilmek için oluşturulan eniyileme problemi bulanık ortamda ele alınmıştır. Oluşturulan bulanık çok amaçlı eniyileme probleminin çözümünde doğadan esinlenen yöntemlerden ateşböceği algoritması kullanılmıştır. Böylece 2007 yılında Xin-She Yang tarafından geliştirilen ateşböceği algoritmasının yeni bir alana uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ateşböceği algoritması ile elde edilen sonuçların yaygın olarak kullanılan genetik algoritma yöntemi ile karşılaştırmasını yapabilmek için oluşturulan problem, genetik algoritma ile de çözülmüştür.

Çalışmada geliştirilen yöntem, IEEE 30 baralı test sistemi ve IEEE 118 baralı test sistemi üzerinde denenmiştir. Ayrıca gerçek veriler kullanılarak Türkiye'nin Trakya Bölgesi güç sistemi üzerinde de incelemeler yapılmıştır. Yeni bir yöntem olarak tez çalışmasında önerilen bulanık çok amaçlı eniyileme probleminin ateşböceği algoritması kullanılarak üç ayrı test sistemi üzerinde yapılan incelemelerde tatmin

edici sonuçlar elde edilmiş, kısıtlar sağlandığı, aktif ve reaktif güç kayıplarının azaltıldığı, arıza akımlarının küçüldüğü işletim durumlarına ulaşılmıştır.

Elektrik güç sistemlerinde sistem genişlemesi koşulları altında işletmenin eniyilenmesi için yeni bir akıllı yöntem geliştirilmesi fikri, global eğilimlerden ve ulusal güç sistemimizdeki gelişmeler ve ihtiyaçtan doğmuştur. Çalışmamızda geliştirilen yöntemin tüm güç sistemlerine uygulanabileceği tespit edilmiştir. Güç sistemlerinin mevcut işletme koşullarında yük tevzi operatörünün tecrübesine dayalı manevra seçimleri yerine, en iyi sistem işletim koşullarının elde edilmesine yönelik matematiksel incelemelere dayalı bu yöntemin uygulanması, operatör hatalarına karşı sistemi güvenli kılacak ve sistem daha ekonomik işletilebilecektir.

Genişleyen güç sistemlerinde mevcut işletme şartları altında arıza akımlarını düşürmeye yönelik geliştirilen bu yöntem ile yaptığımız incelemelerde, yöntemin tüm güç sistemlerine uygulanabilir olduğunu tespit ettik. Geliştirilen yöntem ile arıza akımlarının düşürülmesinin yanı sıra ekonomik işletme şartları da sağlanmıştır.

DEVELOPMENT OF A NEW INTELLIGENT METHOD FOR THE OPTIMIZATION OF SYSTEM OPERATION UNDER THE ELECTRIC POWER SYSTEM EXPANSION CONDITIONS

SUMMARY

Following the discovery of the electric energy in the 19 century, this energy left the laboratory environment rapidly and entered in our daily lives. Electric energy was first used for illumination and later, its usage began in all areas of our lives. Electric energy is one of the indispensable components of life. In parallel with the advancing of technology, new methods of power generation are being developed and various resources are being used. The system allowing for the generation, transportation and distribution of electric energy is called as electric power system. There are basic principles for a healthy operation of the power system. Like a production that meets consumption, having the voltage level within desired limits, having fault currents within the protection limits of switchgear devices and having minimum losses.

Electric power systems feature a structure which expands and gains strength day by day. In order to meet the soaring need for energy, new generation points are built and to be able to transmit the energy to the consumer, new transmission lines are engaged. Thus, the electric power systems gradually become bigger and stronger. Apart from such growth, the demand for reliable energy also climbs up by reason of advancing technology and the need for uninterrupted energy. Now, the consumers demand clean and uninterrupted energy and they put into their contracts the energy quality as penal condition.

In electric power systems, all generation and load buses are connected to each other through transmission lines, and they are generally operated in integrated mode and thus an interconnected power system is achieved. As a matter of fact, agreements are made with the neighboring countries for establishing connections at certain points and energy is exchanged. With the adding of new generation buses, new transmission lines and new load buses to the interconnected electric power systems, the impedance values of buses decline, which in turn raise the fault currents. If the value of rising fault currents exceeds the enduring limit of switchgear devices connected to the buses, the switchgear devices might not fulfill its protection function. As a result of this, weaknesses may occur at certain points of the electric power system insomuch that it may be left vulnerable to breakdowns from time to time. Such situations not only threaten the system's reliability, but also cause weakness at some points of power system, which may trigger cascade events. From time to time faced cascade events caused to occur unexpected high costs. Therefore, for the expanding power systems, analyses should be done both at the planning stage and under the operating conditions, the weak points should be ascertained and the best possible operating

conditions should be ensured. If it is not possible, the operating conditions of electric power system should be enhanced through new investments.

Following such determinations, we found out that a study needs to be conducted for ensuring the best operation conditions and reducing the levels of fault current and we decided to work on this. In our study, we developed a new method helping us to achieve the appropriate operating conditions which will keep the bus voltages within the limits, reduce the active and reactive power losses and pull down the rising fault currents below the limits. The ways of reducing the fault currents under the existing operation conditions can be counted as the operating the system by switching on some transmission lines (deactivating some transmission lines), operating the system by opening the bus coupling at the critical buses for the fault current or operating the system at controlled regions (splitted area mode), where the fault current level is decreased and the impacts of potential faults is prevented from spreading to the whole system.

Such operations will also yield negative effects. The opening of some lines for instance, may result in the creation of radial lines in the interconnected power system and the weakening of reliability. These should be analysed as a whole and the operating conditions should be decided upon accordingly.

The best operating conditions may be achieved, by trying all these alternatives on the electric power system. However, in consideration of large power systems, trying all these alternatives may put us into a study which cannot be implemented in practice. That there is a great deal of intervention options which might be used for optimizing the system conditions in large systems may lead to extension of solution time. For this reason, through sensitivity analysis, we have conducted a study with the purpose of determining the options having the highest impact on the objectives. In sensitivity analysis, in order to be able to address to multiple objectives at the same time, we used total decision making method and sequenced the scenarios from the best (intervention option case) towards the worst. Thus, we reduced the intervention options, succeeding in reaching the solution for optimized system status more quickly.

After carrying out the sensitivity analysis through weighted total decision-making method in the electric power system, the objective functions, equality limitations and inequality limitations were defined for the studies to be executed within the narrowed solution set and the optimization work was carried out. The optimization problem that was created in order to reflect the operation conditions in more realistic manner and to include the requests from system operator in the solution as much as possible was handled in the fuzzy environment. The fuzzified multi-objective optimization problem was solved through the firefly algorithm which was a method inspired from nature. Thus, the firefly algorithm that was developed by Xin-She Yang in 2007 was applied to a new field. The problem that was created in order to compare the results obtained through the firefly algorithm with the widely used genetic algorithm method was also solved through the genetic algorithm.

The method, developed during the study, was tested on IEEE 30 bus test system and IEEE 118 bus test system. Furthermore, the examination was also executed on the Turkey's Thrace Region power system by using the real data. During the

examinations that was carried out using the firefly algorithm of fuzzified multi-objective optimization problem that was recommended as a new method in the thesis study on three separate test systems, the satisfactory results were obtained and it was achieved the operation conditions that the limitations were achieved, active and reactive power losses were reduced and the most of all, fault currents were minimized.

The idea, which is about developing a new smart method for optimizing the operation conditions under system expansion conditions in electrical power systems, has resulted from global trends and from the advancements and necessities in our national power system. The application of this method, which is based on mathematical examinations and which aims at obtaining the best system operating conditions for power systems instead of selecting the manoeuvres based on the experience of the operators under the existing operating conditions, will render the system secure against operator faults and it will be possible to operate the system in a more economical manner.

The examinations we have performed using this method, which has been developed for the purpose of reducing fault currents in expanded power systems under the existing operating conditions, have shown that this method is applicable on all power systems. In addition to reducing the fault currents, the developed method has also provided economical operating conditions.

1. GİRİŞ

İnsanoğlu, ateşin keşfinden beri sürekli merakının peşinden koştu. Yaşadığı dünyayı seyahatlerle, gözlemlerle, laboratuvar çalışmalarıyla sürekli anlamaya çalıştı. Her keşfi, hayal dünyasını daha da genişletti, sınırları zorladı. Enerji, bu gelişimde yapı taşı oldu ve yoğun laboratuvar çalışmalarına sahne olan 19. yüzyılda da elektrik enerjisi keşfedildi. Keşfin hemen ardından laboratuvar ortamından çıkarak 19. yüzyılın son çeyreğinde de günlük hayatımıza girdi. İlk olarak aydınlatmaya yönelik kullanılmaya başlanan elektrik enerjisi, hızla telgraf, telefon, ulaşımda kullanıldı ve ardından evlerimize kadar ulaştı.

1882’de ilk elektrik santrali Londra’da hizmete girdi. Ülkemizde ise ilk elektrik enerjisi Tarsus’ta su değirmenine bağlı 2 kW gücündeki bir dinamo ile 1902 yılında üretildi. İlk büyük elektrik santralimiz 1913 yılında İstanbul Silahtarağa’da kuruldu. Türkiye’nin 1913 yılında 17,3 MW kurulu güç ile başlayan elektrik enerjisi üretimi serüveni 2013 yılı sonunda 64,000 MW’ı aştı. Üretimde kat edilen gelişime paralel iletim hatlarında da yatırımlar devam etti ve benzer genişleme enerji iletim hatlarında da gerçekleşti [1-3].

Üretim ve tüketim noktalarının artması ve bunların birbirine bağlanması, iletim hatlarına düşen görevi de arttırmaktadır. Elektrik enerjisinin üretim noktasından tüketim noktasına iletimi, günün her saatinde ve her koşul altında sorunsuz gerçekleşmelidir. Tedarik sürekliliğini sağlamak için güç sistemleri her gün biraz daha büyümekte, yapısı ve analizi daha karmaşık hal almaktadır. Yeni üretim ve tüketim noktalarının eklenmesi ile de güç sistemlerinin belirli noktalarında zayıflıklar oluşabilmektedir. Hatta zaman zaman arızalara karşı korumasız kalılabilmektedir. Bu gibi durumlar sistemin güvenilirliğini tehdit ettiği gibi bir noktada oluşabilecek açma, zincirleme açmalara da sebebiyet verebilir. Bu gibi arızaların oluşturduğu ekonomik kayıplar milyar TL mertebelerinde olabilmektedir.

Elektrik güç iletim sistemi, normal işletme koşullarında santrallerin üretimini sisteme taşıyabilmeli ve iletim veya üretim ünitesinin sistem dışında kalması gibi

oluşabilecek kısıtlılık hallerinde bile sistem kararlılığı bozulmayacak şekilde planlanmalı, en az tüketicinin etkileneceği uygun işletme koşulları tespit edilmelidir. Bu koşulların tespitinde önemli kısıtlayıcı faktörler vardır. Gerilim limitleri, kayıp güçlerin oranı, arıza akım seviyeleri, güvenilirlik, maliyetler, enerji kalitesi başlıcaları olarak sayılabilir.

Elektrik enerjisinin arz güvenilirliği ülkemizde EPDK tarafından sağlanmaktadır. EPDK'nın yaptığı düzenlemeler ile gerilim, frekans, arıza akımı gibi elektriksel büyüklüklerin limitleri belirlenerek elektrik iletim sisteminde arz güvenilirliği ve kalitesi yönetmeliklerle kontrol altına alınmaktadır [4].

1.1 Tezin Amacı

Elektrik güç sistemlerinin genişlemesi ile beraber ortaya çıkan önemli problemlerden biri de yükselen arıza akımlarıdır. Genişleyen güç sistemlerinde kısıtlayıcı faktörleri de göz önüne alarak yükselen arıza akımlarının düşürülmesine yönelik yeni bir yöntem geliştirilmesi ve en iyi işletme şartlarının bulunması bu tezin çalışma konusu olarak seçilmiştir. Çalışmada, yüksek arıza akımlarının düşürülmesi, bara gerilimleri ve hat akışları üzerindeki kısıtların sağlanması, sistem iletim kayıplarının azaltılmasına yönelik varolan sistem olanaklarına dayalı en uygun müdahalelerin bulunmasına çözüm aranmaktadır. Yatırım gerektiren, örneğin arıza akım sınırlayıcıların uygun hatlara yerleştirilmesi gibi, arıza akımlarını düşürme yöntemleri ise bu tezin çalışma konusu dışındadır.

TEİAŞ işletme personeli ile yaptığımız görüşmelerden biliyoruz ki yüksek arıza akımlarından kaçınmak için zaman zaman bazı bölgelerde sistem işleticilerinin ada modu olarak isimlendirdikleri (bazı hat ve baraların açılarak sistemin kontrollü bölgeler halinde çalıştırılması) yöntem uygulanıyor. Sistem işleticilerinin tecrübelerine dayalı olarak yapılan uygulamaların, bir çok amacı ele alan eniyileme yönteminin sonuçlarına dayalı olarak yapılması, sistem işletim koşullarında daha ileri iyileştirmeler sağlayacaktır. Sistem işleticilerinin de dile getirdiği matematiksel yöntemlere dayalı daha uygun çözümlerin araştırılması ihtiyacı, bizi bu konu üzerinde çalışmaya yöneltmiştir.

Tez çalışması ile geliştirilen akıllı yöntem uygulaması, genişleyen güç sistemlerinde, mevcut işletme koşulları altında, arıza akımlarını düşüren en iyi işletme şartlarının

bulunmasını ve güç sisteminin sağlıklı çalışmasını sağlamayı hedeflemiştir. Ayrıca, son yıllarda geliştirilen ateşböceği algoritması ile eniyileme yönteminin yeni bir alana uygulanması ile önerilen yöntemin gerçekleşmesi de amaçlarımızın arasındadır.

Çalışmada, arıza akımlarının sistem işletim sınırlarının altına çekilmesinin ve azaltılmasının yanı sıra sistem kısıtları olan gerilim ve akımlara ilişkin sınırlamalar, aktif ve reaktif kayıpların azaltılması gibi ekonomik işletim amaçlarını da dikkate alan yeni bir yöntem geliştirildi. Arıza akımını düşürebilmek için mevcut işletme olanakları arasında, bazı hatları açarak sistemin işletilmesi, arıza akımı açısından kritik istasyonlarda bara kuplajının açılarak sistemin işletilmesi veya kontrollü bölgeler oluşturularak (splitted area mode) sistemin işletilmesi sayılabilir.

Elektrik güç sistemi üzerinde tüm bu seçenekleri deneyerek istenilen en iyi işletme koşulları bulunabilir. Ancak, büyük güç sistemleri dikkate alındığında tüm seçeneklerin denenmesi sonuca ulaşmada bizi verimsiz, pratik uygulama imkanı olmayan bir çalışma içine sokabilir. Büyük sistemlerde sistem koşullarını eniyilemede kullanılabilecek müdahale seçeneklerinin sayısının yüksek olması çözüm süresinin çok uzamasına neden olmaktadır. Bu nedenle, amaçlar üzerinde etkisi yüksek olan seçeneklerin belirlenmesine yönelik duyarlılık analizine dayalı çalışmalar da tezde yer almaktadır. Duyarlılık analizinde birden fazla amacı aynı anda ele alabilmek için ağırlıklı toplam karar verme yöntemi kullanılarak, memnuniyet seviyesini yansıtır biçimde en iyi senaryolardan (müdahale seçeneği durumu) en kötü senaryolara doğru sıralama elde edilmiştir. Bu sayede müdahale seçenekleri azaltılarak, eniyilenmiş sistem durumuna ilişkin çözüme daha hızlı ulaşılması başarılmıştır.

Eniyilemeyi, bulanık ortamda üyelik fonksiyonlarını tanımlayarak yaptığımız çalışmada, arıza akımları üyelik fonksiyonunun tespitinde üretici firmaların kesici ömür bilgilerinden faydalanıldı. Kesicilerin açma sayılarıyla değişen logaritmik ömür eğrileri incelenerek bu eğrilerden arıza akımı üyelik fonksiyonu oluşturuldu. Oluşturulan üyelik fonksiyonu ile arıza akımlarının eniyilenmesinin yanı sıra ayrıca kesicilerin ömür beklentileri de eniyilenmektedir.

1.2 Tezin Çalışma Akışı

Üzerinde çalışılan konu ile ilgili literatür taramasının ardından elektrik güç sistemlerinde sistem genişlemesinin etkileri incelendi. Bölüm 2’de yapılan bu çalışmada, Türkiye’nin elektrik enerjisi profili incelenerek yıllık sistem genişlemesinin ortalama oranı tespit edildi. Bulunan oranlar IEEE 30 baralı test sistemi üzerine yansıtılarak her bir senaryo için incelemeler yapıldı. IEEE 30 baralı test sisteminin temel durumuna ait incelemelerin yanısıra 5 ayrı senaryo daha oluşturulmuştur. İlk üç senaryoda Türkiye’nin elektrik enerjisi profiline paralel olacak şekilde %25, %50 ve %75 oranları kullanılarak IEEE 30 baralı test sisteminde yük artışları oluşturuldu ve her bir durum için yük akışı, arıza akımları, iletim kayıpları hesaplandı. Ardından, üretimin tüketimi karşılayamama noktasına gelindiği durum için yeni üretim baraları test sistemine yansıtılarak senaryo 4 oluşturuldu. Üretilen enerjinin sorunsuz olarak tüketim noktalarına taşınabilmesi için iletim hatlarında iyileştirmelerin yapıldığı durum ise senaryo 5 olarak ele alındı.

Geliştirilen yöntemin büyük güç sistemlerine de uygulanabilir olması amaçlardan biriydi. Büyük güç sistemlerinde arıza akımlarını düşürebilmek ve uygun işletme koşullarını sağlayabilmek müdahale seçeneklerinin çokluğundan dolayı kolay değildir. Bu noktada en uygun müdahale seçeneklerinin tespit edilmesi, uygun olmayanların dikkate alınmaması gerekir. En uygun müdahale seçeneklerinin tespit edilebilmesi için gerçekleştirilen duyarlılık analizi çalışmaları bölüm 3’te verildi. Önerilen karar verme kriterlerinin ağırlıklarının tespiti ve ağırlıklı toplam karar verme yöntemi ile duyarlılık analizinin akış şeması, MATLAB kodları ile yazılımın gerçekleşmesi bu bölümde yapılan çalışmalar arasındadır.

Sistem genişleme etkilerinin bulanık ortamda ele alınabilmesi için bara gerilimlerinin, arıza akımlarının, aktif ve reaktif kayıpların üyelik fonksiyonlarının tanımlanmasına ait çalışmalar bölüm 4’te gerçekleştirildi. Ayrıca, üretici firmaların kesici ömür bilgilerini kullanarak arıza akımı üyelik fonksiyonu tespiti de bu bölümde anlatıldı.

Amaç fonksiyonları, eşitlik kısıtlamaları, eşitsizlik kısıtlamaları, kontrol değişkenleri ve problemin çözümünde kullanılan akış şeması ise bölüm 5’te verildi.

Bölüm 6’da, oluşturulan problemin evrimsel algoritmalar ile eniyilenmesi için ateş böceği algoritması ve genetik algoritmanın tanıtılması, ateşböceği algoritması, genetik algoritma ve parçacık sürü eniyilemesi ile kıyaslamaları anlatıldı.

İlk altı bölümdeki bilgiler ile ortaya konulan yöntemin uygulaması bölüm 7’de gerçekleştirildi. İlk önce IEEE 30 baralı test sistemi, IEEE 118 baralı test sistemi ve Trakya güç sistemi tanıtıldı. Ardından her bir sistem için ateşböceği algoritması ve genetik algoritma ile incelemeler yapıldı.

İncelemelerde elde edilen sonuçlar ve değerlendirmeler bölüm 8’de verildi.

1.3 Literatür Araştırması

Elektrik güç sistemlerindeki genişlemeler ve piyasa koşulları, karmaşık hal alan iletim sistemlerinin değişik koşullar altında incelenmesini ve en uygun işletme koşullarının bulunmasını zorunlu hale getirmektedir. Daha hızlı bilgisayarlar, geliştirilen yeni yazılımlar ve yeni eniyileme teknikleri ile güç sistemlerini tekrar analiz etme imkanı bulunmaktadır. Yeni tekniklerle, yük akışı, dinamik yük akışı, yük paylaşım analizleri yapılmakta, sistem kararlılıkları incelenmekte, FACTS elemanlarının kullanımı ile uygun çözümler aranmakta, düşük maliyetli işletme koşulları tespit edilebilmekte ve güvenilirlik analizleri yapılabilmektedir. Gelişen teknoloji ve çözüm teknikleri ile daha iyinin, daha güvenilirin mümkün olduğu tespit edilebilmekte, en uygun işletme koşulları bulunabilmektedir.

Tüm bu çalışmaların temelinde, mevcut güç sisteminin daha güvenilir hale getirilmesi, kayıpların azaltılarak enerji maliyetinin düşürülmesi, arıza durumunda zincirleme açmaların önlenerek en uygun işletme şartlarının tespit edilmesi ve enerji kalitesinin artırılması kaygıları bulunmaktadır.

Yukarıda bahsi geçen problemlerin yanı sıra artan enerji ihtiyacı, önemli bir problem olan sistem genişlemesine neden olmaktadır. Sistem genişlemeleri, yeni bir üretim barasının, yeni bir transformatörün, yeni bir yük barasının veya yeni bir enerji nakil hattının yapımı ile oluşabilir. Sistem genişlemeleri önemli işletim problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu tür genişlemeler için gerek planlama safhasında ve gerekse işletme safhalarında güç sisteminin tekrar ele alınıp yeniden analizinin yapılması gerekir.

Sistem genişlemelerinde uygun çözümleri tespit etmek ve etkilerini incelemek için yoğun ve çok yönlü araştırmaların yapıldığı bilinmektedir. Bu araştırmalar iki temele

dayanır, güvenilirlik ve ekonomik beklentiler. Ekonomik beklentinin karşılığı da maliyetin eniyilenmesidir. 2009 yılında J.O.Kim ve ekibinin, iletim şebekesinin genişlemesi üzerine yaptığı çalışmada [5] güvenilirlik ve maliyet eniyilemesi ele alınmıştır. İletim şebekesinin arıza ve devrede kalma olasılıklarının analizi yapılarak, marjinal olasılık hesaplanmıştır. Tüm sistem için yapılan bu çalışmanın sonuçları kullanılarak benzer hesaplamalar her bir bara için ayrı ayrı yapılmış ve baraların devrede kalma olasılıkları bulunmuştur. Bu veriler kullanılarak, hangi barada enerji ihtiyacı olduğunu gösteren ve hangi barada üretim fazlası olduğunu gösteren indeks değerleri tanımlanmıştır. Böylelikle, olası yeni iletim hattının güzergahı tespit edilmiştir. Çalışmada, IEEE'nin 24 baralı test sistemi kullanılmıştır.

İletim hatlarındaki genişleme için uygulanabilir bir metod ta Kore'de Jaeseok Choi ve arkadaşları tarafından çalışılmıştır [6]. Bu çalışmada sadece genişleme noktalarının yerlerinin tespit edilmesi ile kalınmamış, transformatör, iletim hatları ve diğer ekipmanların boyutlandırmaları da yapılmıştır. Çalışma üç aşamada ele alınmıştır. Birinci aşamasında genişleme planlamasının eniyilenmesi incelenmiştir. Uzun dönem planlama için yapılan kabuller baz alınarak üretilecek gücün ve yükün tahmini değerleri ile genişlemeye ait taslak çalışmalar ortaya konulmuştur. Çalışmada, Gyeongsang Ulusal Üniversitesi tarafından geliştirilen CMEXP yazılımı kullanılmıştır. İkinci aşamada ise “i” düğümüne eklenen yeni güç iletim hattı için olasılıklı güvenilirlik analizi yöntemi kullanılarak önerilen enerji nakil hattının inşai önceliği araştırılmıştır. Son aşamada ise yeni oluşturulan sistemin işletme şartları “Power World” simülasyon programı kullanılarak analiz edilmiştir.

Günümüzde serbest ekonomi şartlarının geçerli olduğu enerji pazarında, iletim hatlarının genişleme planları yapılırken kısıtlayıcı faktörlerin çok fazla olduğu bilinmektedir. M.C. Falvo, 2006 yılında ortaya koyduğu [7] iletim hatlarında genişleme planlaması (TSEP) çalışmasında esneklik konusunu ön plana çıkararak çözüm aramıştır. Çalışmada, esneklik ifadesine, uygulanabilir, çabuk adapte edilebilir ve düşük maliyet anlamları yüklenmiştir. J. Choi, J. Park ve arkadaşları ise 2009 yılında [8] benzer problemi ele aldıklarında bara için marjinal oran kriterini (BMR_k) tanımlamış ve bu kısıtlama altında çözüm önerisi getirmişlerdir.

Genetik eniyileme yöntemi kullanılarak iletim hatlarının genişleme planlamasının yapıldığı bir çalışma ise 2011 yılında K. Yimchuen ve K. Audomvongseree tarafından [9] ortaya konulmuştur. Çalışmada, kısıtlayıcı faktör, gerilim

kararlılığıdır. Problemin çözümünde hem iletim hattının, hem de reaktif güç kompanzasyonu ekipmanlarının inşası ve montajı dikkate alınmıştır. Önerilen metod, IEEE'nin 24 baralı sistemi ile test edilmiştir. Çalışmadaki çözüm tekniği, hızlı hesaplama süresi ile de dikkat çekmektedir.

İletim sistemlerinde genişleme ve reaktif güç planlamasının aynı anda ele alınarak incelenmesi ise 2010 yılında R. Romero ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [10]. Kısa dönem planlaması için geliştirilen bu yöntemde çözüm için genetik algoritma kullanılmıştır. Yöntemde, optimal yük akışı analizi sonrası kısıtlamalardaki değişimler ve yeni planlanan hatların yatırım maliyetleri ele alınarak uygunluk fonksiyonu hesaplanmaktadır. R. Romero, aynı konu için bir başka çözüm yöntemini "Branch and Bound Algorithm" metodunu kullanarak ta [11] ortaya koymuştur. Güç iletim sistemlerinde genişleme planlamasında, "Branch and Bound Algorithm" yöntemini kullanarak çözüm arayan bir başka çalışmada T.Wu ve arkadaşları [12] tarafından yapılmıştır.

Yukarıda bahsi geçen çalışmaların tümünde, genişlemeler yaşanırken güç iletim hatlarının daha güvenilir hale getirilmesi, kayıpların azaltılarak enerji maliyetinin düşürülmesi ve enerji kalitesinin artırılması olduğunu hatırlamakta fayda vardır. Sistem genişlemesinin önemli etkilerinden biri de arıza akımlarının artmasıdır. Kısa devre arıza akımlarının, sistem teçhizatlarının arıza akım değerlerini aşması, güç sisteminde zaafiyetler oluşturmaktadır. İran güç sisteminde yaşanan benzer bir sıkıntı M. Khorrami, M. S. Naderi ve N. K. Nejad tarafından ele alınmış [13] ve IPC "Interphase Power Controller" ekipmanı kullanılarak arıza akımları sınırlandırılmaya çalışılmıştır. 230 kV ve 400 kV enerji dağıtım merkezlerine yerleştirilmesi planlanan kontrol cihazlarının yerlerinin en iyilenmesi için DigSilent yazılımı kullanılmıştır.

Güç sistemlerindeki genişlemeyi çok amaçlı olarak ele alıp, üretim ve yüklerdeki artışı sezgisel eniyileme tekniği ile çözmek için bir çalışma da Armando M. Leite da Silva ve Leandro S. Rezende tarafından yapılmıştır [14]. Planlamada güvenlik kriteri ön planda tutularak, iyi bilinen deterministik "N-1" yaklaşımı ve olasılıklı güvenilirlik analizi yöntemi kullanılmıştır. Ortaya konulan yöntem, test sistemi üzerinde çalışılmış. "N-1" kriterini temel alarak güç sistemi planlamasını irdeleyen bir çalışmada Huang Wei ve arkadaşları tarafından yapılmış ve geliştirilmiş çok amaçlı genetik algoritma yöntemi ile çözüm aranmıştır [15]. Sistem genişlemesinde "N-1" kriterini kullanarak yapılan bir başka çalışma da Somphop Asadamongkol'a

ait [16]. Sezgisel yöntemin kullanıldığı bu çalışma iki aşamada ele alınmıştır. Birinci aşamada iyileştirilmiş basit metod ile (modified simplex method) ön planlama, sonrasında da komşuluk ilişkilerine bakarak lokal araştırmaya dayanmaktadır. Güç sistemlerinin genişlemesini planlarken güvenlik maliyetlerine ve market koşullarına odaklanan çalışma ise H. Shariati ve H. Askarian Abyaneh [17] tarafından yapılmıştır.

Üç farklı güvenilirlik kriterini ele alarak güç iletim sisteminde genişleme çalışması Jaeseok Choi ve arkadaşları tarafından yapılmıştır [18]. Güvenilirlik kriterleri, deterministik güvenilirlik kriteri, olasılıklı güvenilirlik kriteri ve güvenlik kriteri olarak tanımlanmıştır. Bu kriterler ile N-a durumunda en iyi market koşulları hedeflenmiştir.

Güç sistemlerinde arıza akımlarının sınırlandırılması zaman zaman yeni yatırımlarla aşılmaya çalışılır, zaman zaman da mevcut koşullar altında çözüm aranır. Vovos ve Bialek'in çalışmalarında da bunu görmek mümkündür. Yaptığı bir çalışmada, şebeke kapasitesinin analizi için geliştirdiği matematiksel modelde, arıza akımını optimal güç akışında kısıtlayıcı faktör olarak ele almıştır [19]. Arıza akımı sınırlamalarını da işin içine katabilmek için doğrusal olmayan eşitsizlik kısıtlaması şeklinde bir kısıtlama yazmış ve matematiksel modeli buna göre geliştirmiştir.

Vovos ve Bialek, bir başka çalışmasında aynı soruna farklı açıdan yaklaşmıştır. Bu sefer arıza akımını limitler içinde tutabilmek için üretim noktalarına uygun yerler bulabilmenin yollarını aramıştır [20]. Çalışmada, jeneratörlerin ikinci dereceden maliyet fonksiyonları kullanılarak, güç sistemi üzerinde yeni üretim noktaları benzetimi yapılmış ve arıza akımlarının değişimleri incelenmiştir. Bunun için yinelemeli (iteratif) yöntem ile üretim noktalarının yerleşimleri yapılmış ve optimal güç akışı ile ve yeniden yapılan kapasite ayarlamaları ile arıza akımları, kesicilerin kesme kapasitelerinin altında tutulmaya çalışılmıştır. Bu çalışmanın özgün yanı yinelemeli olarak üretim noktalarının seçimine yönelik bir algoritma geliştirilmiş olmasıdır. Geliştirilen algoritma, MATLAB kullanılarak çalışmaya eklenmiş ve optimal yük akışının çözümü için ise ardışık ikinci dereceden programlama (SQP, Sequential Quadratic Programming) tekniği kullanılmıştır. Ortaya konulan yöntem sayesinde kesicilerin arıza akımı kısıtlamalarını göz önünde bulundurarak üretim noktalarının seçimi yapılabilmektedir.

Yine Bialek'in Vovos ile yaptığı diğer bir çalışmada ise güç sisteminin ekonomik işletilmesinde arıza akımı faktörünün etkileri incelenmiştir [21]. Çalışmanın temel amacı, arıza akımlarının güç sisteminin ekonomik olarak işletilmesinde önemli etkisi olduğunu göstermektir. Bunun için arıza akımı sınırlamalarını da işin içine katabilmek için doğrusal olmayan eşitsizlik kısıtlaması şeklinde bir kısıtlama yazılmış ve matematiksel model buna göre geliştirilmiştir. Optimal güç akışı içine dahil edilen bu kısıtlama fonksiyonu sayesinde elde edilen çözüm ile aşırı yüklü veya kısıtlı imkanlarla çalışan sistemlerde ekonomik işletme şartı gerçekleştirilebilmektedir.

Görüldüğü gibi genişleyen güç sistemleri ile beraber arıza akımlarının da değerleri büyümektedir ve bu durum çözülmesi gereken bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Arıza akımını sınırlayıcılarla azaltmaya çalışan bir çalışmayı da Teng ve Lu yapmıştır [22]. Bu çalışmanın bir özelliği, sınırlayıcıları her bir noktaya ayrı ayrı koyarak analiz yapmaktansa duyarlılık analizi kullanılarak alternatiflerin belirlenmesi ve sadece seçilen noktalar için hesaplamaların yapılmış olmasıdır. Bu yöntem sayesinde hesaplama süresi kısalmaktadır. Duyarlılık analizi güç sistemleri hesaplamalarında sıkça başvurulan bir yöntemdir [23, 24].

Arıza akımını sınırlayıcılarla azaltma konusunda bir çalışma da Kim ve ekibi tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada arıza akımı sınırlayıcılarının yerleştirilmesi ile tanımlanan güvenilirlik indisindeki değişimler incelenmiştir [25]. Genişleyen güç sisteminde, sistem işleticisi ve planlayıcısına yardımcı olacak, arıza akımını dikkate alan bir yöntem ise Vovos ve Bialek tarafından sunulmuştur [26]. Literatür taraması, bir kısım araştırmacıların genişleyen sistemlerde üretim noktalarının seçilmesi konusuna odaklandığını göstermiştir. Yeni tesis edilecek üretim yerlerinin belirlenmesinde veya ekonomik işletim koşullarının elde edilmesinde, evrimsel algoritmaların da yoğun olarak kullanıldığı literatürde görülmektedir [27-29].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının içinde rüzgar enerjisi önemli yer tutmaktadır. Dolayısıyla artan rüzgar enerjisi yatırımlarının sistem genişlemesinde önemli yeri vardır. Rüzgar enerjisi için yapılan yatırımlar dağıtılmış topoloji ile karşımıza çıkmaktadır. Yeni üretim noktaları ve dağıtılmış üretim noktalarındaki enerjiyi enterkonnekte sisteme taşımak için yapılan yeni iletim hatları sistem empedansını düşürdüğü için arıza akımları da yükselmektedir. Behrooz Vahidi, yükselen arıza akımlarını, arıza akımı sınırlayıcısı (SSFCL) kullanarak düşürmek için bir çalışma yapmış ve arıza akımı sınırlayıcısı için de yeni bir model önermiştir [30]. Önerilen

arıza akımı sınırlayıcısı, örnek sistem üzerinde ve zaman domeninde incelenmiş, uygulanabilirliği tespit edilmiştir. Behrooz Vahidi'nin gerekçelerine benzer gerekçeler ile bir çalışma da Jaehee Lee tarafından yapılmıştır. Lee, çalışmasında arıza akımını düşürmek için süper iletken arıza akımı sınırlayıcısı (SFCL) kullanmış ve bu akım sınırlayıcısının yatırım maliyetleri ile işletme maliyetlerini inceleyerek bir çalışma ortaya koymuştur [31]. Her iki çalışmada da genişleyen güç sisteminde arıza akımlarını, sınırlayıcılar kullanarak düşürmek hedeflenmiştir.

Jaehee Lee, süper iletken arıza akımı sınırlayıcısını (SFCL) kullanarak arıza akımını düşürme konusunda bir çalışma daha yapmıştır. Bu çalışmasında ise üretim ve iletimdeki genişlemeyi eniyilemenin yapılacağı planlama problemi olarak tanımlamış ve arıza akımını kısıtlayıcı faktör olarak ele almıştır [32]. Güç sisteminde, üretim ve iletimdeki genişlemelerin önemli rol oynadığı bilinmektedir. Orfanos'un çalışmasında ise artan rüzgar santralleri nedeniyle iletim hatlarındaki genişleme planlaması incelenmiştir [33].

Güç sistemlerinde arıza akımının düşürülmesine yönelik güncel çalışmalardan biri de Roshdy Hegazy tarafından yapılmıştır. Bu çalışmada arıza akımını düşürmek için kullanılan sınırlayıcı, yüksek sıcaklıklı süper iletken arıza akımı sınırlayıcısıdır (HTS-FCL). Yeni bir teknik olarak ortaya konulan yöntem ile yüksek olan arıza akımlarını düşürmek ve güç sisteminin güvenliğini arttırmak amaçlanmıştır [34]. Genişleyen güç sistemlerinde arıza akımı sınırlayıcısı (FCL) kullanarak, arıza akımlarını, şalt ekipmanlarının dayanım sınırları altına çekmek sıkça başvurulmuş bir yöntemdir. Arıza akımı sınırlayıcısının nereye konulacağı ise başlı başına inceleme konusudur. Literatürde bu konuda birçok çalışmaya rastlamak mümkündür. Bunlardan biri de Chantachiratham'ın çalışmasıdır. Chantachiratham, parçacık sürü eniyileme (Particle Swarm Optimization - PSO) tekniğini kullanarak arıza akımı sınırlayıcısına en uygun yeri bulmaya çalışılırken aynı anda bara gerilimlerini de limitler dahilinde tutmaya çalışmış ve eniyileme problemine kısıtlayıcı faktör olarak dahil etmiştir [35].

Konu ile ilgili çözüm arayışlarının önem kazandığı bu dönemde, Üniversite ve yerel elektrik idaresi ortak çalışmalarının da artmaya başladığı tespit edilmiştir. Bunun bir örneğini Gilany ve Al-Hasawi'nin çalışmasında görülmektedir. Her geçen gün genişleyen Kuveyt güç sisteminde, şalt cihazlarının kesme kapasitesini aşan noktalardaki arıza akımlarını düşürebilmek için bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada,

arıza akımını düşürebilecek tüm yöntemler değerlendirilmiş ve uygulanabilir olduğunu düşündükleri yöntem için yatırım kararı alınmıştır [36]. El-Moursi'nin çalışmasında da Abu Dabi güç sistemini tehdit eden yüksek arıza akımlarını düşürmeye yönelik bir çalışma yapılmıştır [37].

Boonsuwan ve Hoonchareon'un çalışmasında mevcut işletme şartlarında hat açma ve bara bölünmesi koşulları altında arıza akımlarındaki değişim ve gerilim kararlılığı incelenmiştir [38].

Güç sistemlerinin her geçen gün genişlemesi, sistem işleticilerini yeni sorunlarla karşı karşıya bırakmaktadır. Bu sorunların aşılarda, güç sistemlerinde gerekli iyileştirmeler yapılmalı veya mevcut şartlar altında en iyi işletme koşulları tespit edilmelidir. Ancak, tespit ve incelemeler büyük güç sistemlerinde kolay olmamaktadır. Sistemin büyüklüğü ve alternatiflerin çokluğu matematiksel araştırmalarda sorun teşkil edebilmektedir. Bu gibi durumlarda incelemelere duyarlılık analizinin de dahil edildiği literatür taraması esnasında tespit edilmiştir. Güç sistemleri üzerinde, Akmal ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada ve aynı zamanda Chureemart ve Churueang'ın çalışmasında da duyarlılık analizi ön plana çıkmaktadır [39, 40]. Duyarlılık analizi sayesinde güç sisteminin hassas noktaları tespit edilip o noktalarda çalışmalara yoğunlaşılabilir. Örneğin, hangi hatlarda empedans değişimlerinin arıza akımlarının değişiminde daha fazla etki yarattığının tespiti gibi. Fakat, duyarlılık analizi sonucunun tek başına kullanılması büyük güç sistemlerinde yeterli değildir. Bu nedenle matematiksel eniyileme çalışmasının yapılması gerekir. Güç sistemleri üzerinde doğadan esinlenmeye dayalı bir çok eniyileme teknikleri uygulanmaktadır. Parçacık sürü optimizasyonu ve tabu arama bunlardan bazılarıdır [41, 42]. Son yıllarda ümit verici bir yöntem olarak ateşböceği algoritması (Firefly Algorithm - FA) ile uygulamalar gerçekleştirilmektedir. Literatürde, ateşböceği algoritmasının (AA) güç sistemlerinde generatör, kapasitör ve STATCOM yerleştirilmesinde uygulamalarının gerçekleştirildiği görülmüştür [43-46]. Güç sistemlerinde, maliyetlerin ve kayıpların azaltılması [47-55], sistemdeki güç kalite parametrelerinin izlenmesine yönelik çalışmalar [56], ekonomiklik, güvenilirlik gibi çoklu amaç içeren eniyileme problemleri [57] gibi alanlarda da ateşböceği algoritması uygulamaları yapılmıştır. Gürültülü doğrusal olmayan eniyileme problemlerinde (Noisy Non-linear Optimization Problem) ateşböceği eniyileme ve parçacık sürü eniyileme yöntemlerinin kıyaslandığı ve yüksek gürültülü doğrusal

olmayan eniyileme problemlerinde ateşböceği algoritmasının daha iyi sonuç verdiğini gösteren bir çalışma 2012 yılında Pal ve Rai tarafından yapılmıştır [58]. Benzer bir çalışmanın da 2011 yılında Chai ve arkadaşları tarafından yapıldığı görülmektedir [59].

Yapılan literatür taramasında, sistem işletim koşulları altında genişlemenin yarattığı etkilerin giderilmesinin güncelliğini koruduğunu ve bu konunun çok amaçlı olarak ele alınmasında eksiklikler olduğu tespit edilmiştir. Yatırım yaparak arıza akımlarını düşürme konusunda oldukça fazla çalışma olmasına rağmen, yatırım yapılmadan yeni işletme koşullarının tespiti konusunda çalışmalar kısıtlıdır. Yapılan literatür taraması, ateşböceği algoritması ile eniyileme çalışmalarının son dönemde artış gösterdiğini de ortaya koymuş ve konu ile ilgili güncel çalışmalara ulaşılmıştır. Ayrıca, göz önüne aldığımız sistem genişlemesi probleminin çözümüne yönelik olarak bulanık ortamda ateşböceği algoritması ile eniyileme uygulamasının olmadığı tespit edilmiştir.

2. ELEKTRİK GÜÇ SİSTEMLERİNDE GENİŞLEMENİN ETKİLERİ

2.1 Giriş

Teknolojik gelişmeler, endüstriyel alanlardaki yeni yatırımlar ve nüfusun artışı, doğaldır ki enerji ihtiyacında da artışa sebep olmaktadır. Artan enerji talebi ile yeni santraller, yeni iletim hatları planlanmakta, yatırımlar yapılmaktadır. Her yeni yatırım ile elektrik güç sistemleri biraz daha büyümekte ve daha güçlü hale gelmektedir. Yeni yatırımlar ile genişleyen güç sistemi beraberinde yeni sorunları da getirmektedir. Bu bölümde, ilk olarak Türkiye'nin elektrik enerjisi profili incelenerek sistemin yıllar içindeki değişimi ve genişlemesi tespit edilerek, yıllar içindeki genişleme oranı belirlenmeye çalışılmıştır. İncelemede elde edilen oranlar daha sonra güç sistemi araştırmalarında yaygın olarak kullanılan IEEE 30 baralı test sistemine [94] yansıtılarak sistem genişlemesinin etkileri ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2.2 Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Profilinin Yıllar İçinde Değişimi

Türkiye'nin 1913 yılında İstanbul Silahtarağa'da 17,3 MW ile başlayan elektrik enerjisi üretimi serüveni 2013 yılı sonunda 64,000 MW'ı aştı. Yatırımlarda dönemsel olarak yavaşlamalar görülse de artan enerji talebi elektrik güç sistemlerinin büyümesini beraberinde getirmiştir.

Çizelge 2.1 : Türkiye kurulu gücünün ve üretim bilgilerinin yıllara göre değişimi.

Türkiye'nin kurulu gücünün, üretiminin yıllara göre değişimi					
Yıllar	Kurulu Güç (MW)	Üretim (GWh)	Yıllar	Kurulu Güç (MW)	Üretim (GWh)
1980	5.118,7	23.275,4	1997	21.891,9	103.295,8
1981	5.537,6	24.672,8	1998	23.354,0	111.022,4
1982	6.638,6	26.551,5	1999	26.119,3	116.439,9
1983	6.935,1	27.346,8	2000	27.264,1	124.921,6
1984	8.461,6	30.613,5	2001	28.332,4	122.724,7
1985	9.121,6	34.218,9	2002	31.845,8	129.399,5
1986	10.115,2	39.694,8	2003	35.587,0	140.580,5
1987	12.495,1	44.352,9	2004	36.824,0	150.698,3
1988	14.520,6	48.048,8	2005	38.843,5	161.956,2
1989	15.808,2	52.043,2	2006	40.501,8	176.299,8
1990	16.317,6	57.543,0	2007	40.835,7	191.558,1
1991	17.209,1	60.246,3	2008	41.817,2	198.418,0
1992	18.716,1	67.342,2	2009	44.761,2	194.812,9
1993	20.337,6	73.807,5	2010	49.524,1	211.207,7
1994	20.859,8	78.321,7	2011	53.211,0	229.395,0
1995	20.954,3	86.247,4	2012	57.059,4	239.496,0
1996	21.249,4	94.861,7	2013	64.044,0	239.293,0

TEİAŞ'ın raporları incelendiğinde, 1980 yılı ve sonrası için çizelge 2.1'de verilen kurulu güç ve üretim değerleri ile karşılaşıyoruz. Bu değerler bize elektrik güç sisteminde 1980 yılından bu yana ortalamada her yıl kurulu gücün %8,1, üretimin de %7,4 arttığını gösteriyor. Kurulu güç ve üretimdeki artışların yıllara göre değişimi şekil 2.1 ve şekil 2.2'de verilmiştir [2].

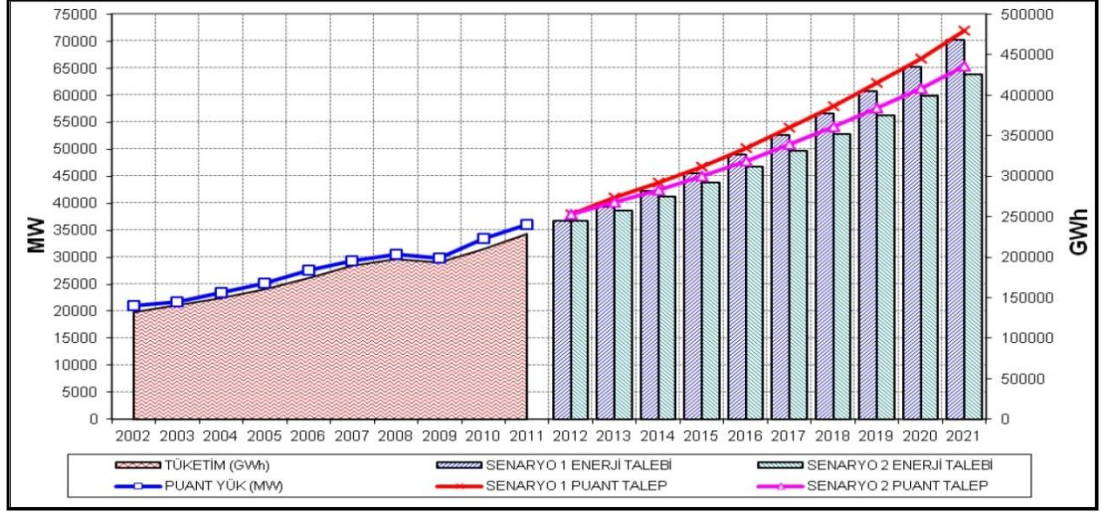


Şekil 2.1 : Türkiye kurulu gücünün yıllara göre değişimi.



Şekil 2.2 : Türkiye elektrik enerjisi üretiminin yıllara göre değişimi.

TEİAŞ, APK Dairesi Başkanlığı'nın hazırladığı Türkiye elektrik enerjisi 10 yıllık üretim kapasite projeksiyonuna baktığımızda benzer artış oranlarını orada da görmek mümkündür [3].



Şekil 2.3 : 2002-2021 yılları Türkiye elektrik sistemi puant güç ve enerji talebi [3].

Yukarıda incelediğimiz Türkiye'nin elektrik enerjisi profile, güç sistemlerindeki genişleme ve bunun oranı hakkında fikir vermektedir. Gelişmekte olan ülkelerin bir çoğunda benzer artış oranları mevcuttur. Öyleyse, bu oranlar kullanılarak test sistemi üzerine sistem genişlemesini yansıtarak, neticeleri incelenebilir.

2.3 Güç Sistemlerinde Genişleme

Gelişimin kaçınılmaz sonucu olan güç sistemlerindeki genişlemeler, tüketimde artış, yeni iletim hatlarının yapımı ve yeni üretim noktalarının yapımı ile oluşmaktadır. Bu genişlemelere karşın sistemin güvenilirliğini koruyabilmek ve en iyi koşullarda işletebilmek için uygun çalışma koşullarının biliniyor veya gerekiyorsa yeniden hesaplanabiliyor olması gerekir. Genişlemenin olumsuz etkilerinden kaçınmak için aşağıdaki önleyici çalışma yöntemleri değerlendirilir [38, 60-67].

- Yeni üretim noktalarını devreye sokmak
- Yeni güzergahta yeni hatlar yapmak
- Yüklü hatlara paralel hatlar yapmak
- Üretimi arttırmak
- Bölgelere ayırarak çalıştırmak
- Ada modunda çalışmak

- Bazı hatları açarak çalıştırmak
- Varsa baralar arası kuplajı açarak çalıştırmak
- FACTS cihazlarını kullanmak

Gerekli inceleme ve değerlendirmelerin ardından yukarıda bahsi geçen yöntemlerden bir veya birkaçı uygulanarak güç sistemini güvenilir ve ekonomik olarak çalıştırmak mümkün olabilir. Genişleyen güç sisteminde önce zayıflıklar tespit edilmeli ve çözüm tespit edilen konu odaklı aranmalıdır. Genişleyen güç sistemlerinin temel sorunları arasında arıza akımlarının yükselmesi, bara gerilimlerinin limitler dışına çıkması ve güç kayıplarının artması söylenebilir. Çalışmanın bu bölümünde göz önüne alınan örnek sistem üzerinde yapılan incelemelerle sistem genişlemesinin arıza akımları, bara gerilimleri ve iletim kayıpları üzerindeki etkileri gösterilmiştir.

2.4 Örnek Sistem İncelemeleri ve Sonuçları

Yukarıdaki açıklamalar altında sistem genişlemesinin etkilerini incelemek için IEEE 30 baralı test sistemi seçilmiştir [98, 99]. Bu test sistemi üzerinde sistem genişlemelerinin etkilerini yansıtabilmek için Türkiye güç sistemi büyüme oranına paralel değerler alınarak farklı senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolarda, her yük eşit oranda arttırılmıştır. Genişleme öncesi sistem durumu olarak test sisteminin temel durum (base case) verileri dikkate alınmıştır. Temel çalışma durumu ve farklı genişleme oranlarını yansıtan senaryolar (genişlemiş sistem durumları) için yük akışı ve kısa devre analizleri ile elde edilen bara gerilimleri, kısa devre akımları ve toplam kayıplar tablolar halinde verilmiştir. Ayrıca, ele alınan sistem durumları için elde edilen sonuçların karşılaştırması yapılmıştır. Bu karşılaştırmalar, tez çalışmasında çözüm yöntemi geliştirilmesi amaçlanan problemin geçerliliğini ortaya koymuştur.

Üzerinde çalışılan senaryolar aşağıdaki gibidir.

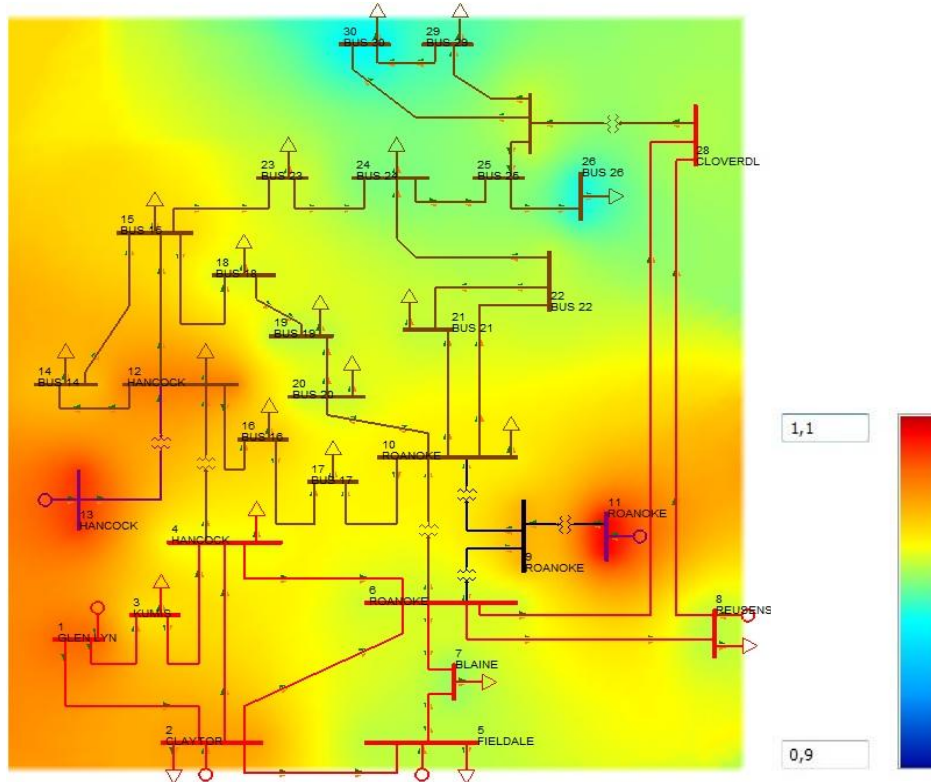
- Temel durum
- Senaryo 1 : 3 yıl sonunda yüklerin %25 artması
- Senaryo 2 : 6 yıl sonunda yüklerin %50 artması
- Senaryo 3 : 9 yıl sonunda yüklerin %75 artması
- Senaryo 4 : %75 yük artışına ilave olarak üretimin de artması
- Senaryo 5 : %75 yük artışı ve üretim artışına ilave olarak paralel hatların da artması

2.4.1 IEEE 30 baralı test sistemi için temel durum

IEEE 30 baralı test sisteminin temel duruma ait üretim ve yük bilgileri ele alınarak SIEMENS PTI-PSSE programı ile yük akışı ve baralarda 3-fazlı kısa devre analizleri gerçekleştirilmiş [104], elde edilen bara gerilimleri ve arıza akımları çizelge 2.2’de verilmiştir. Sistem üzerinde bara gerilimlerinin sınırlar arasındaki dağılımını görsel olarak ifade eden renklendirilmiş sistem şeması ise şekil 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.2 : Temel durum bara gerilimleri ve kısa devre akımları.

Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Anıza Akımı (p.u)	Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Anıza Akımı (p.u)
1	GLEN LYN	1,060	10,87	16	BUS 16	1,034	4,44
2	CLAYTOR	1,045	12,61	17	BUS 17	1,021	5,14
3	KUMIS	1,027	9,49	18	BUS 18	1,015	3,54
4	HANCOCK	1,018	11,65	19	BUS 19	1,010	3,55
5	FIELDALE	1,010	9,15	20	BUS 20	1,012	3,77
6	ROANOKE	1,013	12,84	21	BUS 21	1,011	5,40
7	BLAINE	1,004	8,74	22	BUS 22	1,011	5,35
8	REUSENS	1,010	10,73	23	BUS 23	1,013	3,57
9	ROANOKE	1,041	7,11	24	BUS 24	1,000	4,09
10	ROANOKE	1,023	6,73	25	BUS 25	1,002	2,87
11	ROANOKE	1,082	6,09	26	BUS 26	0,984	1,32
12	HANCOCK	1,055	6,94	27	CLOVERDL	1,012	3,15
13	HANCOCK	1,071	6,27	28	CLOVERDL	1,008	8,66
14	BUS 14	1,037	3,66	29	BUS 29	0,992	1,63
15	BUS 15	1,030	5,15	30	BUS 30	0,980	1,48



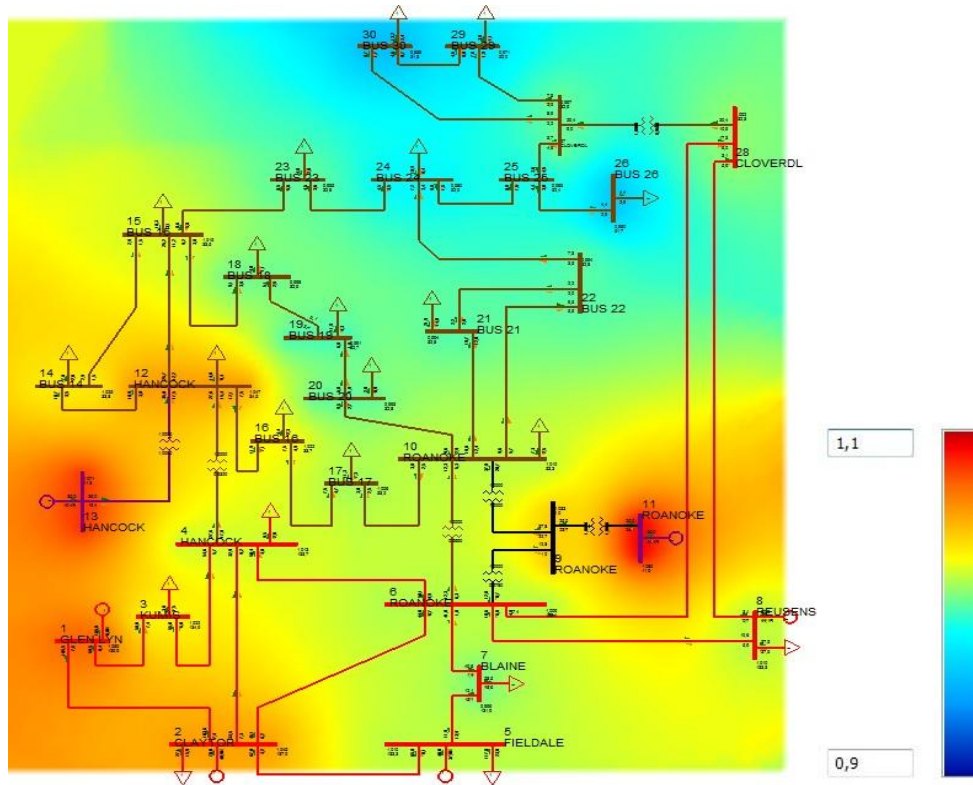
Şekil 2.4 : Temel duruma ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.

2.4.2 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 1'in uygulanması

Senaryo 1'de 3 yıl sonunda yüklerde %25 yük artışı oluşacağı tahmin edilmiştir. Üretimde artış öngörülmemiştir. Yük akışı analizini ve bara arıza akımlarını hesapladığımızda elde edilen bara gerilimleri ve arıza akımları çizelge 2.3'deki gibi tespit edilmiştir. Sistem üzerinde bara gerilimlerinin sınırlar arasındaki dağılımını görsel olarak ifade eden renklendirilmiş sistem şeması ise şekil 2.5'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Senaryo 1'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları.

Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Arıza Akımı (p.u.)	Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Arıza Akımı (p.u.)
1	GLEN LYN	1,060	10,87	16	BUS 16	1,022	4,44
2	CLAYTOR	1,045	12,61	17	BUS 17	1,006	5,14
3	KUMIS	1,022	9,49	18	BUS 18	0,998	3,54
4	HANCOCK	1,013	11,65	19	BUS 19	0,991	3,55
5	FIELDALE	1,010	9,15	20	BUS 20	0,995	3,77
6	ROANOKE	1,009	12,84	21	BUS 21	0,994	5,40
7	BLAINE	0,999	8,74	22	BUS 22	0,994	5,35
8	REUSENS	1,010	10,73	23	BUS 23	0,995	3,57
9	ROANOKE	1,033	7,11	24	BUS 24	0,980	4,09
10	ROANOKE	1,010	6,73	25	BUS 25	0,983	2,87
11	ROANOKE	1,082	6,09	26	BUS 26	0,960	1,32
12	HANCOCK	1,047	6,94	27	CLOVERDL	0,997	3,15
13	HANCOCK	1,071	6,27	28	CLOVERDL	1,002	8,66
14	BUS 14	1,025	3,66	29	BUS 29	0,971	1,63
15	BUS 15	1,015	5,15	30	BUS 30	0,956	1,48



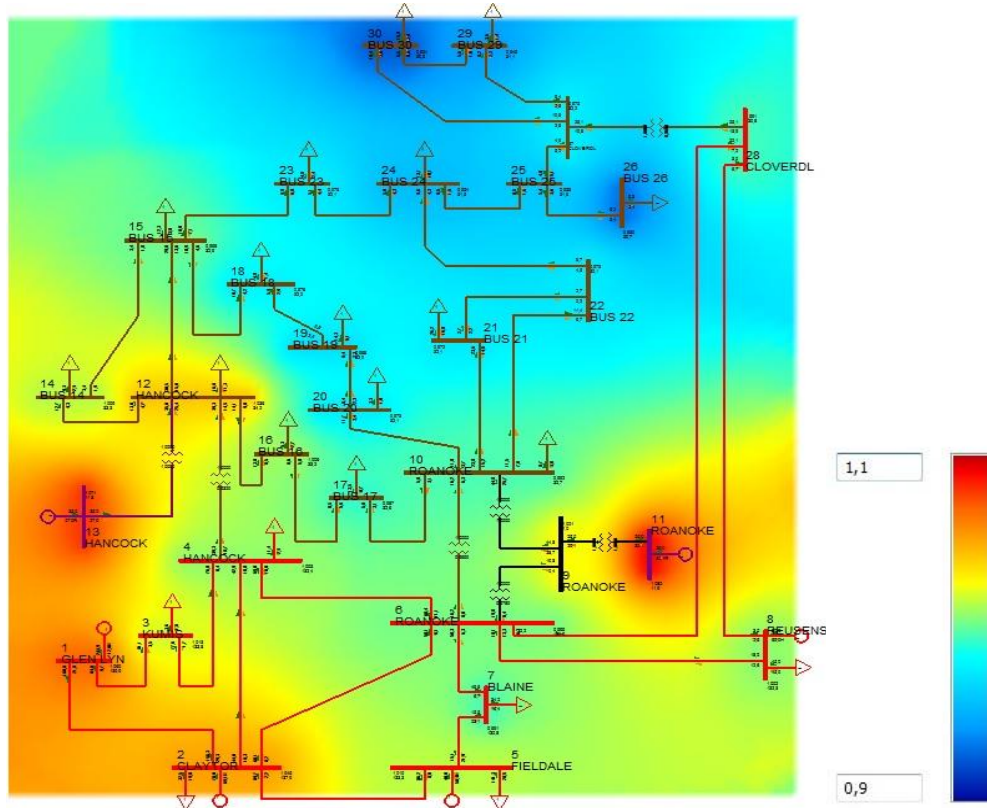
Şekil 2.5 : Senaryo 1'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.

2.4.3 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 2'nin uygulanması

Senaryo 2'de 6 yıl sonunda yüklerde %50 yük artışı oluşacağı tahmin edilmiştir. Üretimde artış öngörülmemiştir. Yük akışı analizini ve bara arıza akımlarını hesapladığımızda elde edilen bara gerilimleri ve arıza akımları çizelge 2.4'teki gibi tespit edilmiştir. Sistem üzerinde bara gerilimlerinin sınırlar arasındaki dağılımını görsel olarak ifade eden renklendirilmiş sistem şeması ise şekil 2.6'da verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Senaryo 2'ye ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları.

Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Arıza Akımı (p.u.)	Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Arıza Akımı (p.u.)
1	GLEN LYN	1,060	10,87	16	BUS 16	1,006	4,44
2	CLAYTOR	1,045	12,61	17	BUS 17	0,987	5,14
3	KUMIS	1,013	9,49	18	BUS 18	0,976	3,54
4	HANCOCK	1,003	11,65	19	BUS 19	0,969	3,55
5	FIELDALE	1,010	9,15	20	BUS 20	0,973	3,77
6	ROANOKE	0,999	12,84	21	BUS 21	0,972	5,40
7	BLAINE	0,991	8,74	22	BUS 22	0,973	5,35
8	REUSENS	1,002	10,73	23	BUS 23	0,973	3,57
9	ROANOKE	1,022	7,11	24	BUS 24	0,954	4,09
10	ROANOKE	0,992	6,73	25	BUS 25	0,958	2,87
11	ROANOKE	1,082	6,09	26	BUS 26	0,930	1,32
12	HANCOCK	1,036	6,94	27	CLOVERDL	0,975	3,15
13	HANCOCK	1,071	6,27	28	CLOVERDL	0,991	8,66
14	BUS 14	1,009	3,66	29	BUS 29	0,943	1,63
15	BUS 15	0,998	5,15	30	BUS 30	0,924	1,48



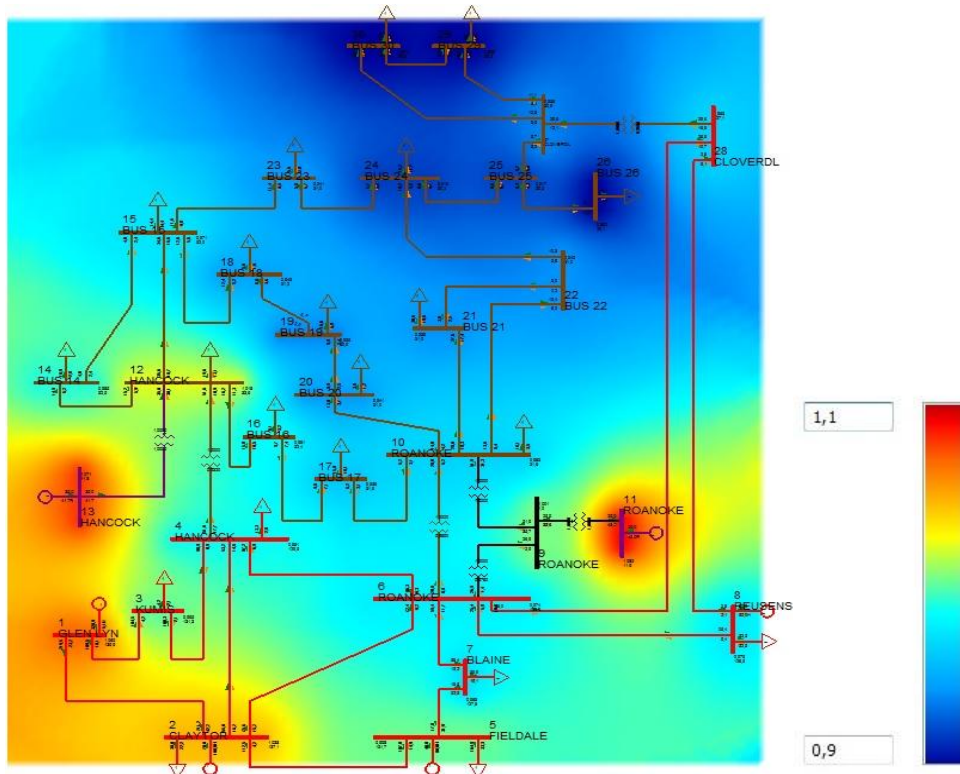
Şekil 2.6 : Senaryo 2'ye ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.

2.4.4 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 3'ün uygulanması

Senaryo 3'te 9 yıl sonunda yüklerde %75 yük artışı oluşacağı tahmin edilmiştir. Üretimde artış öngörülmemiştir. Yük akışı analizini ve bara arıza akımlarını hesapladığımızda elde edilen bara gerilimleri ve arıza akımları çizelge 2.5'teki gibi tespit edilmiştir. Sistem üzerinde bara gerilimlerinin sınırlar arasındaki dağılımını görsel olarak ifade eden renklendirilmiş sistem şeması ise şekil 2.7'de verilmiştir.

Çizelge 2.5 : Senaryo 3'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları.

Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Arıza Akımı (p.u)
1	GLEN LYN	1,060	10,87
2	CLAYTOR	1,038	12,61
3	KUMIS	0,995	9,49
4	HANCOCK	0,981	11,65
5	FIELDALE	0,998	9,15
6	ROANOKE	0,974	12,84
7	BLAINE	0,968	8,74
8	REUSENS	0,973	10,73
9	ROANOKE	1,001	7,11
10	ROANOKE	0,963	6,73
11	ROANOKE	1,082	6,09
12	HANCOCK	1,018	6,94
13	HANCOCK	1,071	6,27
14	BUS 14	0,985	3,66
15	BUS 15	0,971	5,15
16	BUS 16	0,981	4,44
17	BUS 17	0,958	5,14
18	BUS 18	0,945	3,54
19	BUS 19	0,935	3,55
20	BUS 20	0,941	3,77
21	BUS 21	0,939	5,40
22	BUS 22	0,940	5,35
23	BUS 23	0,941	3,57
24	BUS 24	0,916	4,09
25	BUS 25	0,917	2,87
26	BUS 26	0,882	1,32
27	CLOVERDL	0,936	3,15
28	CLOVERDL	0,963	8,66
29	BUS 29	0,895	1,63
30	BUS 30	0,872	1,48



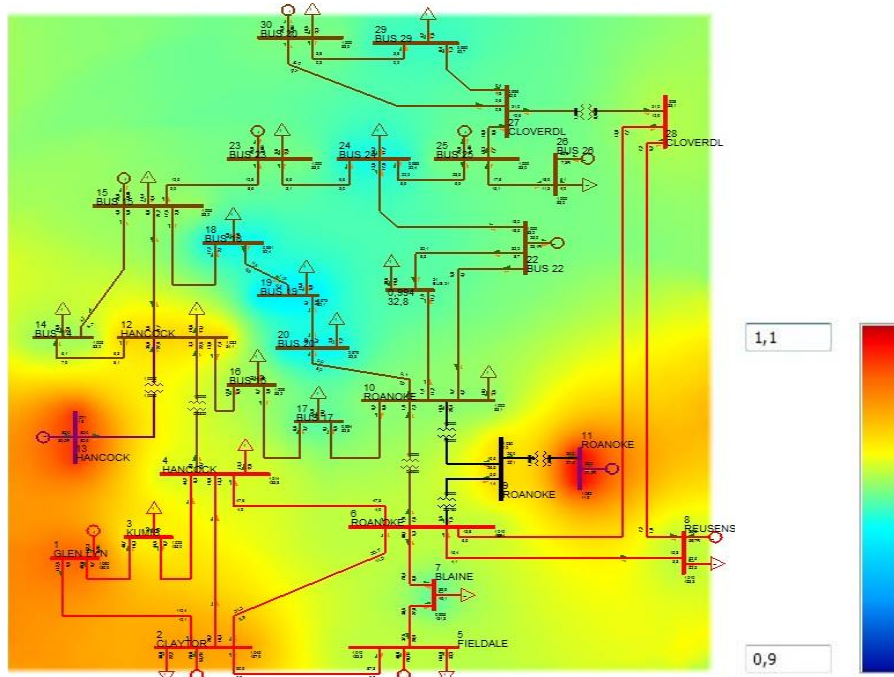
Şekil 2.7 : Senaryo 3'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.

2.4.5 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 4'ün uygulanması

Senaryo 4'te, senaryo 3'teki yük artışları kullanılmış aynı zamanda artan yük ihtiyacını karşılayabilmek üzere 15, 22, 23, 25, 26 ve 30 nolu baralar üretim baralarına dönüştürülerek bu baralara 25'er MVA'lık generatörler ilave edilmiştir. Üretim ve tüketim artışlarının yansıtıldığı genişletilmiş IEEE 30 baralı test sisteminde yük akışı analizini ve bara arıza akımlarını hesapladığımızda elde edilen bara gerilimleri ve arıza akımları çizelge 2.6'teki gibi tespit edilmiştir. Sistem üzerinde bara gerilimlerinin sınırlar arasındaki dağılımını görsel olarak ifade eden renklendirilmiş sistem şeması ise şekil 2.8'de verilmiştir.

Çizelge 2.6 : Senaryo 4'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları.

Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Arıza Akımı (p.u.)
1	GLEN LYN	1,060	11,95
2	CLAYTOR	1,045	14,28
3	KUMIS	1,023	11,13
4	HANCOCK	1,014	14,68
5	FIELDALE	1,010	9,84
6	ROANOKE	1,010	16,96
7	BLAINE	0,995	9,91
8	REUSENS	1,010	13,01
9	ROANOKE	1,030	9,44
10	ROANOKE	1,002	11,27
11	ROANOKE	1,082	6,62
12	HANCOCK	1,032	10,48
13	HANCOCK	1,071	7,42
14	BUS 14	1,005	4,91
15	BUS 15	1,005	10,62
16	BUS 16	1,006	5,66
17	BUS 17	0,994	7,17
18	BUS 18	0,981	4,88
19	BUS 19	0,973	4,69
20	BUS 20	0,979	5,00
21	BUS 21	0,994	9,74
22	BUS 22	1,000	10,44
23	BUS 23	1,000	8,24
24	BUS 24	0,983	7,44
25	BUS 25	1,000	8,60
26	BUS 26	1,000	5,02
27	CLOVERDL	0,996	6,55
28	CLOVERDL	1,008	11,25
29	BUS 29	0,990	2,95
30	BUS 30	1,000	5,03



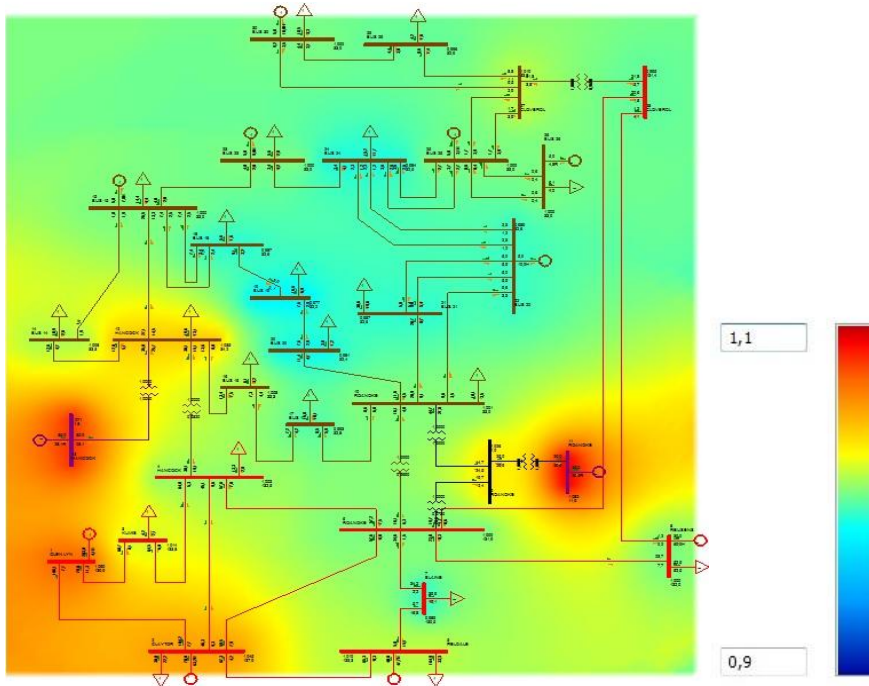
Şekil 2.8 : Senaryo 4'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.

2.4.6 IEEE 30 baralı test sistemi için senaryo 5'in uygulanması

Senaryo 5'te, senaryo 4'teki yük ve üretim artışlarına ilave olarak aşırı yüklenen hatlara paralel hatlar oluşturulmuştur. Bu hatlar, 15-18, 21-22, 22-24, 24-25, 25-26 ve 25-27 nolu baralar arasındaki hatlara paralel olarak oluşturulmuştur. Üretim ve tüketim artışlarının olduğu ve yeni hatların inşaa edildiği genişletilmiş IEEE 30 baralı test sisteminde yük akışı analizini yaptığımızda ve bara arıza akımlarını hesapladığımızda elde edilen bara gerilimleri ve arıza akımları çizelge 2.7'deki gibi tespit edilmiştir. Sistem üzerinde bara gerilimlerinin sınırlar arasındaki dağılımını görsel olarak ifade eden renklendirilmiş sistem şeması ise şekil 2.9'da verilmiştir.

Çizelge 2.7 : Senaryo 5'e ait bara gerilimleri ve kısa devre akımları.

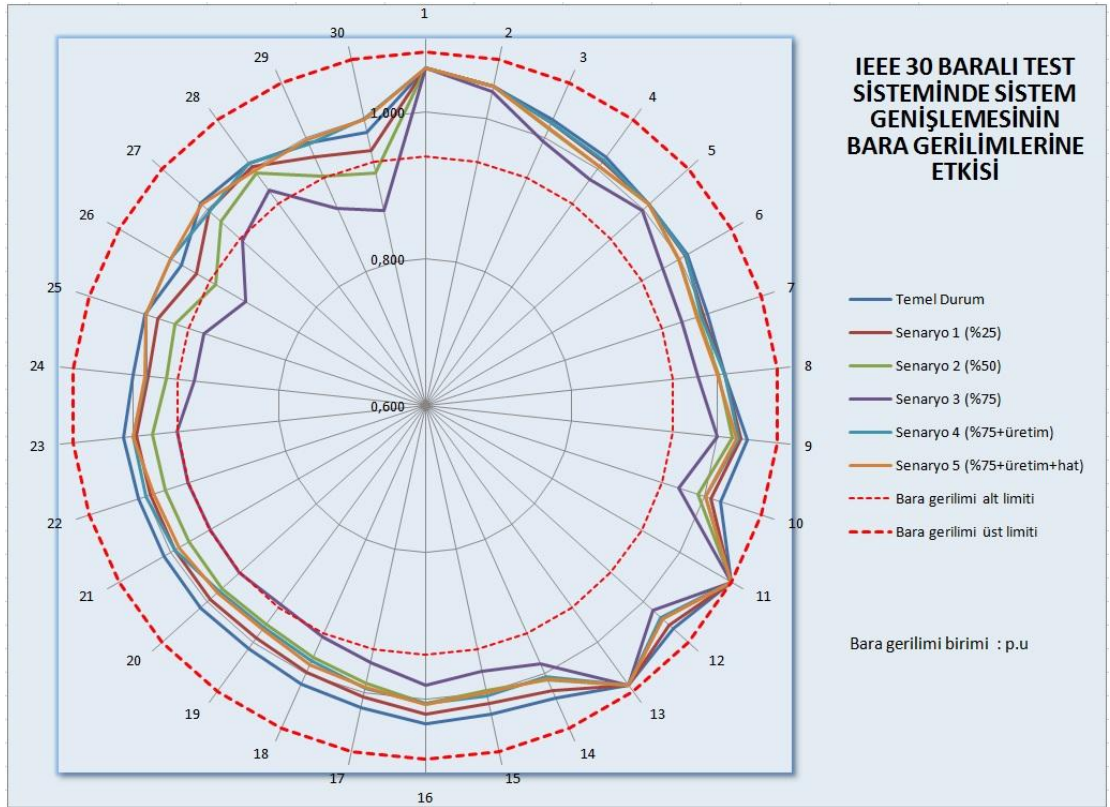
Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Anıza Akımı (kA)	Bara No	Bara Adı	Bara Gerilimi (p.u.)	Anıza Akımı (kA)
1	GLEN LYN	1,060	13,61	16	BUS 16	1,008	5,71
2	CLAYTOR	1,045	15,40	17	BUS 17	0,993	7,39
3	KUMIS	1,014	11,28	18	BUS 18	0,987	6,42
4	HANCOCK	1,003	14,85	19	BUS 19	0,977	5,38
5	FIELDALE	1,010	11,45	20	BUS 20	0,981	5,52
6	ROANOKE	1,000	17,21	21	BUS 21	0,987	11,20
7	BLAINE	0,989	10,21	22	BUS 22	0,989	11,78
8	REUSENS	1,000	13,15	23	BUS 23	1,000	8,58
9	ROANOKE	1,026	9,68	24	BUS 24	0,984	10,13
10	ROANOKE	1,001	12,07	25	BUS 25	1,000	10,97
11	ROANOKE	1,082	6,67	26	BUS 26	1,000	6,34
12	HANCOCK	1,035	10,56	27	CLOVERDL	1,010	8,16
13	HANCOCK	1,071	7,44	28	CLOVERDL	0,995	11,48
14	BUS 14	1,008	4,93	29	BUS 29	0,996	3,09
15	BUS 15	1,000	10,86	30	BUS 30	1,000	5,18



Şekil 2.9 : Senaryo 5'e ait bara gerilimlerinin renklendirilmiş görüntüsü.

2.4.7 Temel durum ve senaryolardan elde edilen sonuçların değerlendirilmesi

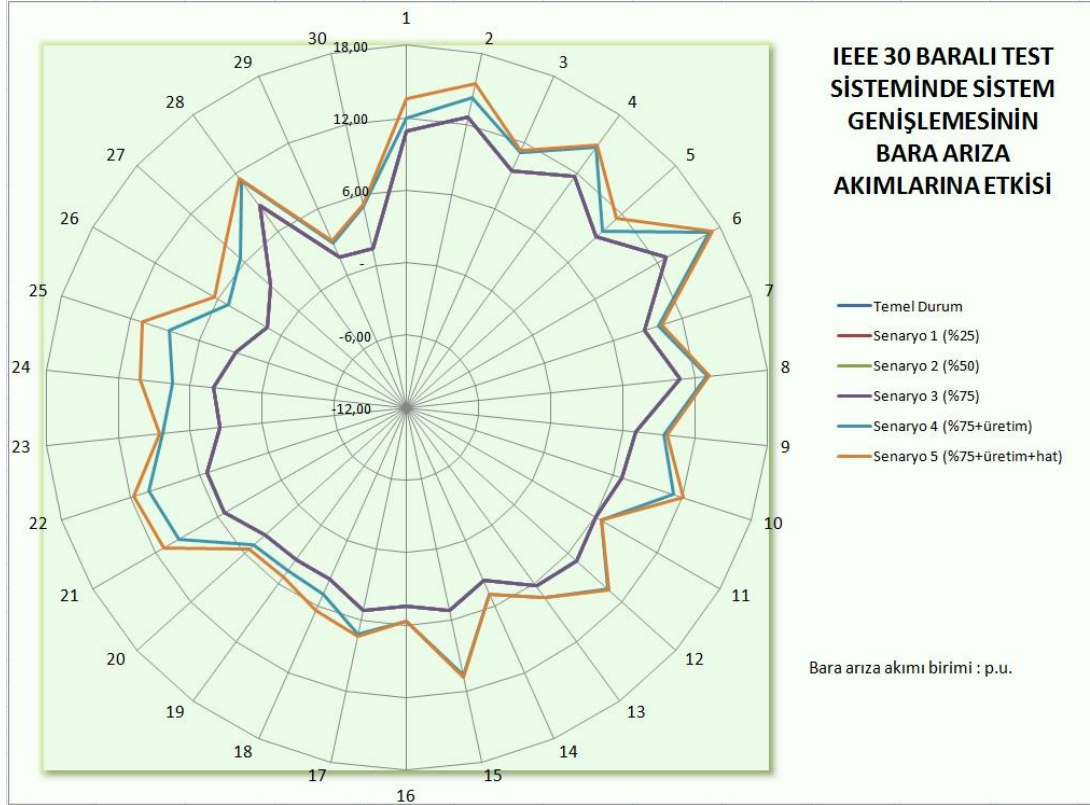
Türkiye güç sistemi üzerinde yıllar içinde oluşan değişimlerin oranını kullanarak IEEE 30 baralı test sisteminde de sistem genişlemesi oluşturuldu. İlk durum ve ilave beş senaryo olmak üzere toplam altı ayrı sistem incelendi, bara gerilimleri, arıza akımları bulundu. Ayrıca her bir incelemede toplam aktif ve reaktif kayıplar hesaplandı. Her bir durum için hesaplanan bara gerilimlerini aynı grafik üzerinde gösterdiğimizde genişlemenin gerilimler üzerine etkisini görmek mümkün olmuştur. Bu durum şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10 : Sistem genişlemesinin bara gerilimlerine etkisi.

Şekil 2.10'dan da görüldüğü gibi tüketimde artış bara gerilimlerini düşürmektedir. Yüklerdeki artışın devam etmesi durumunda üretim ihtiyacı karşılayamaz duruma geliyor ve bara gerilimleri izin verilen limit değerlerin altına iniyor. Senaryo 4 ile beraber yeni üretim noktalarının devreye girmesi durumunda bara gerilimlerinin tekrar limitler içine çekilebildiği görülüyor.

Aynı genişleme şartlarının 3 faz arıza akımı üzerine olan etkilerini görmek için her bir durumun arıza akımlarını aynı grafikte topladığımızda da şekil 2.11 elde edildi.



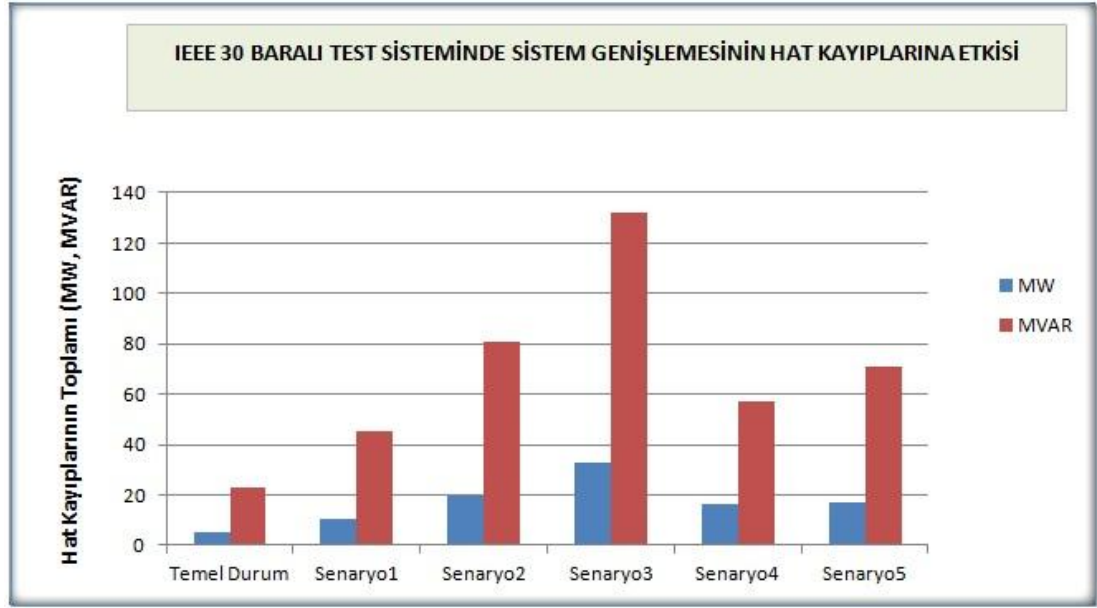
Şekil 2.11 : Sistem genişlemesinin arıza akımlarına etkisi.

Şekil 2.11’den görüleceği gibi temel durumda elde edilen çözümün ardından senaryo 1, 2 ve 3’te oluşan talep artışlarının arıza akımları üzerine bir etkisi olmadığı söylenebilir. Çünkü, güç sisteminde üretim veya tüketim noktalarında bara empedans değerlerini değiştirecek bir durum oluşmamıştır. Ancak, artan tüketim ihtiyacının karşılanabilmesi için senaryo 4 ile yeni üretim noktalarının sisteme eklenmesi ve senaryo 5 ile ilave hatların inşaa edilmesi ile artık sistem daha da güçlenmiş ve baraların arıza akımlarının arttığı gözlenmiştir.

Yukarıdaki analizleri yaparken ayrıca her bir durum için sistemdeki toplam aktif ve reaktif kayıpları da hesaplandı. Çizelge 2.8, her bir durum için aktif ve reaktif kayıpları göstermektedir. Çizelge 2.8 kullanılarak elde edilen grafik ise şekil 2.12’de verilmiştir.

Çizelge 2.8 : Her bir durum için hesaplanan aktif ve reaktif kayıplar.

		Temel Durum	Senaryo1	Senaryo2	Senaryo3	Senaryo4	Senaryo5
Aktif Kayıp	(MW)	5	10,7	19,8	33	16,4	17,1
Reaktif Kayıp	(MVAR)	22,9	45,3	80,5	132,2	57,4	71,2



Şekil 2.12 : Sistem genişlemesi durumunda aktif ve reaktif kayıpların değişimi.

Şekil 2.12 incelendiğinde artan tüketim miktarının kayıpları da arttırdığı görülmektedir. Tüketime, yeni üretim baraları ile desteklenmesi durumunda ise kayıplar tekrar düşmektedir. IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde genişlemenin etkileri incelendi ve yukarıdaki sonuçlara ulaşıldı. Elde edilen bilgileri toplu olarak özetlediğimizde çizelge 2.9 elde edilir.

Çizelge 2.9 : Genişleyen güç sisteminde tespit edilen değişimler.

IEEE 30 Baralı Test Sistemi	Bara Gerilimi	Üç Faz Arıza Akımı	Hat kayıpları
Temel Durum	Değişim yok	Değişim yok	Değişim yok
Senaryo 1 (%25 yük artışı)	Kötüleşme	Değişim yok	Kötüleşme
Senaryo 2 (%50 yük artışı)	Kötüleşme	Değişim yok	Kötüleşme
Senaryo 3 (%75 yük artışı)	Kötüleşme	Değişim yok	Kötüleşme
Senaryo 4 (%75 yük ve üretim artışı)	İyileşme	Kötüleşme	İyileşme
Senaryo 5 (%75 yük, üretim ve hat artışı)	İyileşme	Kötüleşme	İyileşme

● Değişim yok

● İyileşme

● Kötüleşme

Genişleyen güç sisteminde öyle işletme koşulları bulunmalı ki, bara gerilimleri limitler içinde kalsın, arıza akımları limitlerin altında kalarak şalt cihazları güvenle çalışsın ve sistemdeki güç kayıpları minimum olsun. Bu şartların sağlanmaması durumunda sistemin güvenli ve ekonomik işletilmesinden söz etmek mümkün değildir.

3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE DUYARLILIK ANALİZİ

3.1 Giriş

Elektrik güç sistemi üzerinde yapılan eniyileme çalışmaları genel olarak güç sistemlerinin doğasından dolayı karmaşık ve lineer olmayan problemlerin çözümlerini gerektirmektedir. Büyük boyutlu matris işlemlerinin gerçekleştirilmesinde bilgisayarların hesaplama çözüm süreleri uzamaktadır. Eniyileme çalışmalarında, kontrol değişkenleri alternatiflerin sayısının yüksekliği, özellikle rastgele tarama prensibine dayalı olan doğadan esinlenilmiş eniyileme yöntemlerinin (bu tez çalışmasında göz önüne alınan ateşböceği ve genetik algoritmalar gibi) uzun çözüm sürelerine ihtiyaç duymasına yol açmaktadır. Oysa gerçek zamanlı işletimde çözüme kısa sürede ulaşılarak gerekli düzeltici müdahalelerin yapılması önemlidir. Bu nedenle bazı araştırmacılar, gerek planlanma gerekse işletim eniyilemesi problemlerinin çözümünde ön çalışma olarak duyarlılık analizi ile alternatifler kümesini daraltmayı hedeflemiştir [37, 38]. Bu sayede matematiksel çözümlerin kolay yakınsayabilmesi, daha az iterasyon ile daha kısa sürede sonuca ulaşabilmesi sağlanabilmektedir. Eğer, sistem genişlemesi sonucunda yüksek arıza akımı üretebilecek noktalar için çözümü ararken, arıza akımını en çok düşüren alternatifler ve etkilenmeler önceden tespit edilebilirse çalışma açısından önemli bir adım atılmış olur. Bir başka değişle, hat açmalarının veya bara bölme işleminin, arıza akımı üzerinde duyarlılığını gösteren senaryolar ile yapılacak ön çalışma, alternatif müdahaleler kümesini daraltacağı için sonuca daha kolay ulaşılır. Ada modunda çalışmak mı, bazı hatları açarak çalıştırmak mı, bazı baralarda kuplajı açarak çalıştırmak mı gibi sorulara da, bu ön inceleme ile cevap bulunur.

3.2 Duyarlılık Analizi ve Önemi

Duyarlılık, kısaca uyarana gösterilen tepkinin oranı olarak tanımlanabilir. Duyarlılık analizi de bir veya daha fazla fonksiyon değişkeninin değişimi ile verilen fonksiyonun değerinin değişimini inceler. Dolayısıyla, duyarlılık analizi birçok güç

sistemi çalışmalarında [68] bir veya birden fazla parametrenin değişimi ile oluşan duyarlılık arasındaki ilişkiyi kurmayı amaçlar.

Güç sistemlerinde duyarlılık analizi aşağıdaki nedenlerden dolayı oldukça önemlidir [69].

- Sistem cevabının bazı parametrelerden nasıl etkilenebileceği ve onların değerlerinin ne kadar güvenilir olması gerektiği ile ilgili bilgi sağlar.
- Sistemde oluşabilecek en kötü durumların bulunmasına yardımcı olur. Örneğin; en yüksek aşırı gerilimler gibi.
- Sistemde bazı parametreler yaşlanma, sıcaklık veya bakım etkisi ile değişebilir. Bu değişimlerin etkileri önemli olabilir.
- Başlangıç koşullarından tespit edilen duyarlılık verileri, doğrusal olmayan sistemlerin kararlı durum koşullarında verimli bir şekilde kullanılabilir.
- Duyarlılık analizi, tolerans hesaplamalarında, sistem tasarımında ve eniyileme çalışmalarında son derece kullanışlıdır.

Duyarlılık analizi için karar verme yöntemlerinde üç temel adım bulunmaktadır [70].

1. Uygun kriter ve alternatiflerin belirlenmesi.
2. Göreceli önemi olan kriterler ve alternatiflerin bu kriterlere olan etkisine ait sayısal ölçüm değerlerinin belirlenmesi.
3. Her bir alternatife ait uygun sıralamanın belirlenmesi için sayısal sonuçların derlenmesi.

3.3 Ağırlıklı Toplam Karar Verme Yöntemi

Duyarlılık analizi çalışmasında sistemin, hangi kriterler için, hangi oranda hassasiyeti inceleniyorsa bu kriter ve oranlarının tanımlanması ve yöntemin belirlenmesi gerekir. Çalışmamızda, ağırlıklı toplam karar verme yöntemi seçilmiştir.

Karar verme problemlerinde alternatiflerin sayısı m ve kriterlerin sayısı da n olsun. Alternatifler, A_i ($i = 1,2,3,...,m$) olarak, kriterler de C_j ($j = 1,2,3,...,n$) olarak tanımlanmaktadır. Ağırlıklı toplamı bulabilmek için seçilen her bir C_j kriterinin sistem için ağırlığı belirlenmelidir. Bu ağırlık aynı zamanda o kriterin önemini gösterir. C_j kriterlerinin ağırlığı olarak ifade edilen W_j 'nin değerlerinin toplamı 1'e eşittir ve aşağıdaki gibi ifade edilir [70].

$$\sum_{j=1}^N W_j = 1 \quad (3.1)$$

Bununla beraber karar verme sürecinde a_{ij} ($i = 1,2,3,...,m$ ve $j = 1,2,3,...,n$), A_i alternatiflerinin ağırlıkları belirlenmelidir. Böylece karar verme matrisi Çizelge 3.1’deki gibi oluşturulur.

Çizelge 3.1 : Karar verme matrisi.

Alternatifler	Kriterler				
	C_1	C_2	C_3	...	C_N
	W_1	W_2	W_3	...	W_N
A_1	$a_{1,1}$	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	...	$a_{1,N}$
A_2	$a_{2,1}$	$a_{2,2}$	$a_{2,3}$	...	$a_{2,N}$
A_3	$a_{3,1}$	$a_{3,2}$	$a_{3,3}$	...	$a_{3,N}$
.	.	.	.	.	.
.	.	.	.	.	.
A_M	$a_{M,1}$	$a_{M,2}$	$a_{M,3}$	...	$a_{M,N}$

Tespit edilen alternatifleri temsil eden değer, P_i ($i = 1,2,3,...,m$) değeridir. P_i ’nin tespitinde dikkatli olmak gerekir. Farklı karar verme metodları için, P_i ’nin hesaplanmasında farklı işlemler kullanılmaktadır. P_i hesaplamasında farklı değişkenlerin hangi işaretle toplama dahil edileceği önemlidir. Sonuç olarak en iyi alternatifler aşağıdaki gibi sıralanır.

$$P_1 \geq P_2 \geq P_3 \geq \geq P_m \quad (3.2)$$

Çalışmamızda kullanılan “ağırlıklı toplam modeli” karar verme yöntemi ile birden fazla fonksiyon sonucu tek bir fonksiyon değerine dönüştürülmektedir. Bu denklem ilk olarak 1967 yılında Fishburn tarafından ortaya konmuş ve hesaplanmıştır [71, 72].

$$P = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n a_{ij} W_j \quad (3.3)$$

m	:	Alternatiflerin sayısı (senaryo veya manevra sayısı)
n	:	Kriter sayısı
a	:	Karar kriteri
W	:	Ağırlık (veya önem)
P	:	Alternatifi temsil eden değer (Karar kriterlerinin ağırlıklandırılmış toplamı)

Formül 3.3 ile hesaplanan P_i değerlerine göre alternatifleri en iyiden en kötüye doğru sıralayabilir ve incelemelerde kullanılmak üzere en uygun alternatifler kümesi oluşturulabilir. Burada dikkat edilmesi gereken bir nokta da ağırlıklı toplam modelde yer alacak alternatif ve kriterlerin aynı birimde olmalarıdır. Normalize edilmiş yüzde değerlerin kullanılması buna örnek verilebilir.

Duyarlılık analizinde bahsi geçen alternatifler ifadesi aynı zamanda senaryo olarak ta adlandırılmaktadır. İncelemede kullanılan senaryolar, bara kuplajlarının veya hatların açılması ile oluşturulmaktadır.

3.4 Karar Verme Yöntemi İçin Seçilen Kriterler ve Ağırlıkları

Bu çalışmada, bara gerilimi, bara arıza akımı ve toplam aktif kayıplar duyarlılık analizi kriterleri olarak seçilmiştir. Dolayısıyla, bu üç kriter için eşitlik aşağıdaki hali alır.

$$P_i = W_1 * a_{i1} + W_2 * a_{i2} + W_3 * a_{i3} \quad i=1,2,3,\dots,m \quad (3.4)$$

a_{i1}	:	i nci alternatif için bara arıza akımı karar kriteri
a_{i2}	:	i nci alternatif için bara gerilimi karar kriteri
a_{i3}	:	i nci alternatif için toplam aktif güç kaybı karar kriteri
P_i	:	Karar kriterlerinin ağırlıklandırılmış toplamı
W_1	:	a_{i1} kriterin ağırlığı ($W_1=0,7$)
W_2	:	a_{i2} kriterin ağırlığı ($W_2=0,15$)
W_3	:	a_{i3} kriterin ağırlığı ($W_3=0,15$)

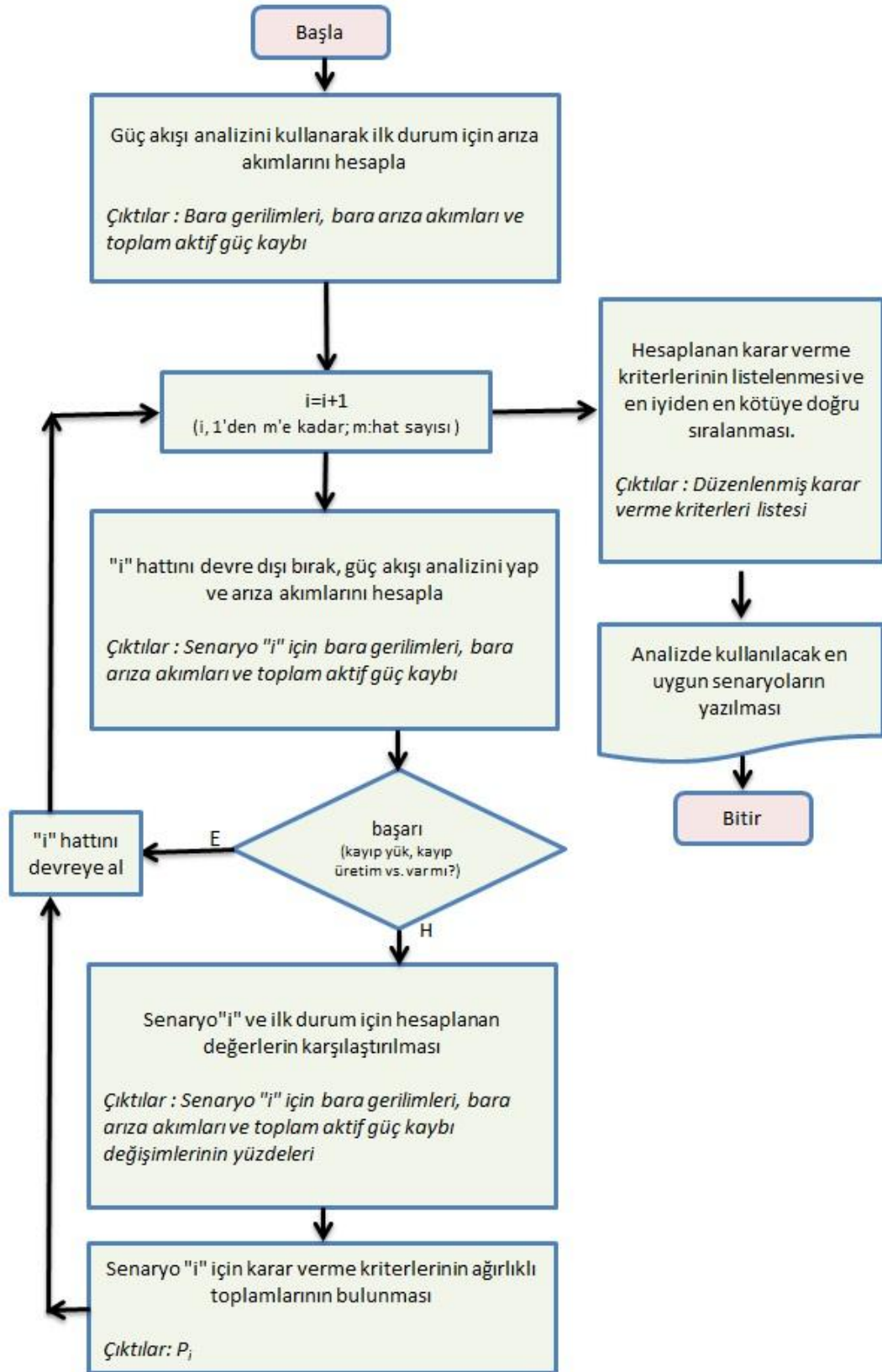
Çalışmada, bara arıza akımının önemi daha fazla olduğu için W_1 'nin değeri diğerlerinden daha büyüktür ve 0,7 olarak alındı. Diğer kriterlerin ağırlıkları ise aynı tutuldu ve her ikisinde 0,15 olarak belirlendi. Aşağıdaki eşitlikte de gösterildiği gibi her bir kriter ağırlığının toplamı 1'e eşittir.

$$W_1 + W_2 + W_3 = 1 \quad (3.5)$$

Her bir alternatif için karar kriterlerinin ağırlıklandırılmış toplamı, eşitlik 3.4 kullanılarak bulunur. Hesaplamaların sonunda m adet karar kriterlerinin ağırlıklandırılmış toplamı elde edilir ve bunlar en iyiden en kötüye doğru eşitlik 3.2'de gösterildiği gibi sıralanır. Böylece, duyarlılığı yüksek olan senaryolar bulunmuş ve sıralanmış olur. Daraltılmış küme içinde çözüm aramak sonuca daha kolay ulaşma imkanı sağlar.

3.5 Duyarlılık Analizi ve Akış Şeması

Yukarıda tanımlanan ağırlıklı toplam modelin uygulandığı duyarlılık analizi için oluşturulan akış şeması şekil 3.1'de verilmiştir. Duyarlılık analizleri MATLAB ortamında [102] akış şemasına uygun olarak geliştirilen kodlar kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 3.1 : Ağırlıklı toplam modelin uygulandığı duyarlılık analizi akış şeması.

Şekil 3.1’de verilen akış şemasına göre, iletim sistemindeki tüm hatlar ve baralar arası kuplajlar açılıp kapatılarak her bir alternatif için bara arıza akımları, bara gerilimleri ve toplam aktif hat kayıpları hesaplanmaktadır. Bulunan sonuçlar aşağıda açıklandığı gibi analiz edilir [20, 68].

Bara arıza akımlarının analizi;

$$\Delta I_{ik} = \frac{I_{BCk} - I_{Sik}}{I_{Sik}} \cdot 100 \quad (\%) \quad (3.6)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir. Bu eşitlikte;

i : Senaryo sayısı

k : Toplam bara sayısı

I_{BCk} : İlk durum için k barası arıza akımı

I_{Sik} : Senaryo i için k barası arıza akımı

ΔI_{ik} : Senaryo i için k barası arıza akımının yüzde değeri

3.6 eşitliğinin kullanılmasıyla her bir senaryo için k adet ΔI_{ik} değeri hesaplanır ve her senaryonun kendi içindeki en büyük ΔI_{ik} değeri belirlenir. Her bir alternatif kontrolü yansıtan senaryoların en iyileri de kendi içlerinde sıralanarak a_{i1} değerleri bulunur.

Bara gerilimlerinin analizi için ise,

$$\Delta V_{ik} = |V_{Sik} - 1.0| 100 \quad (\%) \quad (3.7)$$

eşitliği kullanılır. Bu eşitlikte;

V_{Sik} : Senaryo i için k barası gerilimi [pu]

ΔV_{ik} : Senaryo i için k barası geriliminin yüzde değeri

3.7 eşitliğinin kullanılması ile bara gerilimlerinin 1 p.u değerinden sapmaları hesaplanır. Her bir senaryo için k adet ΔV_{ik} değeri hesaplanır ve her senaryonun kendi içindeki en küçük ΔV_{ik} değeri alınır. Senaryoların en iyileri de kendi içlerinde sıralanarak a_{i2} değerleri bulunur.

Her bir senaryo için bara arıza akımları ve gerilimleri hesaplanırken ayrıca o senaryo ya ait toplam aktif güç kaybı da hesaplanır. Tüm hesaplamalar sona erdiğinde

elimizde i adet toplam aktif güç kaybı bulunur. Bu sonuçlar da iyiden kötüye sıralandığında a_{i3} değerleri bulunur.

Bulunan a_{i1} , a_{i2} , a_{i3} değerleri eşitlik 3.4'te yerine konulduğunda senaryo sayısı kadar P değeri bulunur. P değerinin en düşük olduğu senaryo, ağırlıklı modele göre en duyarlı senaryoyu göstermektedir. Her bir senaryo için bulunan P değerleri küçükten büyüğe doğru sıralandığında, ağırlıklı toplam modele göre senaryolar da duyarlı olandan duyarsız olana doğru sıralanmaktadır. Dolayısıyla, P değeri en küçük olan ilk birkaç senaryo alınarak üzerinde çalışma yapılabilir ve böylece üzerinde çalışılacak çözüm kümesi de daraltılmış olur.

Her bir senaryo için ayrı ayrı analiz yapılırken bazı senaryolar için çözüm bulunamayabilir. Sistemin kararlı çalışmadığı, yük akışının yakınsamadığı bu senaryolar uygulanabilir çözümler olmadığı için dikkate alınmazlar ve sıralamada en sona atılırlar. Böylece ağırlıklı toplam modelin kullanıldığı duyarlılık analizi çalışmasında senaryolar en iyiden en kötüye doğru sıralanmış olur.

4. SİSTEM GENİŞLEME ETKİLERİNİN BULANIK ORTAMDA ELE ALINMASI

4.1 Giriş

Elektrik güç sistemlerinde bazı koşullarda önceden tespit edilen sınırların küçük boyutlarda ve belirli bir süre için aşılmasına izin verilebileceği biliniyor. Bu yaklaşım ile problemin bulanık ortamda ele alınmasının daha uygun sonuçlar verebileceği söylenebilir. Bu bölümde bulanık mantık konusu, amaçlar ve kısıtlamaların bulanık kümeler ile modellenmesi incelenmiştir.

4.2 Bulanık Mantık

20. yüzyılın ikinci yarısında başlayan bilim adamlarının zekayı taklit etme istekleri onları farklı düşünmeye, farklı çalışmalar içine itti ve klasik mantık uygulamaları dışına çıkılarak yeni arayışlar içine girildi. Önemli çalışmaların yapıldığı bu dönemde “Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)” kavramı ortaya konuldu. İlk olarak 1965 yılında L. A. Zadeh tarafından ortaya konan bulanık mantık kuramına göre, “şeyler ve değerler” gerçeğe daha uygun olarak tanımlanmaya çalışıldı. Zadeh’e göre bulanık mantık; doğrunun, yanlışın, kısaca herşeyin bir derece meselesi olduğunu söyleyen, insani akıl yürütme için bir modeldir. Temelde, sözcükle hesaplama anlamı sunmaktadır. Uzunun, kısanın, siyahın, beyazın, azın, çoğun olduğu bir dünyada kesin olan hiçbir şey yoktur, kesin olan bunların 0 ile 1 arasında değiştiğidir. Bizim bunları tanımlarken kullandığımız ifadeler, sözcükler, miktar belirten betimlemeler, Zadeh’in ortaya koyduğu bulanık mantık kuramı ile matematiksel karşılığını bulur [73-76].

Bulanık mantık, günümüzde, otomatik kontrol sistemleri, bilgi sistemleri, görüntü tarama, eniyileme çalışmaları gibi çok geniş uygulama alanına yayılmıştır [77-79]. En yaygın uygulama alanlarından biri de doğrusal ve doğrusal olmayan denetim sistemleridir. Böylece, insanların karar verme yapısını modelleyerek karar

mekanizmaları oluşturulabilmiş ve sistem performanslarının memnuniyet seviyeleri yükselmiştir. Günlük hayatımızın vazgeçilmezleri arasına giren bir çok ürün, hizmet ve yazılımda farkında olmadan bulanık mantığın nimetlerinden faydalanılıyor ve yoğun şekilde kullanılıyor.

4.3 Bulanıklık ve Bulanık Küme

Elektrik güç sistemleri ile ilgili literatür araştırmaları ve tecrübelerimiz göstermiştir ki sistem üzerinde yapılacak çalışmalarda değişken tipi ve sayısı oldukça fazladır. Bazı koşullarda önceden tespit edilen sınırların küçük boyutlarda ve belirli bir süre için aşılmasına da izin verilebilir. Bu da problemin, bulanık ortamda çok amaçlı eniyileme problemi olarak ele alınabileceğini göstermektedir.

İlk olarak 1965 yılında L. A. Zadeh [73-76] tarafından ortaya konan bulanık küme (fuzzy set) teorisindeki düşünce, bir kesin değere sahip değişken fikri ile değişkenin alabileceği mümkün olan her değere ayarlanmış üyeliğin derecesine sahip bir değişken fikrini yer değiştirmektir. Klasik mantık sistemi ile baktığımızda varlık kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bunun karşılığı 1 ve 0 olarak ifade edilir. Oysaki günlük hayatımızda bunu bu kadar kesin ayırtırmak mümkün olmayabilir. Siyah, beyazın yanında gri ve grinin tonları da vardır ve bunları da dikkate almamız gerekir. Bulanık mantıkta da küme ve alt küme kavramları vardır. Bulanık mantıkta, klasik mantığa göre kümenin genişlemesi söz konusudur ve her bir varlığın üyelik derecesi vardır. Varlıkların üyelik derecesi 0 ile 1 arasında herhangi bir değer alabilir ve üyelik fonksiyonu ile gösterilir. Bulanık küme de bu üyelik fonksiyonu ile temsil edilir.

Bulanık küme $\tilde{A}$, sıralanmış çiftler kümesidir.

$$\tilde{A} = \{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) \mid x \in X\} \quad (4.1)$$

Burada $\mu_{\tilde{A}}(x)$, x kesin sayılarının $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki üyelik dereceleridir veya $\tilde{A}$ da x 'in üyeliğinin derecesi olarak adlandırılır.

Eğer, $\tilde{A} \quad R \in (-\infty, +\infty)$ 'da söz konusu kümenin bir elemanı ise $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu $R \rightarrow [0, 1]$ aralığında oluşur. Diğer bir deyişle $\tilde{A}$ kümesi $\tilde{A} = [a1, a3]$ aralığında ise genel olarak $\mu_{\tilde{A}}(x)$ üyelik fonksiyonu aşağıdaki gibi gösterilebilir.

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x < a_1 \\ 1 & a_1 \leq x \leq a_3 \\ 0 & x > a_3 \end{cases} \quad (4.2)$$

Üyelik fonksiyonları değişik şekiller alabilir. En yaygın kullanılanları, üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonlarıdır [73-81].

Klasik eniyileme yöntemlerinde amaç; $f(x,u)$ fonksiyonunu eniyile öyle ki,

$$g(x,u)=0 \quad (4.3)$$

$$h(x,u) \leq 0 \quad (4.4)$$

şeklinde ifade edilir. Burada; x sistem değişkenlerini, u kontrol değişkenlerini, $f(x,u)$ amaç fonksiyonunu, $g(x,u)=0$ eşitlik kısıtlamalarını ve $h(x,u) \leq 0$ eşitsizlik kısıtlamalarını ifade etmektedir.

Amaç fonksiyonları topluluğunun sistematik olarak ve aynı anda eniyilenmesi işlemi, çok amaçlı eniyileme olarak adlandırılır. Çok amaçlı eniyileme problemi aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\underset{x}{\text{Minimize}} \quad F(X) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]^T \quad (4.5)$$

öyle ki;

$$g_j(x,u)=0 \quad j = 1,2,\dots,m \quad (4.6)$$

$$h_l(x,u) \leq 0 \quad l = 1,2,\dots,e \quad (4.7)$$

burada k , amaçların sayısı, m eşitlik kısıtlamalarının sayısı, e , eşitsizlik kısıtlamalarının sayısıdır. Uygun çözüm, hiç bir kısıtlama ihlalinin olmadığı bir çözümdür. Amaçları bir arada almak için mühendislik problemlerinin çözümünde literatürde bir çok yöntem vardır [82]. En yaygın kullanılan yöntemlerden biri ağırlık katsayılarının kullanıldığı ağırlıklı toplam yöntemidir ve 3. bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

Amaçlanan çalışmada, çok amaçlı en iyileme problemi bulanık ortamda ele alınacaktır. Bulanık ortamda ele alınan eniyileme problemlerinde, amaç fonksiyonu ve kısıtlamalar, bulanık kümeler ile modellenir. Kısıtlamaların üyelik fonksiyonları μ_{C_i} ve amaçların üyelik fonksiyonları μ_{G_i} ise bu durumda bulanık ortamda karar;

$$\mu_D = \min [\mu_{C_i}, \mu_{G_i}] \quad (4.8)$$

biçiminde elde edilir. En iyilemeli çözüm, en yüksek bulanık karar μ_D değeri ile tanımlanır ve en iyileme problemi, bulanık kısıtlılıklar altında maksimum değerlerin elde edilmesi problemine dönüşür. Burada çözümdeki memnuniyeti ifade eden optimal çözüm, karara ilişkin üyeliğin en yüksek derecesine sahip bir çözüm olarak tanımlanır. Böylece optimal karar;

$$\max \mu_D \quad (4.9)$$

olarak elde edilir [73-81].

Böylece, elektrik güç sistemi eniyileme problemi, göz önüne alınan amaçlar doğrultusunda çok amaçlı eniyileme problemi olarak oluşturularak bulanık ortamda ele alınacaktır. Oluşturulan bulanık eniyileme probleminin çözümünde ise evrimsel algoritmalarından olan ateşböceği algoritması kullanılacak ve aynı zamanda genetik algoritma ile de çözüm yapılarak sonuçlar kıyaslanacaktır.

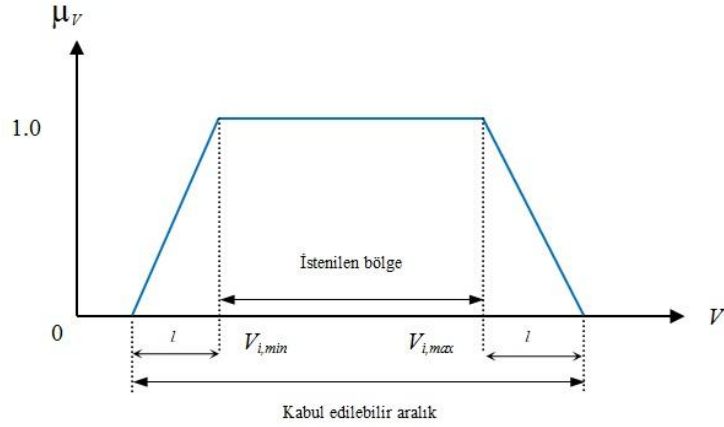
4.4 Eniyileme Probleminde Kullanılacak Üyelik Fonksiyonları

En yaygın kullanılan üyelik fonksiyonlarının üçgensel ve yamuk üyelik fonksiyonları olduğu bulanık mantık konusu anlatırken bahsedilmişti. Bu fonksiyonların yanı sıra kullanılacak diğer bir fonksiyon ise logaritmik üyelik fonksiyonudur. Her bir amaç için belirlenen üyelik fonksiyonları aşağıda ayrı ayrı tanımlanmaktadır.

4.4.1 Bara gerilimi üyelik fonksiyonu

Elektrik güç iletim ve dağıtım sistemlerinde bara gerilimlerinin nominal değerde olması istenir. Nominal değerler dışında yapabileceği salınım yönetmeliklerle [4] tespit edilmiş olup alt ve üst limitleri vardır. Bu limitler dikkate alındığında üyelik fonksiyonuna ait eğri aşağıdaki gibi ifade edilebilir [77, 78, 81].

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad i \in n \quad (4.10)$$



Şekil 4.1 : Bara gerilimi üyelik fonksiyonu.

Bara gerilimi üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_V = \begin{cases} 0 & \dots\dots V_i \leq V_i^{\min} - l \\ \frac{V_i - (V_i^{\min} - l)}{l} & \dots\dots V_i^{\min} - l < V_i < V_i^{\min} \\ 1 & \dots\dots V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \\ 1 - \frac{V_i - V_i^{\max}}{l} & \dots\dots V_i^{\max} < V_i < V_i^{\max} + l \\ 0 & \dots\dots V_i \geq V_i^{\max} + l \end{cases} \quad (4.11)$$

4.4.2 Arıza akımı üyelik fonksiyonu

İletim ve dağıtım sistemlerinde arıza akımına karşı koruma görevi kesici ve röle kombinasyonu tarafından gerçekleştirilir. Sistem güvenliği açısından kesicilere büyük görev düşmektedir. Genişleyen güç sistemlerinde arıza akımlarının değeri artmakta ve zaman zaman kesicilerin açma kapasitelerinin üzerine çıkabilmektedir. Arıza akımlarının kesici açma kapasiteleri üzerine çıkması sistem güvenliğini tehlikeye sokmakta olup bu şartlar altında çalışmaya izin verilmemektedir. Elektrik güç sistemlerinde, oluşan arıza akımı ve kesicilerin açma sayısı arasında yakın bir ilişki vardır ve bunlar üretici firma tarafından katalog değeri olarak verilirler. Çalışmamızda, arıza akımı üyelik fonksiyonunu belirleyebilmek için iletim hattında kullanılan kesiciler için üretici firmaların katalog bilgileri incelenmiştir. Yapılan incelemede 30 yıl için veya M1 sınıfı bir kesici 2,000 mekanik açma, M2 sınıfı bir

kesici için ise 10,000 mekanik açma değerleri olduğu görülmüştür. Arıza akımına maruz kalarak mekanik açma oluşması durumunda ise kesici ömrü için eşitlik 4.2 kullanılır [83, 84].

$$\sum n.I^k = T \quad (4.12)$$

n : kısa devre sayısı

I : arıza akımının değeri (kA - rms)

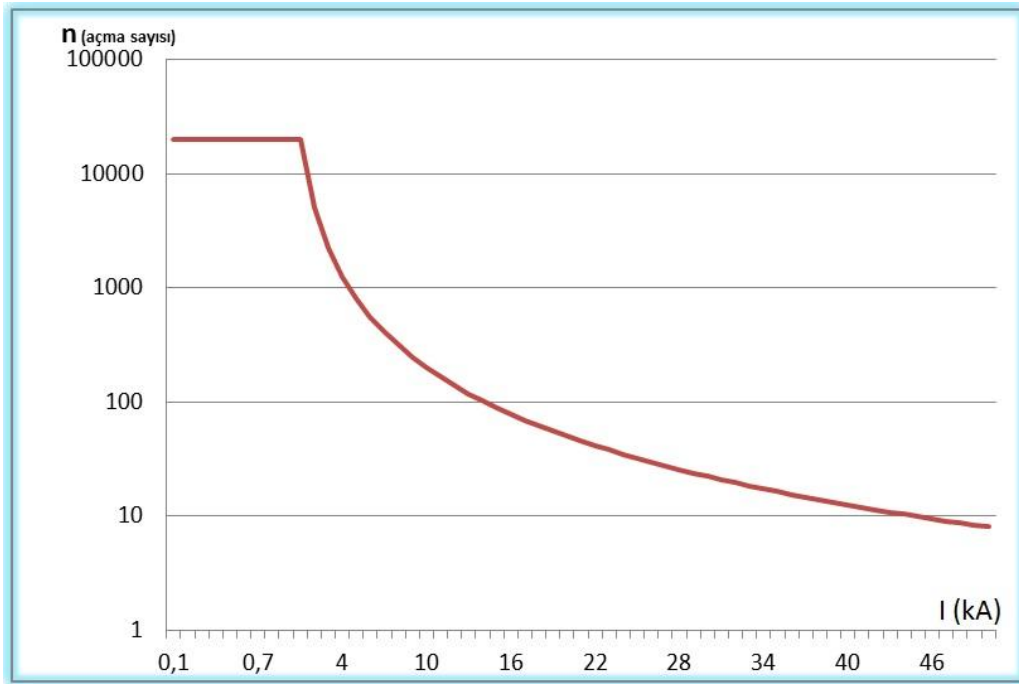
k : 1,8 - 2 arasında üstel değer

T : kesicinin izin verilen toplam mekanik açma sayısı

Bu durumda, $T=20,000$ olan kesici için eşitlik aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\sum n.I^2 = 20,000 \quad (4.13)$$

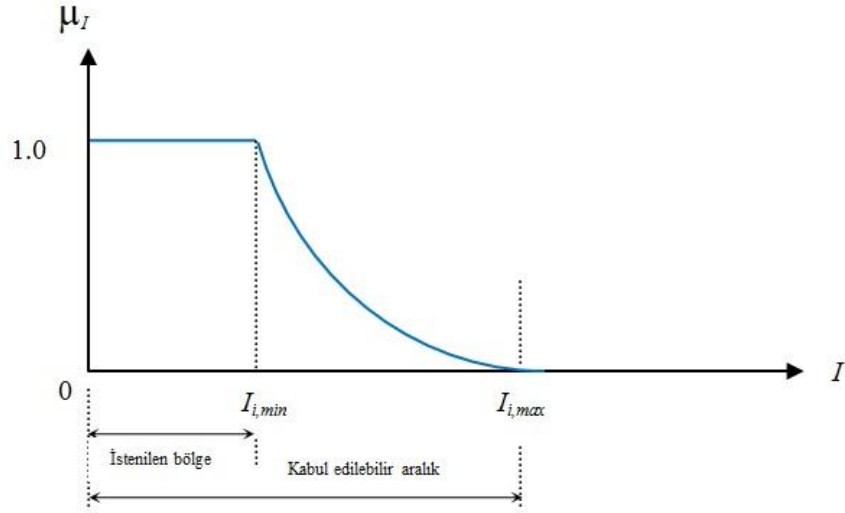
Nominal akımı 4,000 A olan bir kesici için yukarıdaki eşitliği kullandığımızda 1,250 açma sayısına ulaşılır. Bu da kesicinin nominal akım değerinde sorunsuz 1,250 açma yapabileceğini gösterir. 4.13 eşitliği kullanılarak arıza akımı ile açma sayısı arasındaki ilişkiyi gösteren eğri şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 : Kesicinin mekanik açma sayısının akım ile değişimi.

İletim hattındaki kesici için imalatçı firmanın verdiği katalog bilgileri kullanılarak bulunan şekil 4.2'deki eğri, aynı zamanda arıza akımı üyelik fonksiyonu için de kullanılabilir. Çünkü, kesicinin maruz kalacağı arıza akımına göre açma kapama sayılarını gösterdiği için bir anlamda doğrudan memnuniyet ile de ilişkilidir.

Şekil 4.2'de bulunan eğriden faydalanarak oluşturulan bara arıza akımına ait üyelik fonksiyonu şekil 4.3'teki gibi gösterilebilir.



Şekil 4.3 : Bara arıza akımı üyelik fonksiyonu.

İmalatçı firma katalog bilgileri kullanılarak bulunan bara arıza akımı üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

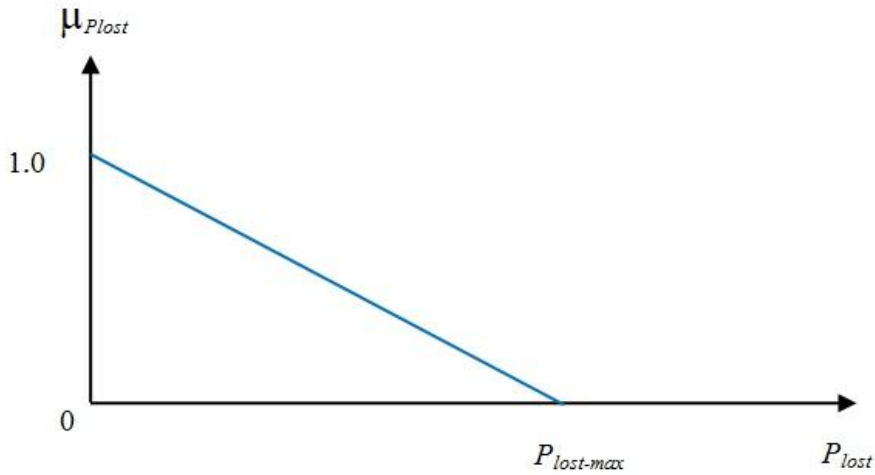
$$\mu_I = \begin{cases} 1 & I_i \leq I_i^{\min} \\ \frac{CxT}{I_i^2} & I_i^{\min} < I_i \leq I_i^{\max} \\ 0 & I_i > I_i^{\max} \end{cases} \quad (4.14)$$

Arıza akımı için bulunan üyelik fonksiyonu, aynı zamanda kesicinin ömür eğrisidir. Öyleyse, arıza akımlarında memnuniyetin yükseltildiği oranda kesici ömründe de iyileşme olacaktır. Arıza akımı üyelik fonksiyonundaki yüksek memnuniyet, güç sisteminde arz güvenilirliğini arttıracak gibi kesici ömrünü uzatarak işletme maliyetlerini de düşürecektir.

4.4.3 Kayıplar (P_{lost} , Q_{lost}) için üyelik fonksiyonu

Elektrik güç sistemlerinin işletiminde sistem donanımı kısıtlarının yanı sıra mümkün olduğunca daha ekonomik işletimin de başarılması gerekir. Enerji, tüketiciye en az kayıpla ulaşmalıdır. Bu nedenle, gerilimlerin limitler içinde tutulması, arıza akımlarının düşürülmesi ve kesici ömrünün uzatılmasının yanı sıra iletim kayıplarının en alt seviyede tutulabilmesi de önemlidir. Bu sebeple, yapılan çalışmada kayıpların artmaması ve mümkünse düşürüleceği işletme koşullarının bulunması şartı, amaçlar arasına dahil edildi. Güç sistemi bir bütün olarak ele alındığında, iletim hatlarının taşıma kapasiteleri de dikkate alınarak, sistemdeki toplam kayıpların düşürülmesine yönelik bir yaklaşım amacın gerçekleşmesi için yeterli olacaktır. Bu yaklaşım ile aktif güç kayıpları toplamı (ΣP_{lost}) ve reaktif güç kayıpları toplamı (ΣQ_{lost}) için ayrı ayrı tanımlanan üyelik fonksiyonları aşağıdaki gibidir [78, 80, 81].

Toplam aktif güç kaybının 0 olduğu durumun üyelik değerini 1 olarak alırsak, kayıpların maksimum olduğu durum için ise üyelik değeri 0 olur.



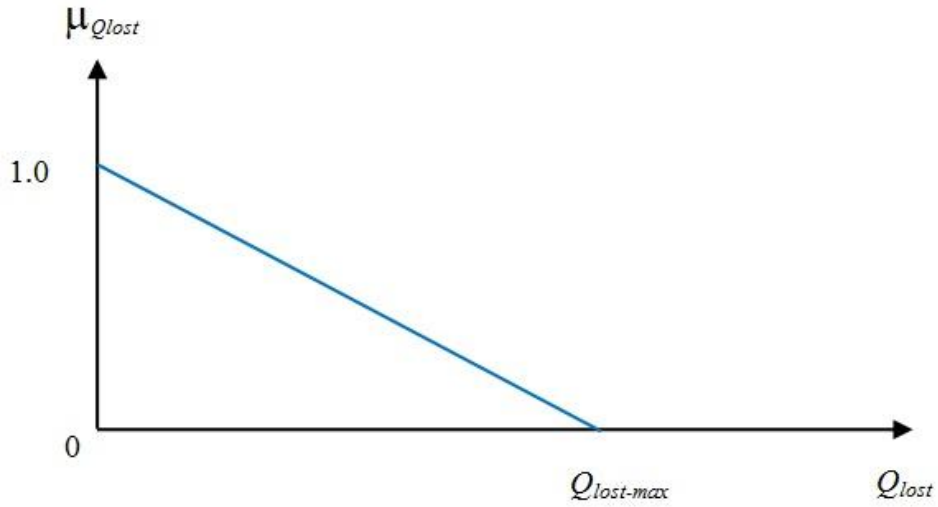
Şekil 4.4 : Toplam aktif güç kaybı üyelik fonksiyonu.

Toplam aktif güç kaybı üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{P_{lost}} = \begin{cases} 1 - \frac{P_{lost}}{P_{lost,max}} & \dots\dots 0 < P_{lost} \leq P_{lost,max} \\ 0 & \dots\dots P_{lost} > P_{lost,max} \end{cases} \quad (4.15)$$

Eşitlik 4.15'te verilen $P_{lost,max}$ değeri, sistem eniyilemesi yapılmadan önce, mevcut işletme koşullarındaki toplam aktif kaybı göstermektedir. Diğer bir değişle temel duruma ait toplam aktif kayıptır. Tanımlanan toplam aktif güç kaybı üyelik fonksiyonu ile mümkün olduğunca $P_{lost,max}$ değerinden daha küçük bir değer veren çözüm bulunmaya çalışılarak memnuniyet oranı yükseltilecektir.

Benzer şekilde, toplam reaktif güç kaybının 0 olduğu durumun üyelik değerini 1 olarak alırsak, reaktif kayıpların (ihtiyacın) maksimum olduğu durum için ise üyelik değeri 0 olur.



Şekil 4.5 : Toplam reaktif güç kaybı üyelik fonksiyonu.

Toplam reaktif güç kaybı üyelik fonksiyonunun matematiksel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\mu_{Q_{lost}} = \begin{cases} 1 - \frac{Q_{lost}}{Q_{lost,max}} & \dots\dots 0 < Q_{lost} \leq Q_{lost,max} \\ 0 & \dots\dots Q_{lost} > Q_{lost,max} \end{cases} \quad (4.16)$$

Eşitlik 4.16'da verilen $Q_{lost,max}$ değeri, sistem eniyilemesi yapılmadan önce, mevcut işletme koşullarındaki toplam reaktif kaybı (ihtiyacı) göstermektedir. Diğer bir değişle temel duruma ait toplam reaktif kayıptır. Tanımlanan toplam reaktif güç kaybı üyelik fonksiyonu ile mümkün olduğunca $Q_{lost,max}$ değerinden daha küçük bir değer veren çözüm bulunmaya çalışılarak memnuniyet oranı yükseltilecektir.

5. ENİYİLEME PROBLEMİNİN OLUŞTURULMASI

5.1 Giriş

Çalışmada, genişleyen güç sistemlerinde bozucu etkinin oluşması durumunda en az tüketiciyi etkileyen, zincirleme açmalara neden olmayacak, arıza akımlarının sınır değerler altında kalacağı, güvenilir çalışma koşullarının bulunması hedeflenmiştir. Özellikle, sistem genişlemesi esnasında inşaa edilen yeni ve paralel hatlar, yeni üretim noktaları kısa devre akımlarını yükseltmektedir. Kısa devre akımlarının da incelemeye dahil edildiği, duyarlılık analizinin yapıldığı, bulanık küme yaklaşımı ile çoklu amaç fonksiyonun tanımlandığı ve ateşböceği ve genetik algoritma ile de eniyilemenin yapıldığı yöntem bu tez çalışması ile gerçekleştirildi. Çalışmamıza konu olan yöntemde kullanılan çok amaçlı fonksiyonlar ve kısıtlamalar bu bölümde tanımlanmıştır.

5.2 Amaç Fonksiyonları

Eniyileme probleminde, esas olarak arıza akımlarının kesici kesme kapasitesinden mümkün olduğunca aşağıda kalmasının hedeflenmesinin yanı sıra, sürekli hal çalışma koşulları altında toplam aktif ve reaktif kaybın da azaltılması sistem işleticileri tarafından istenmektedir. Bu nedenle çok amaçlı olarak ele alınan problemde amaç fonksiyonlarını f_1 , f_2 , ve f_3 ile gösterirsek, bu fonksiyonların kısıtlar altında minimum olduğu durumu veren çözüm grubu istenilen sonuç olacaktır.

$$\min F = [f_1, f_2, f_3] \quad (5.1)$$

Bara arıza akımı, aktif kayıp ve reaktif kayıp sırasıyla f_1 , f_2 , ve f_3 fonksiyonları olarak gösterilmiş olup matematiksel ifadeleri aşağıdaki gibidir.

5.2.1 Bara arıza akımı (f_1)

i barasının arıza akımı veya kısa devre gücü eşitlik 5.2 ile ifade edilir [85, 86].

$$SCC = \sqrt{3} V_i I_{i-F} 10^{-3} \text{ MVA} \quad (5.2)$$

Burada;

V_i : i nci bara gerilimi [kV],

I_{i-F} : i nci barada meydana gelen simetrik 3-fazlı arıza akımı [A].

Simetrik 3 faz kısa devre bara arıza akımının ifadesi ise aşağıdaki gibidir.

$$f_1 = I_{i-F} = \frac{V_{i-0}}{Z_{ii}} \quad (5.3)$$

Burada;

V_{i-0} : arıza öncesi i nci bara gerilimi [pu],

Z_{ii} : arıza noktasından görünen empedans [pu].

Bara arıza akımını hesaplamada kullanılacak bara geriliminin değeri IEC 60909 nolu standartta belirlenmiştir. Standartta göre, arıza akımını maksimum ve minimum yapan gerilim faktörü “c” ile tanımlanmıştır. c katsayısı, 1.0 veya 1.1 olabilir. Hesaplamalarda, c=1.1 ve Un=1.0 pu olarak alınmış ve dolayısıyla c*Un=1.1 pu olarak kabul edilmiştir [87, 88]. Tüm incelemelerimizde bu değer kullanılacaktır.

5.2.2 İletim hatları kayıpları (f_2 ve f_3)

Güç sistemindeki toplam aktif güç kaybı, baralar arasındaki aktif güç kayıplarının toplamına eşittir ve eşitlik 5.5’teki gibi ifade edilir [85, 86].

$$P_{k-kayıp} = G_k (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)) \quad (5.4)$$

$$f_2 = P_{kayıp} = \sum_{k=1}^{nl} P_{k-kayıp} \quad (5.5)$$

Güç sistemindeki toplam reaktif güç kaybı (ihtiyacı) ise eşitlik 5.7’teki gibi ifade edilir.

$$Q_{k-kayıp} = B_k (V_i^2 + V_j^2 - 2V_i V_j \cos(\delta_i - \delta_j)) \quad (5.6)$$

$$f_3 = Q_{kayıp} = \sum_{k=1}^{nl} Q_{k-kayıp} \quad (5.7)$$

Bu denklemlerde;

nl : sistemde yer alan hat sayısı,

G_k : k ncı hattın kondüktansı,

B_k : k ncı hattın süseptansı,

δ_i : i barasının faz açısı

δ_j : j barasının faz açısı

i ve j : k ncı hattın bağlı olduğu gönderici ve alıcı uç bara numaraları.

5.3 Kısıtlamalar

Ortaya konulan amaç fonksiyonlarını minimum yapan çözüm veya çözümler aranırken güç sistemlerinde uyulması gereken bazı koşullar mevcuttur. Bu koşullar, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları olarak karşımıza çıkar ve çözüm bu kısıtlar altında aranır. Çalışmamızda dikkate alınan eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamaları aşağıda verilmiştir.

5.3.1 Eşitlik kısıtlamaları

Sistem işletiminde toplam üretilen güç, sistemdeki toplam yük ve toplam kayıpları karşılamalıdır. Bu nedenle incelemelerde, sistemdeki aktif ve reaktif güç dengesine ilişkin sistem eşitlikleri de eşitlik kısıtlaması olarak göz önüne alınmıştır. Bu denklemler aynı zamanda yük akışı denklemleri olarak ta bilinirler [85, 86].

Güç sisteminin i nci barasına enjekte edilen aktif ve reaktif güç eşitlikleri ise 5.8 ve 5.9'da verilmiştir.

$$P_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \cos(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.8)$$

$$Q_i = \sum_{j=1}^n V_i V_j Y_{ij} \sin(-\theta_{ij} - \delta_j + \delta_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.9)$$

Bu denklemlerde;

n : toplam bara sayısı,

$\dot{Y}_{ij} = Y_{ij} \angle \theta_{ij}$: bara admitans matrisinin i nci satır j nci sütün elemanı.

Evrimsel algoritmaların güç sistemi eniyilemesi problemlerindeki uygulamalarında, eşitlik kısıtlamaları yük akışı çözümü ile sağlanır.

Güç sistemleri, temel olarak üretim baraları, tüketim baraları, transformatörler ve iletim hatlarından oluştuğu düşünülebilir. Yük akışı analizi ile belirli bir çalışma ve sistem durumu için, iletim hatlarındaki güç akış bilgileri ve bara gerilimleri bulunabilir. Gelişen bilgisayar teknolojisi ile bu hesaplamalar sayısal analiz yöntemleri ile yapılmaktadır. Yük akışı analizinde sistem baraları yük baraları (PQ barası), üretim baraları (PV barası) ve referans (salınım barası) olarak gruplandırılır. Salınım barasının aktif gücü değişkendir ve diğer santrallerin aktif üretimi ile aktif yüklerle aktif kayıpların toplamı arasındaki farka eşittir [85, 86].

5.3.2 Eşitsizlik kısıtlamaları

Elektrik güç sistemlerinde, sistemin güvenli işletiminin gerçekleştirilebilmesi için kullanılan fiziksel donanımın (kesiciler, transformatörler, iletkenler gibi) büyüklüklerine ilişkin kısıtlamalara uyulmalıdır. Sistem büyüklüklerinin sınırlarını yansıtan eşitsizlik kısıtlamaları aşağıda verilmiştir.

$$V_i^{\min} \leq V_i \leq V_i^{\max} \quad i \in n \quad (5.10)$$

$$Q_{g,i}^{\min} \leq Q_{g,i} \leq Q_{g,i}^{\max} \quad i \in ng \quad (5.11)$$

$$Q_{C,i}^{\min} \leq Q_{C,i} \leq Q_{C,i}^{\max} \quad i \in nc \quad (5.12)$$

$$P_{g,i}^{\min} \leq P_{g,i} \leq P_{g,i}^{\max} \quad i \in ng \quad (5.13)$$

$$t_i^{\min} \leq t_i \leq t_i^{\max} \quad i \in ntr \quad (5.14)$$

$$S_i \leq S_i^{\max} \quad i \in nl \quad (5.15)$$

$$I_{i-cb} \leq I_{i-cb}^{\max} \quad i \in ncb \quad (5.16)$$

Bu denklemlerde;

V_i : i nci bara gerilim genliği,

$Q_{g,i}$: i nci generator barası reaktif güç üretimi,

$Q_{C,i}$: i nci baradaki şönt kapasitör reaktif güç üretimi,

$P_{g,i}$: i nci generator barası aktif güç üretimi,

t_i : i nci transformatör kademe ayarı,

S_i : i nci hat güç akışı,

I_{i-cb} : i nci kesici kısa devre akımı.

5.4 Kontrol Değişkenleri

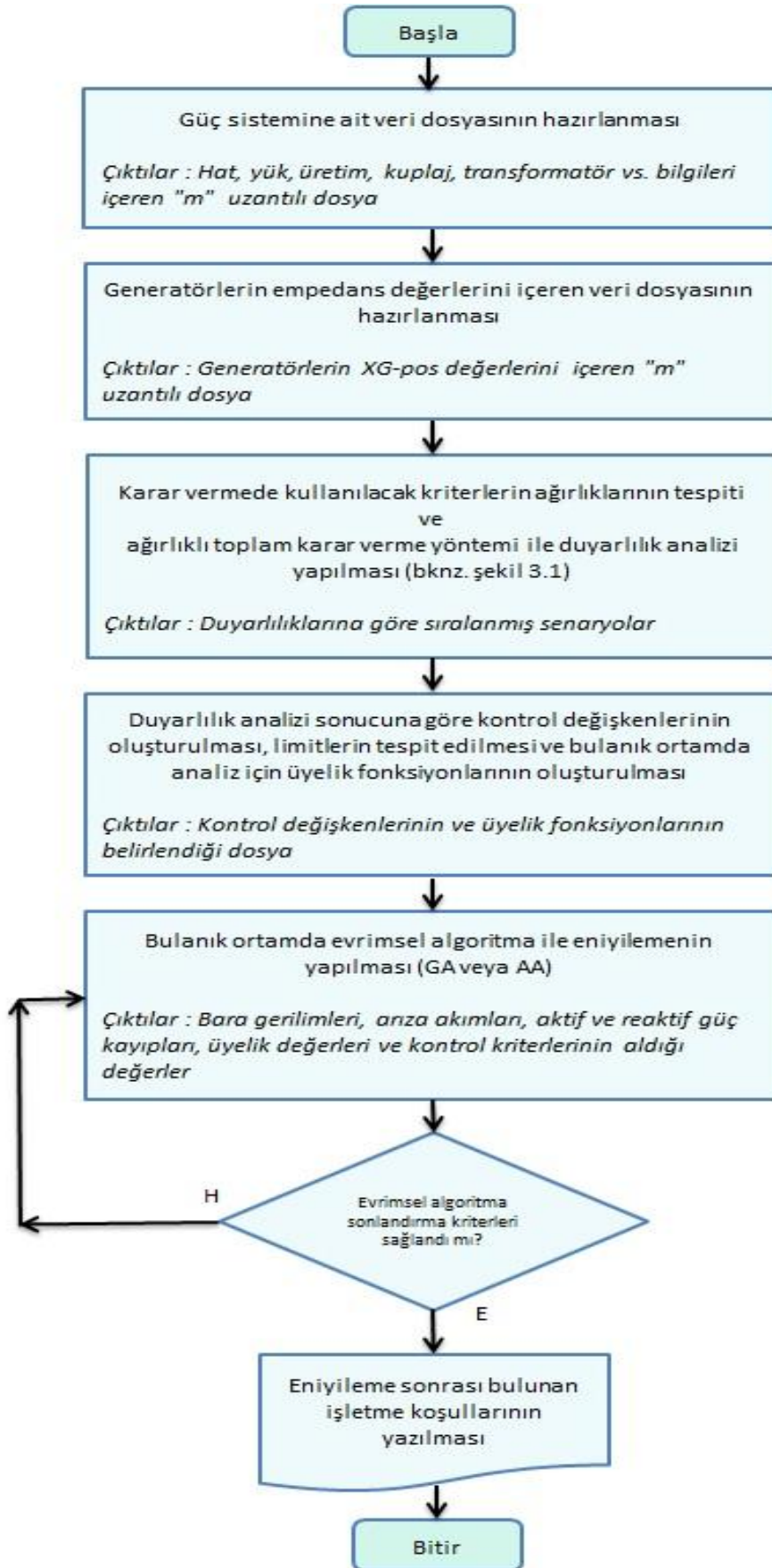
Güç sisteminin eniyilenmesinde çeşitli müdahaleler ile en uygun işletme durumunun elde edilmesine çalışılmaktadır. En iyi çalışma durumunun elde edilmesinde kullanılması hedeflenen kontrol değişkenleri, generator bara gerilimlerinin genlikleri, aktif ve reaktif üretim değerleri, transformatör kademeleri, baralar arası kuplajların açılması veya kapatılması ve sistem için yeni bir topoloji oluşturmak amacıyla uygun hatların anahtarlanarak devre dışı bırakılması ya da devreye alınması olarak sayılabilir. Belirlenen bu kontrol değişkenleri kullanılarak en iyi işletme şartlarının bulunması hedefimizdir. Problemin çözümünde kullanılan kontrol değişkenlerinin alt ve üst limitleri çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1 : Eniyilemede kullanılan kontrol değişkenleri.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Açıklama 1	Açıklama 2
1	tap	0,9	1,1	Transformatör gerilimi ayar aralığı (p.u)	Kaç adet olacağı transformatör sayısına göre belirlenir
2	V _g	0,94	1,06	Üretim barası gerilimi ayar aralığı (p.u)	Üretim barası sayısına göre belirlenir (salınım barası hariç)
3	P _g	P _{gmin}	P _{gmax}	İlgili üretim barasının üretim limitleri (MW)	Üretim barası sayısına göre belirlenir (salınım barası hariç)
4	C _{ij}	0	1	i ve j nolu baralar arasındaki kuplajın pozisyonu	Sayısı duyarlılık analizi sonuçlarına göre belirlenir
5	S _{ij}	0	1	i ve j nolu bara arasındaki hattın pozisyonu	Sayısı duyarlılık analizi sonuçlarına göre belirlenir

5.5 Yöntemin Akış Şeması

Elektrik güç sistemlerinde sistem genişlemesi koşulları altında işletmenin eniyilenmesi için yeni akıllı yöntem uygulamasına ait akış şeması şekil 5.1’de verilmiştir. Verilen akış şemasının uygulaması, MATLAB ortamında [102] geliştirilen kodlar kullanılarak yapılmıştır. Güç sisteminin analizi ise MATLAB’ın güç sistemleri simülasyon paketi olan MATPOWER [103] kullanılarak yapılmıştır.



Şekil 5.1 : Yeni akıllı yöntem uygulamasına ait akış şeması.

6. ENİYİLEME PROBLEMİNİN EVRİMSEL ALGORİTMALAR İLE ÇÖZÜMÜ

6.1 Giriş

Genetik veya evrimsel yöntemlerle ilgili araştırmalar ilk olarak 1948 yılında Alan Turing tarafından ortaya konulmuştur. 1962 yılında ise Bremermann, evrimsel ve rekombinasyon yöntemlerini kullanarak eniyileme çalışmasında bilgisayar ile hesaplama denemeleri yapmıştır. 1960'lı yıllarda konu ile ilgili çalışmalara devam edilmiş ve farklı yerlerde yapılan farklı çalışmalarda, temeli aynı noktaya dayanan üç farklı uygulama ortaya çıkmıştır [89]. Bunlardan biri Amerika'da Fogel Owens ve Walsh tarafından tanıtılan evrimsel programlama (evolutionary programming) dır. John Holland benzer çalışmayı yapmış ve genetik algoritma (genetic algorithm) olarak adlandırmıştır. Aynı dönemde Almanya'da ise Rechenberg ve Schwefel aynı konu üzerine çalışarak evrimsel stratejiler (evolution strategies) çalışmalarını tanıtmışlardır. 1990'lı yıllara kadar devam eden bu çalışmalarda görüldü ki temeli aynı olan bu teknoloji, farklı sunumlarla karşımıza çıkıyordu. Dialekt farklılığını ortadan kaldırmak adına evrimsel hesaplama (evolutionary computing) adı altında çalışılan bu fikirler birleştirildi ve 1990'lı yıllarda Koza'nın çalışmaları ile genetik programlama (genetic programming) adını aldı. Çağdaş terminolojide, evrimsel hesaplamaların ve algoritmaların tamamına ise evrimsel algoritma (evolutionary algorithm) ismi verildi. Evrimsel programlama, evrimsel stratejiler, genetik algoritma ve genetik programlama ifadelerinin tamamı, evrimsel algoritmanın alt alanlarıdır [89].

6.2 Evrimsel Algoritmanın Tanıtımı

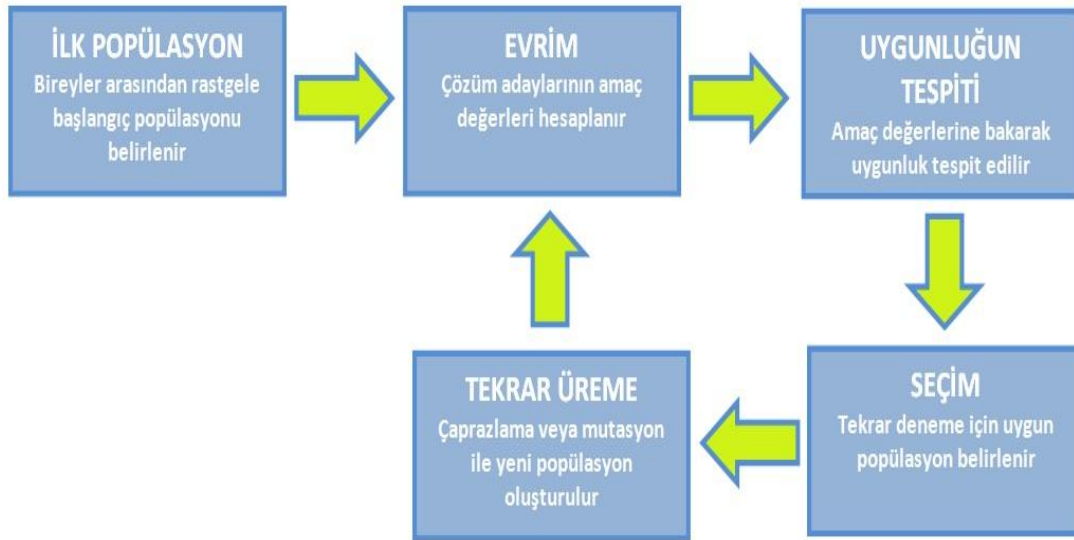
Evrimsel algoritma, yapay zeka oluşturma çalışmaları ile ortaya konulmuş, evrimsel hesaplamaların bir alt kümesidir. Özellikle eniyileme algoritması tabanında geliştirilmiş bir takım teknikler grubudur. Evrimsel algoritma, biyolojik evrimden

esinlenerek üreme, mutasyon, rekombinasyon ve doğal seçilime benzer mekanizmalar kullanır. Popülasyona dayalı, sezgi üstü eniyileme algoritmasıdır [90].

Geleneksel yöntemlerde, probleme bir çözüm adayı önerilir ve onu değiştirerek daha iyi sonuçlar elde edilmeye çalışılır. Evrimsel algoritmalar ise çözüm adayları popülasyonu oluşturur ve bu popülasyon zamanla evrimleşir ve çözüm bunun etrafında aranır. Eniyileme problemlerinin aday çözümleri, bir popülasyondaki bireyleri temsil eder ve seçim değeri fonksiyonları çözümlerin içinde yaşadığı çevreyi belirler. Popülasyonun evrimi, tespit edilen yöntem ile bağlantılıdır ve tekrarlanan uygulama sonrasında gerçekleşir.

6.3 Evrimsel Algoritmada Temel Döngü

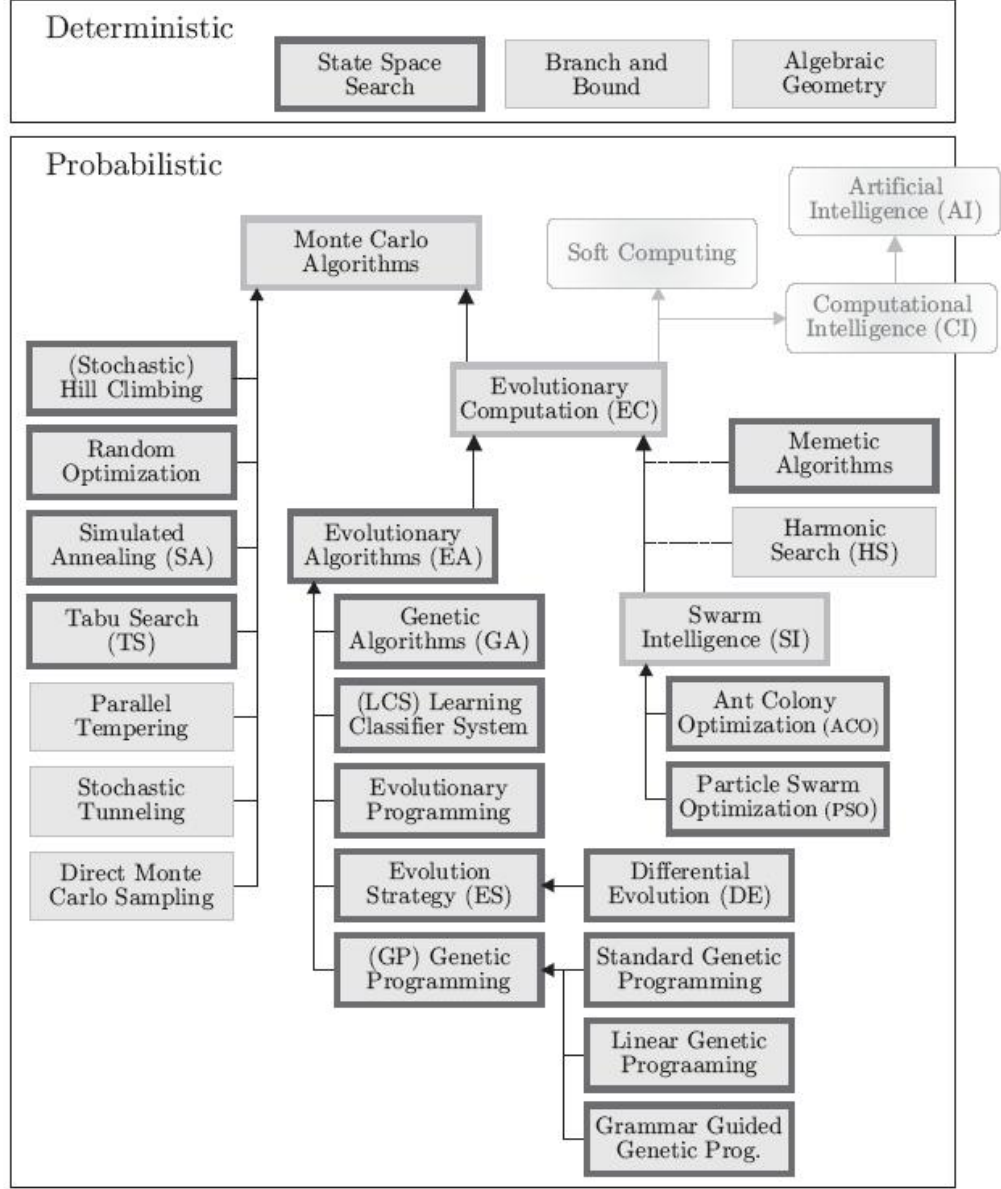
Evrimsel hesaplama yöntemlerinin genel olarak çoklu amaç eniyilemesi için kullanıldığı söylenebilir ve evrimsel çoklu amaç eniyilemesi (Evolution Multi Objective Optimization) olarak adlandırılır. Bu eniyilemenin algoritması şekil 6.1’de gösterildiği gibidir ve tüm evrimsel algoritmalar için geçerlidir [90].



Şekil 6.1 : Evrimsel algoritmada temel döngü.

6.4 Evrimsel Algoritmaların Sınıflandırılması

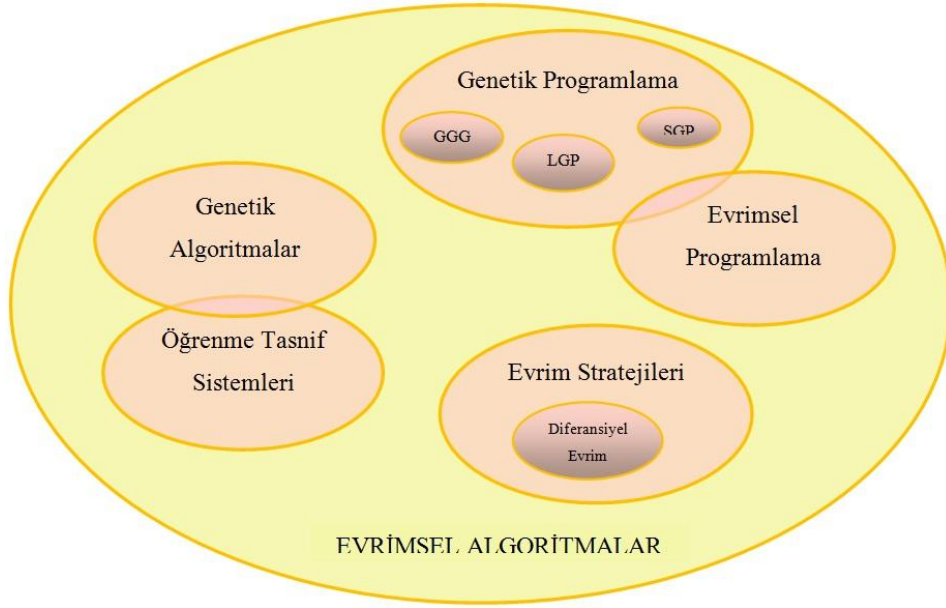
Eniyileme yöntemlerinin genel sınıflandırılması ve bu sınıflandırma içinde evrimsel hesaplama yöntemlerinin yeri ve alt kümeleri şekil 6.2’deki gibidir.



Şekil 6.2 : Eniyileme algoritmalarının sınıflandırılması [90].

Yukarıda gruplanan evrimsel algoritma ailesinin hangi bireyiyle çalışılırsa çalışılsın, her bir yöntemin şekil 6.3’de gösterildiği gibi beş bileşeni vardır [90].

1. Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)
2. Evrim Stratejileri (Evolution Strategies)
3. Genetik Programlama (Genetic Programming)
4. Öğrenme Tasnif Sistemleri (Learning Classifier Systems)
5. Evrimsel Programlama (Evolutionary Programming)



Şekil 6.3 : Evrimsel algoritma ailesinin bileşenleri [90].

Farklı evrimsel algoritmaların kendi semantik yapılarına göre sınıflandırıldığı da bilinmektedir. Diğer bir deyişle bu sınıflandırmaların özel arama tekniklerine ve problem uzayına göre yapıldığı da söylenebilir. Hangi evrimsel algoritma kullanılırsa kullanılsın aşağıdaki 3 madde hepsinde vardır.

- Kullanılan popülasyonun boyutu veya sayısı
- Tekrar üreme için bireyleri seçim yöntemi
- Yeni nesillerin popülasyona dahil olması

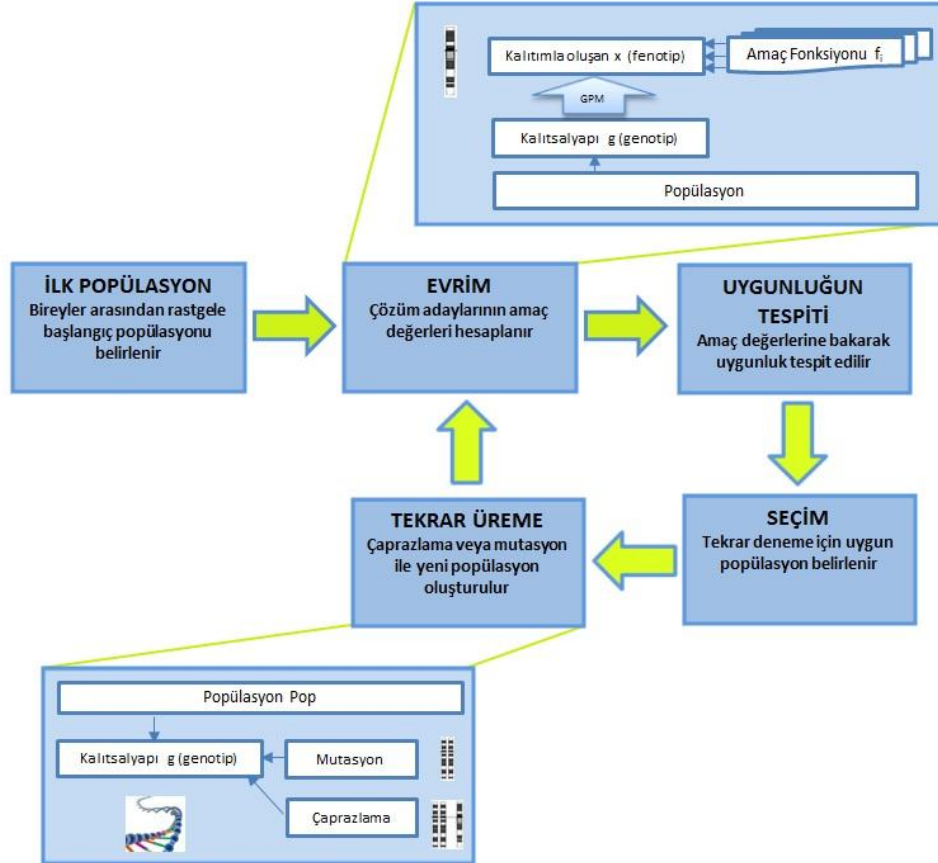
Özel arama tekniklerine ve problem uzayına göre uygulamada farklılık gösteren bazı evrimsel hesaplama çeşitleri aşağıda verilmiştir:

1. Particle Swarm Optimization
2. Ant Colony Optimization
3. Differential Evolution
4. A-Star Search Algorithm
5. FireFly Algorithm
6. Harmony Search Algorithm
7. Monkey Search Algorithm
8. Fly Optimization Algorithm
9. Photosynthetic Algorithm
10. Shuffled Frog Leaping Algorithm
11. Enzyme Algorithm

Doğayı gözlemleyerek geliştirilen algoritmalara ayrıca “Doğadan Esinlenilmiş Algoritmalar – Nature Inspired Algorithms” denir. Yukarıda bahsi geçen veya diğer algoritmaların birden fazlasının bir arada kullanılması ise hibrid algoritma olarak adlandırılır.

6.5 Genetik Algoritmalar

Eniyileme algoritmaları sınıflandırıldığında, genetik algoritmaların, evrimsel algoritmalar ailesinin beş bileşeninden biri olduğu görülür. Temel ilkeleri, John Henry Holland tarafından ortaya atılan genetik algoritmalar, doğal seçim ilkelerine dayanan arama ve eniyileme yöntemidir. Karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre bütünsel en iyi çözümü arar. Genetik algoritma, probleme tek bir çözüm üretmek yerine farklı çözümlerden oluşan çözüm kümesi üretir. Böylelikle, arama uzayında aynı anda bir çok nokta değerlendirilerek sonuçta bütünsel çözüme ulaşma olanağı artmaktadır. Diğer eniyileme yöntemlerinde olduğu gibi çözüm için tek bir yapının geliştirilmesi yerine, böyle yapılardan meydana gelen bir küme oluştururlar [90].



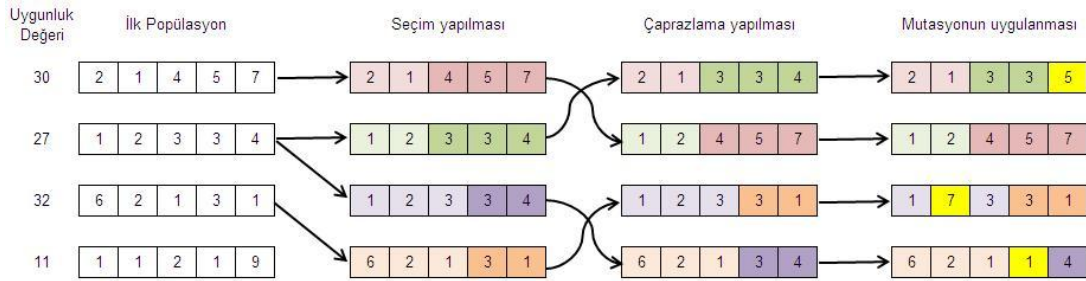
Şekil 6.4 : Genetik Algoritmalar temel döngü [90].

Evrimsel algoritmalarındaki temel döngü, genetik algoritmalar için de geçerlidir. Genetik algoritmalarındaki farklılık, çözüm adaylarının belirlenmesi yani ilk popülasyonun bulunmasında ve tekrar üreme aşamasındaki yeni nesillerin tespitindeki yöntem farklılığından kaynaklanmaktadır. Şekil 6.4'te genetik algoritmalarındaki temel döngü gösterilmiştir.

Genetik algoritmalarda gerek ilk popülasyonu oluşturan çözüm grubunun kodları, gerekse tekrar üreme aşamasındaki yeni nesillerin kodları, kromozom veya birey olarak adlandırılır. İlk popülasyon için çözüm grubu, rastlantısal sayı üreticileri veya olası çözüm gruplarından oluşturulur. Yeni nesil üretmek için ise üç aşamadan geçilir.

1. Amaç fonksiyonunu kullanarak bir önceki nesildeki bireylerin uygunluk değerinin bulunması
2. Bireylerin uygunluk değerlerine göre seçim yapılması
3. Seçilen bireyler ile genetik operatörleri kullanılarak yeni nesillerin üretilmesi

Genetik algoritmalarda kullanılan genetik operatörler; seçim (selection), çaprazlama (crossover) ve mutasyon (mutation) dur [90-93]. Şekil 6.5'te bu operatörlerin etkisi örnek olarak gösterilmiştir.



Şekil 6.5 : Genetik Algoritmalarla kromozomun değişimi.

6.5.1 Seçim (Selection)

Amaç fonksiyonu kullanılarak tespit edilen uygunluk değerine göre üreme için bireylerin/dizilerin tespit edilmesidir. Bu tespit için, rulet çarkı ile seçim, Boltzman seçimi, turnuva seçimi, rank tabanlı yöntem veya deterministik örnekleme gibi yöntemlerden biri kullanılabilir.

6.5.2 Çaprazlama (crossover)

İki bireyin genetik bilgilerini birleştirerek yeni nesiller üretmek olarak açıklanabilir. Diğer bir deyişle iki kromozomun aralarında gen alışverişinde bulunarak yeni kromozom üretmeleridir. Çaprazlama, bir nokta metodu, iki nokta metodu veya düzgün dağılım metodu kullanılarak yapılabilir.

6.5.3 Mutasyon (mutation)

Belirli bir olasılık dahilinde dizelere/kromozoma rastgele uygulanan deformasyondur ve sağlıklı nesiller/dizeler üretebilmenin yolunu açar. Bir veya birkaç gende değişiklik yapılabilir.

6.6 Ateş Böceği Algoritması

Eniyileme yöntemleri içinde, parçacık sürü eniyilemesi (PSO), ateşböceği algoritması gibi yöntemleri içinde barındıran Doğadan Esinlenen Sezgisel Algoritmalar (Nature Inspired Metaheuristic Algorithms) en güçlü eniyileme algoritmaları arasındadır. Ateşböceği algoritması da bu grup içinde önemli bir yer tutmaktadır.

Doğadan esinlenen sezgisel algoritmalar, özellikle gezgin satıcı problemi gibi NP-Zor eniyileme gibi modern global eniyileme problemlerinin çözülmesinde giderek daha güçlü hale gelmektedir. Örneğin, Kennedy ve Eberhart tarafından 1993'te geliştirilen parçacık sürü eniyilemesi (PSO) doğadaki balık ve kuş eğitimindeki sürü davranışını temel alıyordu. Bu yöntem, günümüzde pek çok eniyileme uygulamasında çözüm bulmak için kullanılmaktadır. Diğer bir örnek, Xin-She Yang tarafından geliştirilen ve pek çok başka algoritmaya göre üstünlük vaat eden "Ateşböceği Algoritması (AA)" dır. Bu çok etmenli algoritmalarındaki arama stratejileri, kontrollü rastgeleleştirme, verimli yerel arama ve en iyi çözümlerin seçilmesidir. Ancak, rastgeleleştirmede tipik olarak tek biçimli dağılım ve Gauss dağılımı kullanılır [94-97].

Diğer yandan, çeşitli çalışmalar pek çok hayvan ve böceğin uçuş davranışının Levy uçuşlarının tipik karakteristiklerini gösterdiğini ortaya koymuştur. Reynolds ve Frye tarafından yakın zamanda gerçekleştirilen bir çalışma, sirke sineklerinin veya *Drosophila melanogaster*'lerin, içinde bulundukları ortamı ani 90° dönüşlerle

noktalan bir dizi düz uçuş yolu kullanarak araştırdıklarını, bunun da Levy uçuşu tarzı bir kesintili ölçekli serbest arama şablonuna yol açtığını göstermiştir. Ju/'hoansi avcı-toplayıcı toplama şekilleri gibi insan davranışları üzerindeki çalışmalar da Levy uçuşlarının tipik özelliklerini göstermektedir. Işık bile Levy uçuşları ile ilişkilendirilmesi mümkündür. Buna bağlı olarak, bu tür davranışlar eniyilemeye ve eniyiyi aramaya uygulanmış ve ilk sonuçlar umut vaat eden bir kapasiteye sahip olduğunu göstermektedir [94-97].

Ateşböceği algoritmasının, özellikle yüksek gürültülü doğrusal olmayan eniyileme problemlerinde iyi sonuçlar verdiği bilinmektedir. Ateşböceği algoritması geliştirilerek Levy Ateşböceği Algoritması (LAA) elde edilebilir. LAA, doğadan esinlenen sezgisel algoritmaların en güçlülerinden biridir. Parçacık sürü eniyilemesi (PSO) ise LAA'nın özel bir sınıfıdır [58, 59].

6.6.1 Ateş böceklerinin davranışı

Ateşböceklerinin yanıp sönen ışıkları tropik ve ılıman bölgelerde yazları gökyüzünde harika bir manzara sağlar. Yaklaşık iki bin ateşböceği türü vardır ve çoğu ateşböceği kısa ve ritmik şekilde yanıp söner. Yanıp sönmeye şekli genellikle belirli bir türe özgüdür. Yanıp sönen ışık bir biyo-ışım süreci ile üretilmektedir ve bu tür işaretleme sistemlerinin gerçek işlevleri hala tartışılmaktadır. Ancak, bu tür yanıp sönen ışımaların iki temel işlevi, çiftleşme partnerlerini (iletişim) ve potansiyel avları çekmektir. Ek olarak, yanıp sönen ışımalar koruyucu bir uyarı mekanizması görevi de görebilir. Ritmik yanıp sönmeye, yanıp sönmeye hızı ve süresi her iki cinsi bir araya getiren işaret sisteminin bir kısmını oluşturur. Bazı türlerde dişiler bir erkeğin benzersiz yanıp sönmeye şekline tepki verirken, photuris gibi diğer bazı türlerde, dişi ateşböcekleri yanıp sönen ışıkları potansiyel olarak uygun bir eş sanan erkek ateşböceklerini tuzağa düşürmek ve yemek için diğer türlerin çiftleşme sırasındaki yanıp sönmeye şekillerini taklit edebilirler. Ateşböceğinin yanıp sönen ışığı, eniyilenecek amaç fonksiyonu ile ilişkilendirilir ve bu da yeni eniyileme algoritmasının oluşturulmasına olanak sağlar [94-97].

6.6.2 Ateşböceği algoritması

Doğadaki ateşböceklerinden esinlenerek ortaya konulan bu algorithmada, ateşböceklerinin yanıp sönmeye karakteristikleri incelenmiş ve idealize edilmiştir.

Ateşböceği algoritmasını (AA) açıklamada kolaylık sağlanması için, aşağıdaki üç idealize edilmiş kural kullanılır.

1. Tüm ateşböcekleri aynı cinsiyete sahiptir. Böylece, bir ateşböceği cinsiyetinden bağımsız olarak diğer ateşböcekleri tarafından çekilecektir.
2. Ateşböceklerinin çekiciliği parlaklıklarıyla orantılıdır. Böylece, yanıp sönen iki ateş böceğinden daha az parlak olan daha parlak olana doğru çekilecektir. Çekicilik, parlaklıkla orantılıdır ve her ikisi de mesafe arttıkça azalır. Belirli bir ateşböceğinden daha parlak bir ateşböceği yoksa, rastgele hareket edecektir.
3. Bir ateşböceğinin parlaklığı, amaç fonksiyonunun yer aldığı ortama göre belirlenir veya ondan etkilenir. Maksimizasyon problemi için parlaklık, basit bir şekilde amaç fonksiyonunun değeri ile orantılı olabilir. Diğer parlaklık biçimleri ise genetik algoritmalarındaki veya bakteriyel toplayıcılık (yiycek arama) algoritmasındaki (BFA) uyumluluk işlevine benzer şekilde tanımlanabilir.

Ateşböceği algoritmasında iki önemli konu vardır. Işık yoğunluğunun değişimi ve çekicilik. Basitlik sağlamak için bir ateşböceğinin çekiciliğinin, parlaklığına göre belirlendiği varsayılır. Burada parlaklık, kodlanmış amaç fonksiyonu ile ilişkilidir. [94-97].

Maksimum eniyileme problemlerinin en basit örneğinde, bir ateşböceğinin belirli bir x konumundaki, I parlaklığı, uzaklığın bir fonksiyonudur ve $I(x) \propto f(x)$ olarak ifade edilebilir. Ancak, çekicilik β görecelidir. Araştırmacı tarafından görülmelidir veya diğer ateşböcekleri tarafından değerlendirilmelidir. Dolayısıyla, ateşböceği i ile ateşböceği j arasındaki r_{ij} mesafesine göre değişecektir. Ek olarak, ışık yoğunluğu da kaynağından uzaklığa göre azalmaktadır ve ışık, ortam tarafından soğurulmaktadır. Bu yüzden çekiciliğin soğurulma derecesine göre değişmesine izin vermemiz gerekir. En basit halinde, $I(r)$ ışık yoğunluğu, $I(r) = I_s/r^2$ ters kare kanununa göre değişir ve burada I_s kaynaktaki yoğunluk olarak tanımlanır. Sabit bir ışık soğurma katsayısı γ olan bir ortam için, ışık yoğunluğu I , mesafe r 'ye göre değişir. Yani;

$$I = I_0 e^{-\gamma r} \quad (6.1)$$

Burada, I_0 orijinal ışık yoğunluğudur.

Bir ateşböceğinin çekiciliği, komşu ateşböcekleri tarafından görülen ışık yoğunluğuyla orantılı olduğundan, ateş böceğinin çekiciliği olan β 'yı aşağıdaki şekilde tanımlayabiliriz.

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^2} \quad (6.2)$$

Burada, β_0 , $r = 0$ 'daki çekiciliktir.

6.6.3 Levy ateşböceği algoritması-LAA (Levy Firefly Algorithms-LFA)

Ateşböceği algoritmasını anlatırken idealize edilen üç kuralı, Levy uçuşlarının karakteristikleri ile birleştirirsek, yeni bir Levy Ateşböceği Algoritması elde edebiliriz. Bu durum, şekil 6.6'da gösterilen yazılı kod ile özetlenebilir [94].

```

begin
  Objective function  $f(\mathbf{x})$ ,  $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_d)^T$ 
  Generate initial population of fireflies  $\mathbf{x}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ )
  Light intensity  $I_i$  at  $\mathbf{x}_i$  is determined by  $f(\mathbf{x}_i)$ 
  Define light absorption coefficient  $\gamma$ 
  while ( $t < \text{MaxGeneration}$ )
    for  $i = 1 : n$  all  $n$  fireflies
      for  $j = 1 : i$  all  $n$  fireflies
        if ( $I_j > I_i$ )
          Move firefly  $i$  towards  $j$  in  $d$ -dimension via Lévy flights
        end if
        Attractiveness varies with distance  $r$  via  $\exp[-\gamma r]$ 
        Evaluate new solutions and update light intensity
      end for  $j$ 
    end for  $i$ 
    Rank the fireflies and find the current best
  end while
  Postprocess results and visualization
end

```

Şekil 6.6 : Levy Ateşböceği Algoritması (LAA) kodu.

Uygulamada, çekicilik fonksiyonu $\beta(r)$ 'nin gerçek formu, örneğin aşağıdaki genelleştirilmiş formdaki gibi herhangi bir monoton olarak azalan fonksiyon olabilir.

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma r^m}, \quad (m \geq 1) \quad (6.3)$$

Sabit bir γ için, karakteristik uzunluk $m \rightarrow \infty$ iken $\Gamma = \gamma^{-1/m} \rightarrow 1$ olur. Buna karşın, bir eniyileme probleminde belirli bir uzunluk ölçeği Γ için, γ parametresi tipik başlangıç değeri olarak kullanılabilir. Bu da, $\gamma = 1/\Gamma_m$ 'dir.

Sırasıyla x_i ve x_j konumlarındaki iki ateşböceği i ve j arasındaki mesafe, aşağıdaki kartezyen mesafedir.

$$r_{ij} = \|x_i - x_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^d (x_{i,k} - x_{j,k})^2} \quad (6.4)$$

Burada, $x_{i,k}$, i inci uzamsal koordinatı x_i 'nin k 'inci bileşenidir. Zaman çizelgesi oluşturma gibi diğer uygulamalarda mesafe, gecikme veya herhangi bir uygun biçim olabilir.

Daha çekici (parlak) başka bir j ateşböceği tarafından çekilen bir i ateşböceğinin hareketi aşağıdaki eşitliğe göre belirlenir.

$$x_i = x_i + \beta_0 e^{-\gamma r_{ij}^2} (x_j - x_i) + \alpha \text{sign} \left[\text{rand} - \frac{1}{2} \right] \oplus \text{Levy} \quad (6.5)$$

Burada ikinci terim çekime bağlıken, üçüncü terim Levy uçuşları aracılığıyla rastgeleleştirmedir ve α rastgeleştirme parametresidir. Burada $\oplus$ işareti, girdi başına çarpımları gösterir. $\text{Rand} \in [0,1]$ iken $\text{sign}[\text{rand}-1/2]$ ifadesi, temel olarak bir rastgele işareti veya yönü sağlarken, rastgele adım uzunluğu Levy dağılımından alınır.

$$\text{Levy} \sim u = t^{-\lambda} \quad (1 < \lambda \leq 3) \quad (6.6)$$

Bu dağılım sonsuz bir ortalama ile sonsuz bir değişime sahiptir. Burada, ateşböceği hareketinin adımları temel olarak, değişkenler arası fonksiyonel ilişkisi olan rastgele bir süreçtir [94-97].

6.6.4 Parametrelerin seçimi

Uygulamamızdaki çoğu örnek için $\beta_0=1$, $\alpha \in [0, 1]$, $\gamma=1$ ve $\lambda=1.5$ alabiliriz. İlaveten, ölçekler örneğin bir boyutta -105 ila 105 iken, diyelim ki bir başkasında -0.001 ila 0.01 arasında olduğu gibi farklı boyutlar arasında büyük oranda değişiyorsa, α 'yı αSk ile değiştirmek daha uygun olur. Burada d boyutlarındaki ölçeklendirme parametreleri Sk [$k=1, \dots, d$] ilgili problemin gerçek ölçekleri tarafından belirlenecektir.

γ parametresi çekiciliğin değişimini karakterize etmektedir ve aldığı değer yakınsama hızının ve AA algoritmasının nasıl davrandığının belirlenmesinde çok önemlidir. Kuramsal olarak, $\gamma \in [0, \infty)$ dır. Ama pratikte, $\gamma=O(1)$ eniyilemesi

yapılacak sistemin karakteristik uzunluğu Γ tarafından belirlenir. Dolayısıyla, çoğu uygulamada 0.01 ila 100 arasında değişir [94-97].

6.6.5 Asimptotik durumlar

$\gamma \rightarrow 0$ ve $\gamma \rightarrow \infty$ olduğunda iki önemli sınırlayıcı durum vardır. $\gamma \rightarrow 0$ için, çekicilik sabittir $\beta = \beta_0$ ve $\Gamma \rightarrow \infty$, bu da ışık yoğunluğunun idealize edilmiş bir gökyüzünde azalmadığını söylemekle aynı şeydir. Dolayısıyla, yanıp sönen bir ateşböceği, tanım kümesindeki her yerden görülebilir. Böylece, tek bir (genellikle global) optimuma kolaylıkla erişilebilir. Bu, daha önce ele alındığı gibi parçacık sürü eniyilemesinin (PSO) özel bir durumuna karşılık gelir. Buna bağlı olarak, bu özel durumun verimliliği PSO ile aynıdır.

Diğer yandan, $\gamma \rightarrow \infty$ sınırlayıcı durumu $\Gamma \rightarrow 0$ ve $\beta(r) \rightarrow \delta(r)$ 'a yol açar (Dirac delta fonksiyonu), bu da çekiciliğin diğer ateşböceklerinin gözünde neredeyse sıfır olduğu veya ateşböceklerinin uzağı göremediği anlamına gelir. Bu, ateşböceklerinin son derece sisli bir alanda rastgele uçtukları duruma eşittir. Başka ateşböceklerini görmek mümkün değildir ve her bir ateşböceği tamamen rastgele şekilde uçar. Bu yüzden, bu durum tamamen rastgele arama yöntemine karşılık gelir.

Levy ateşböceği algoritması genellikle bu iki uç durumun arasında bir yerde bulunduğundan γ , λ ve α parametrelerinin hem rastgele arama hem de PSO'dan daha iyi şekilde sonuç verecek biçimde ayarlanması mümkündür. Aslında, LAA hem global optimumları hem de yerel optimumları aynı anda son derece verimli bir şekilde bulabilir [94-97].

6.7 LAA'nın GA ve PSO ile Karşılaştırılması

Çeşitli çalışmalar PSO algoritmalarının pek çok eniyileme probleminin çözümünde genetik algoritmalarından (GA) ve diğer klasik algoritmalarından daha başarılı olabileceğini göstermektedir. Bunun nedenlerinden biri, geçerli en iyi tahminler üzerinden yapılan yayılım tekniğinin optimal duruma daha hızlı ve daha iyi yakınsama sağlamasıdır [94-97]. Xin-She Yang'ın çalışmasında ise LAA, GA ve PSO kıyaslaması yapılmıştır. Bu kıyaslama için bilinen bazı matematiksel problemler kullanılmış olup simülasyonlarda tüm algoritmalar için aynı popülasyon sayısı kullanılmıştır. MATLAB programı kullanılarak yapılan bu analizlerde tüm

algoritmalar, tolerans $e \leq 10^{-5}$ olduğunda durmaktadır. Sonuçlar, global optimumlara erişilen aşağıdaki çizelge 6.1’de özetlenmiştir [94].

Çizelge 6.1 : Algoritma performanslarının kıyaslanması.

Fonksiyonlar / Algoritmalar	GA	PSO	LAA
Michalewicz ($d=16$)	$89325 \pm 7914(95\%)$	$6922 \pm 537(98\%)$	$2889 \pm 719(100\%)$
Rosenbrock ($d=16$)	$55723 \pm 8901(90\%)$	$32756 \pm 5325(98\%)$	$6040 \pm 535(100\%)$
De Jong ($d=256$)	$25412 \pm 1237(100\%)$	$17040 \pm 1123(100\%)$	$5657 \pm 730(100\%)$
Schwefel ($d=128$)	$227329 \pm 7572(95\%)$	$14522 \pm 1275(97\%)$	$7923 \pm 524(100\%)$
Ackley ($d=128$)	$32720 \pm 3327(90\%)$	$23407 \pm 4325(92\%)$	$4392 \pm 2710(100\%)$
Rastrigin	$110523 \pm 5199(77\%)$	$79491 \pm 3715(90\%)$	$12075 \pm 3750(100\%)$
Easom	$19239 \pm 3307(92\%)$	$17273 \pm 2929(90\%)$	$6082 \pm 1690(100\%)$
Griewank	$70925 \pm 7652(90\%)$	$55970 \pm 4223(92\%)$	$10790 \pm 2977(100\%)$
Yang	$37079 \pm 8920(88\%)$	$19725 \pm 3204(98\%)$	$5152 \pm 2493(100\%)$
Shubert (18 minima)	$54077 \pm 4997(89\%)$	$23992 \pm 3755(92\%)$	$9925 \pm 2504(100\%)$

LAA’nın daha yüksek başarı oranlarına sahip olduğundan global optimumların bulunmasında çok daha verimli olduğunu görebiliyoruz. Ayrıca, n popülasyon sayısı için 15 ila 50 değerinin yeterli olacağını Xin-She Yang’ın çalışması bize göstermektedir [94]. Bu çalışma bize çeşitli test fonksiyonları için global optimumların bulunmasında parçacık sürü algoritmasının genellikle genetik algoritmalar gibi geleneksel algoritmalarından daha başarılı olduğunu, LAA’nın ise hem verimlilik hem de başarı oranı bakımından PSO ve GA’ya üstün olduğunu göstermektedir.

Levy ateşböceği algoritması son derece verimlidir. Algoritmanın yakınsamasında daha fazla iyileştirme, β_0 , γ , α ve daha ilginç bir şekilde λ gibi çeşitli parametrelerin değiştirilmesiyle hassaslık çalışmaları gerçekleştirilerek yapılabilir. Ek olarak, LAA’nın diğer algoritmalarla birlikte uygulanması üzerine gelecekte yapılacak çalışmalar, eniyileme ile ilgili gelecekteki araştırmalar için heyecan verici bir alan oluşturmaktadır.

7. UYGULAMANIN GERÇEKLENMESİ

7.1 Test Amaçlı Güç Sistemlerinin Tanıtımı

Genişleyen güç sisteminde, uygun işletme koşullarının bulunabilmesi ve arıza akımının düşürülebilmesi için ortaya koyduğumuz yöntem, ilk etapta IEEE 30 baralı test sistemi üzerine uygulandı. Ardından, IEEE 118 baralı büyük test sistemi üzerinde denendi ve son olarak ta Trakya güç sistemi üzerinde de test edildi. Çalışmaların yapıldığı test sistemlerinin ve Trakya güç sisteminin tanıtımları aşağıda verilmiştir.

7.1.1 IEEE 30 baralı test sistemi

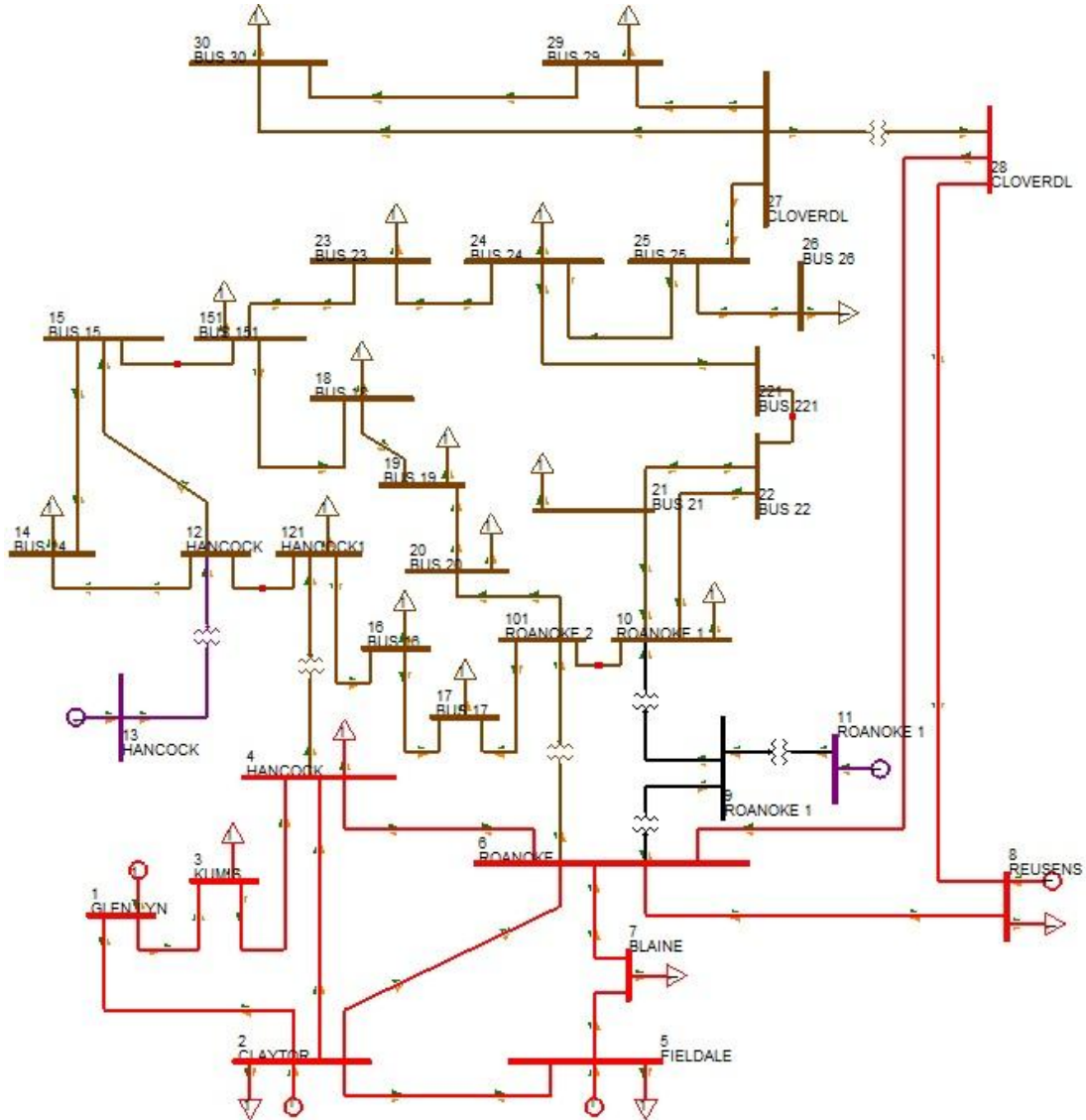
Tez çalışmasına konu olan yöntemin ilk testleri IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde gerçekleştirildi. 30 baralı test sistemine ait veriler, Alsac, O. & Stott, B.'nin [98] çalışmasından ve Washington Üniversitesi arşividen [99] alınan verilerdir. Kullanılan test sistemine ait hat bilgileri çizelge A.1'de, üretim ve yük bilgileri ise çizelge 7.1 ve 7.2'de verilmiştir. Çizelge A.1'den de görüleceği gibi test sisteminde 30 olan bara sayısı 34'e çıkmıştır. Bu değişiklik amaçlanan problemten dolayı yapılmıştır. 10, 12, 15 ve 22 nolu baralar kuplaj ile ikiye bölünerek 31, 32, 33 ve 34 nolu baralar oluşturulmuştur. Böylelikle, arıza akımını düşürebilmek için baralar arası kuplajı açıp kapamak ta bir seçenek olarak yaratıldı. Test sisteminde tüm jeneratörlerin pozitif empedans değerleri $(0+0.3i)$ pu olarak alınmıştır. IEEE 30 baralı test sisteminin tek hat şeması ise şekil 7.1'de verilmiştir.

Çizelge 7.1 : IEEE 30 baralı test sistemindeki üretim bilgileri.

Bara No (Üretim)	P (MW)	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Qmin (MVAR)	Qmax (MVAR)
1	180	50	200	-200	250
2	70	20	80	-100	100
5	40	15	50	-80	100
8	30	10	35	-80	100
11	25	10	30	-80	100
13	35	12	40	-80	100

Çizelge 7.2 : IEEE 30 baralı test sistemindeki yükler.

Bara No	Yük (MW)	Yük (MVAR)	Bara No	Yük (MW)	Yük (MVAR)
1	0	0	18	3,2	0,9
2	21,7	12,7	19	9,5	3,4
3	2,4	1,2	20	2,2	0,7
4	7,6	1,6	21	17,5	11,2
5	94,2	19	22	0	0
6	0	0	23	3,2	1,6
7	22,8	10,9	24	8,7	6,7
8	30	30	25	0	0
9	0	0	26	3,5	2,3
10	5,8	2	27	0	0
11	0	0	28	0	0
12	0	0	29	2,4	0,9
13	0	0	30	10,6	1,9
14	6,2	1,6	31	0	0
15	0	0	32	11,2	7,5
16	3,5	1,8	33	8,2	2,5
17	9	5,8	34	0	0



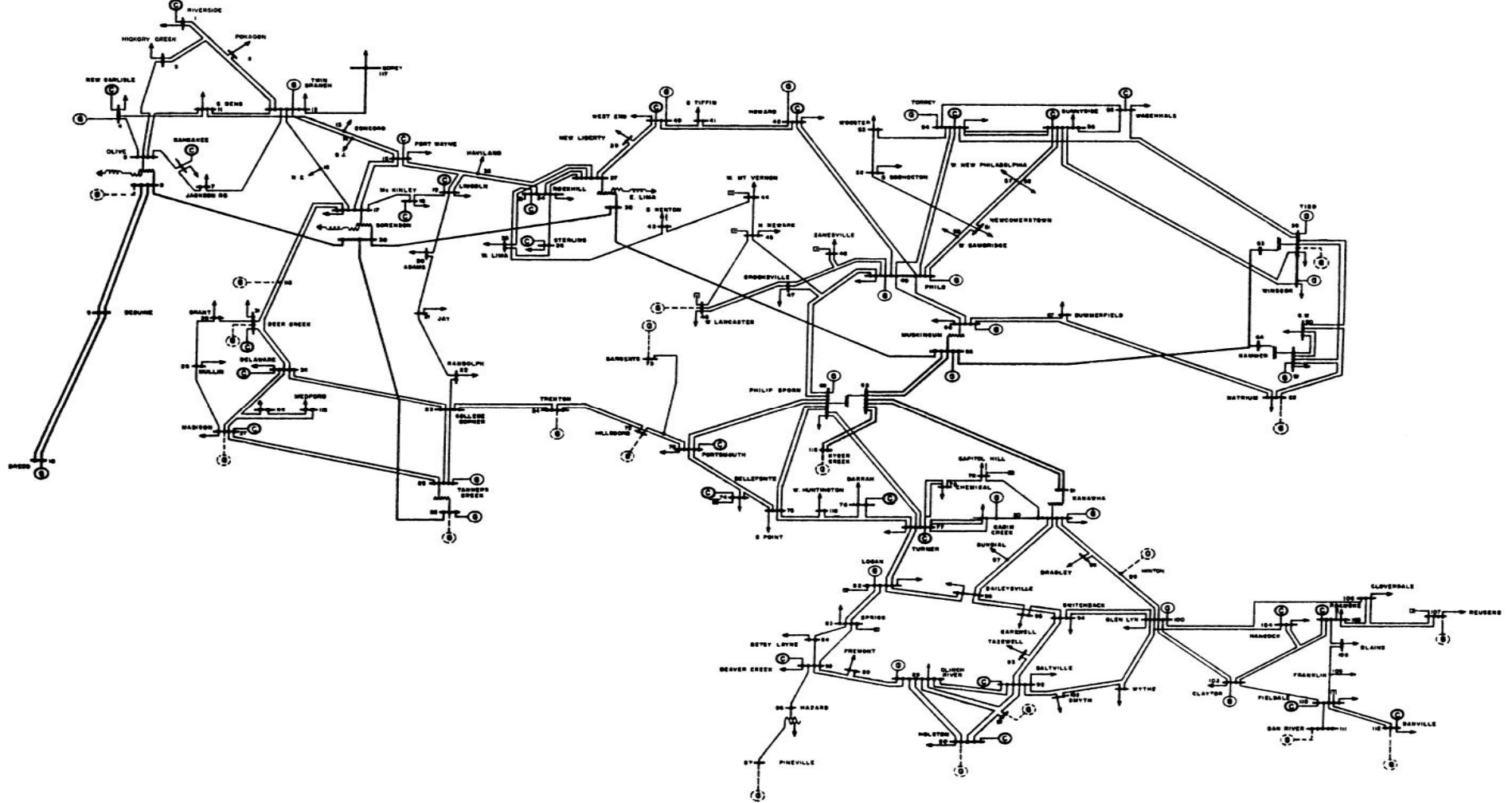
Şekil 7.1 : IEEE 30 baralı test sisteminin tek hat şeması.

7.1.2 IEEE 118 baralı test sistemi

IEEE 118 baralı test sistemi için MATLAB'ın güç sistemleri simülasyon paketi olan MATPOWER içindeki “case118” dosyasındaki veriler [103] ve Washington Üniversitesi arşivinden [99] alınan veriler kullanılmıştır. IEEE 118 baralı test sistemi her ne kadar test sistemi olarak anılsa da aslında Amerika güç sisteminin orta batısının bir bölümünün 1962 Aralık ayındaki mevcut durumunu temsil etmektedir.

IEEE 118 baralı test sisteminde, 186 adet iletim hattı, 54 noktada jeneratör ve 9 noktada transformatör, 100 adet te tüketim barası bulunmaktadır.

Kullanılan hat, yük ve üretim bilgileri çizelge B.1, çizelge B.2 ve çizelge B.3'te verilmiştir. Test sisteminde jeneratörlerin pozitif empedans değerleri $(0+0.3i)$ pu olarak alınmıştır.



Şekil 7.2 : IEEE 118 baralı test sistemi tek hat şeması.

7.1.3 Trakya güç sistemi

Trakya Bölgesi güç sistemine ait veriler, TEİAŞ İletim Planlama Şube Müdürlüğü'nden temin edildi. Bölgeye ait veri dosyası, PPSE programında kullanılan “sav” formatında hazırlanmıştı. Trakya Bölgesi güç sistemi bilgilerini içeren “sav” dosyası düzenlenerek MATPOWER’da kullanılabilir hale getirildi. TEİAŞ ile görüşme esnasında, Trakya Bölgesinde ada modunda çalışmanın yapıldığı da belirtildi. Bu uygulamanın, acil durumlara yönelik önlem olarak düşünülen ada modunda çalışma değil, sistemin sürekli olarak adalar halinde çalıştırılması olduğundan bahsedildi. Konunun hem TEİAŞ hem de akademisyenler tarafından üzerinde inceleme yapıldığı, araştırmalara konu olduğu görülmüştür [101]. Edinilen bilgilere göre, 4 ada halinde işletilen sistemde, 2007 yazından itibaren Yunanistan bağlantısı nedeniyle ada sayısı da artmıştır. Trakya bölgesinde 154 kV gerilim seviyesinde adaların oluşturulduğu ve bu adaların temel olarak 380 kV/154 kV oto trafolar dikkate alınarak tasarlandığı anlaşılmaktadır. Adalar üzerinde meydana gelen yük durumuna bağlı olarak yapılan manevralar ile bazı durumlarda bazı adaların paralel çalışmaya geçirildiği bilgisi de öğrenildi. Ayrıca adalar arası bağlantıyı oluşturan ve açık tutulan hatların seçiminde, bakım veya yenilenme gibi durumlar da dikkate alınmaktadır. Trakya bölgesinde bazı yerlerde ada modunda çalışma ile arıza akımlarının düşürülmesi de hedeflenmektedir. Trakya bölgesi için temin edilen veriler üzerinde yaptığımız incelemede dikkatimizi çeken bir konu da fuel oil ile çalışan santrallerin bir kısmının devre dışı bırakıldığı ve fuel oil santrallerinin sayısının azaldığı olmuştur.

7.1.3.1 Trakya güç sistemine ait bilgiler

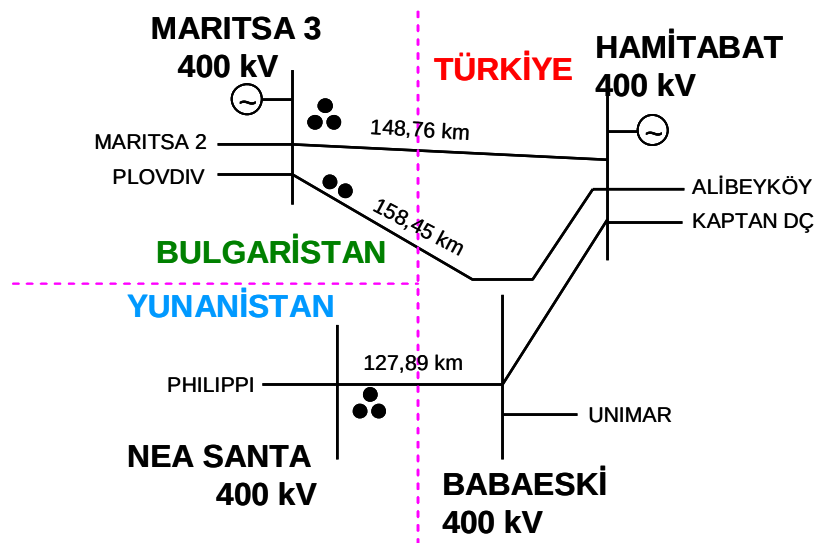
TEİAŞ, ulusal güç sistemindeki bara numaralamasını, belirlediği sistematik dahilinde yapmaktadır. Temin edilen Trakya verilerinin MATPOWER’a uygun hale getirilmesi için bara numaralarında değişiklik yapılmıştır. Hangi baraya hangi numaranın verildiği ve bara isminin ne olduğu çizelge C.1’den takip edilebilir. Düzenlemesi yapılan Trakya güç sisteminde 317 adet bara, 371 adet iletim hattı, 86 noktada jeneratör ve 240 noktada transformatör bulunmaktadır. Buna karşın 130 adet te tüketim barası bulunmaktadır. Trakya bölgesinde, TREDAS ve BEDAS olmak üzere iki elektrik dağıtım şirketi vardır. TEİAŞ’tan temin edilen Trakya güç sistemine ait iletim hatlarını, üretim noktalarını gösteren tek hat şeması da şekil 7.3’te verilmiştir.

7.1.3.2 Trakya güç sistemi ve Avrupa kıtası elektrik sistemine bağlantısı

Trakya güç sistemini önemli kılan özelliklerinden biri de Bulgaristan ve Yunanistan üzerinden yapılan bağlantılar ile Türkiye elektrik sisteminin, ENTSO-E Avrupa Kıtası senkron bölgesi şebekesine bağlanmasıdır.

Avrupa iletim sisteminde teknik standartları belirleyen UCTE ile piyasa kurallarını belirleyen ETSO, tüm yetki ve sorumlulukları ile birlikte 01 Temmuz 2009 tarihinde ENTSO-E organizasyonu çatısı altına taşınmıştır. 18 Aralık 2009 tarihinde de TEİAŞ ile ENTSO-E arasında taahhüt anlaşması imzalanarak ENTSO-E ile işbirliği süreci başlamıştır [2].

ENTSO-E ile yapılan teknik çalışmaların ardından 18 Eylül 2010 tarihinde Türkiye elektrik sistemi, ENTSO-E Avrupa Kıtası senkron bölgesine bağlanmış ve deneme paralel işletme çalışmaları başlatılmıştır. 01 Haziran 2011 tarihi itibarıyla da deneme ticari enerji alışveriş dönemi başlamıştır. Ticari elektrik enerjisi alışverişleri, Bulgaristan, Yunanistan ve Avrupa'dan Türkiye yönüne 400 MW'a, ters yönde de 300 MW'a kadar olmak üzere sürdürülmektedir [2]. Söz konusu kapasiteler, ilave koruma sistemlerine ait şartların yerine getirilmesinin ardından Bulgaristan-Türkiye yönünde 2/3 ve Yunanistan-Türkiye yönünde ise 1/3 oranında tahsis edilecektir. Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan arasındaki bağlantıyı gösteren tek hat şeması şekil 7.4'te verilmiştir.



Şekil 7.4 : Türkiye, Bulgaristan ve Yunanistan arasındaki bağlantıyı gösteren tek hat şeması.

7.2 Test Sistemleri Üzerinde Uygulamalar

Genişleyen güç sisteminde, uygun işletme koşullarının bulunabilmesi ve arıza akımının düşürülebilmesi için ortaya konulan yöntemde eşitlik ve eşitsizlik kısıtları dikkate alınarak çoklu amaçlar belirlendi ve bu amaçlar bulanık mantık yaklaşımı ile eniyileme yapılarak sonuçlar elde edildi. Eniyileme için genetik algoritma kullanıldı. Ardından aynı hesaplama ateşböceği algoritması ile de tekrarlandı. Böylelikle, yeni bir alanda uygulaması gerçekleştirilen ateşböceği algoritması ile yapılan çalışma, genetik algoritma ile de kontrol edilmiş ve ortaya konulan yöntemin doğruluğu ve farklı eniyileme yöntemlerinde de başarılı sonuç verdiği tespit edilmiş oldu.

Çalışmada, ortaya konulan yöntemin ilk testlerini IEEE 30 baralı test sistemini kullanılarak yaptık. Ardından, büyük güç sistemi olarak IEEE 118 baralı test sistemini kullandık. Son olarak, Türkiye güç sisteminin bir bölümü olan Trakya Bölgesi için testleri yaptık. Her bir çalışmada, gerek ateşböceği algoritması ve gerekse genetik algoritma ile uygun neticeler elde edildiğini gördük.

Üç ayrı test sistemi üzerinde, iki ayrı eniyileme tekniği uygulanarak yapılan incelemeler ve sonuçları sonraki bölümlerde anlatılmaktadır.

7.2.1 IEEE 30 baralı test sistemi ile yapılan inceleme ve sonuçları

IEEE 30 baralı test sistemi ile yapılan incelemelerde, bölüm 7.1.1’de verilen değerler kullanıldı. Çalışmamızda önce genetik algoritma ardından ateşböceği algoritması eniyileme teknikleri uygulandı.

7.2.1.1 IEEE 30 baralı test sisteminde genetik algoritma (GA) ile yapılan eniyileme

Genetik algoritma ile eniyileme esnasında kullanılan parametreler aşağıdaki gibi belirlendi.

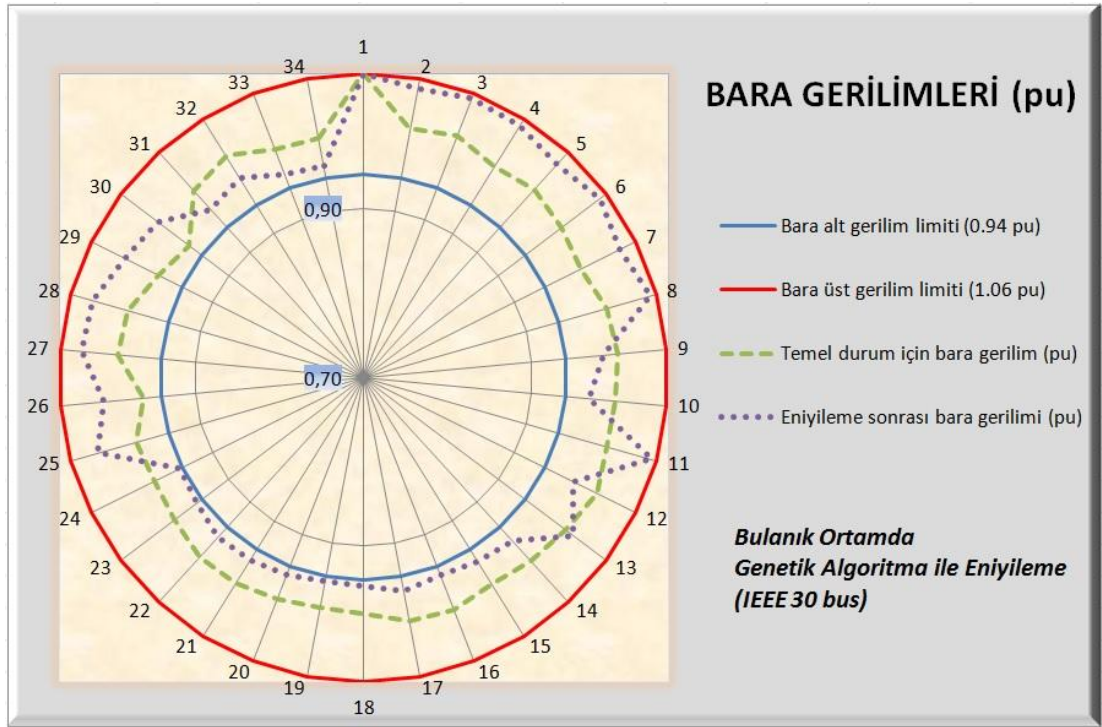
GA ile eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerinin limitleri	: bkzn. çizelge 7.3
Her bir çözüm arayışında üretilen popülasyon sayısı (PopulationSize)	: 120
Çözüm arayışı için kaç jenerasyon üretilceği (GenerationSize)	: 110
Uygun bireylerin bir sonraki jenerasyona taşınmaları (EliteCount)	: 2
Bireylerin uygunluk değerleri arasındaki fark (TolFun)	: 10^{-6}
Uygunluk değerinde değişim olmaması durumu için limit değer (StallGenLimit):	100

Uygunluk değeriinde değişim olmaması durumu için limit zaman (StallTimeLimit): 250

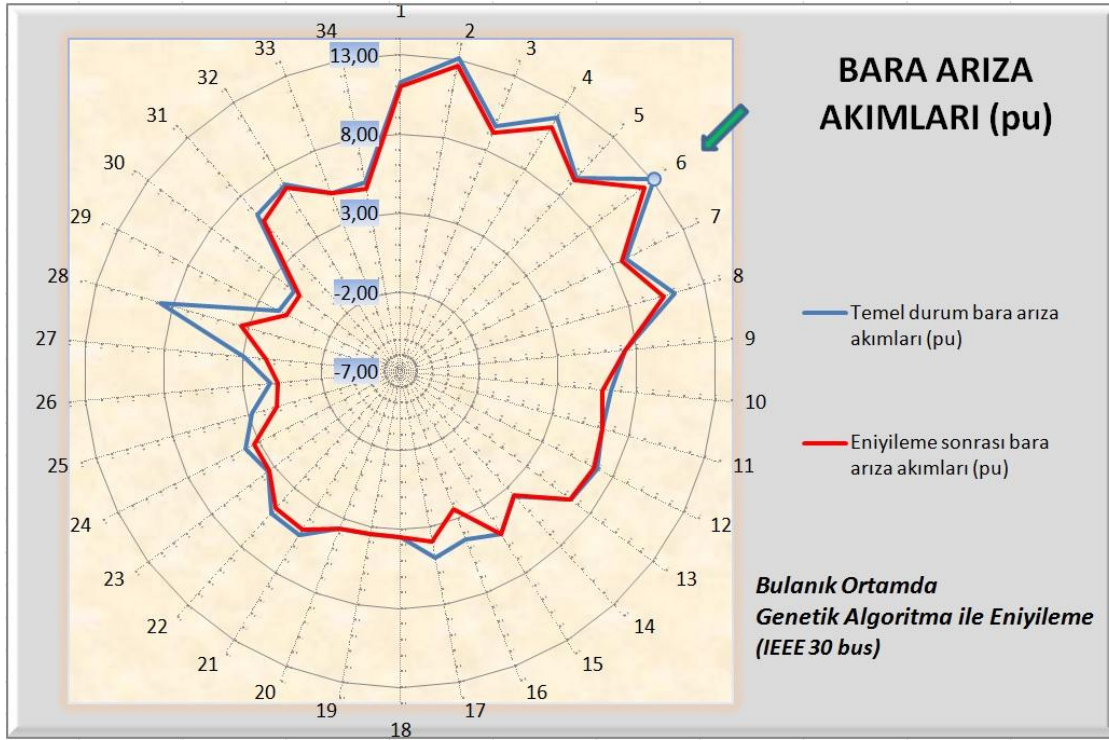
Çaprazlama oranı (CrossoverFraction) : 0,8

GA ile eniyileme çalışması yaparken her bir inceleme için 20 ayrı çözüm yapılmış ve en iyi çözüm alınarak sonuçlar analiz edilmiştir. GA ile eniyileme sonunda bulunan neticeler çizelge A.2’de verilmiştir. Bu çizelge, bara gerilimlerinin, bara arıza akımlarının ve toplam aktif ve reaktif kayıpların eniyileme öncesi ve sonrasında aldığı değeri göstermektedir.

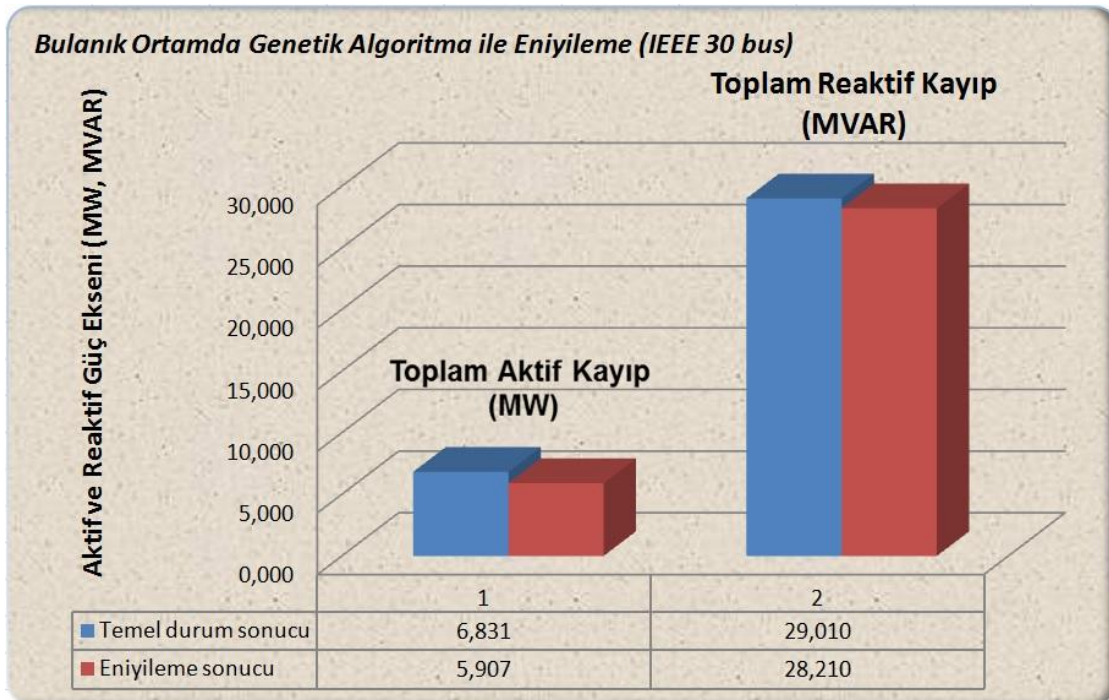
Çizelge A.2’deki değeri kullanılarak GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi şekil 7.5’te, bara arıza akımlarının değişimi şekil 7.6’da ve toplam aktif ve reaktif güç kayıpları ise şekil 7.7’de gösterilmiştir.



Şekil 7.5 : IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.



Şekil 7.6 : IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.



Şekil 7.7 : IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.

GA ile eniyileme sonrası elde edilen ve çizelge A.2’de özetlenen neticeler değerlendirildiğinde IEEE 30 baralı test sistemi için kayıpların azaltıldığı, bara gerilimlerinin limitler içinde tutulduğu ve arıza akımlarının düşürüldüğü işletme koşullarının var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bulunan bu sonuca ait işletme şartları da çizelge 7.3’te özetlenmiştir. Çizelge 7.3, ayrıca eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerini, bu değişkenlere ait alt ve üst limitleri, ilk popülasyon için başlangıç değerlerini ve en uygun işletme şartlarını ortaya koyan çözüm kümesini de göstermektedir. Çözüm kümesi, transformatör kademelerinin alacağı değerleri, üretim baralarındaki üretim değerlerini ve gerilimlerini, kuplajların pozisyonlarını ve hatların durumlarını göstermektedir. İncelenen test sistemi için 19 ile 20 nolu baralar arası, 3 ile 4 nolu baralar arası ve 32 ile 16 nolu baralar arasındaki hatların açık çalıştırılması gerekmektedir.

Kontrol değişkeni olarak seçilen iletim hatları, duyarlılık analizi ile tespit edilen hatlardır. Ağırlıklı toplam karar verme yönteminin kullanıldığı duyarlılık analizinde şekil 3.1’de verilen akış şeması kullanılmıştır.

Çizelge 7.3 : IEEE 30 baralı test sisteminde GA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	IEEE 30 Baralı Test Sistemi için Bulanık Ortamda Genetik Algoritma ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
1	tap1	0,9	1,1	1	1,1	Tap Changer 1 ayar aralığı
2	tap2	0,9	1,1	1	1,0999	Tap Changer 2 ayar aralığı
3	tap3	0,9	1,1	1	1,1	Tap Changer 3 ayar aralığı
4	tap4	0,9	1,1	1	0,9755	Tap Changer 4 ayar aralığı
5	Vg2	0,94	1,06	1	1,0475	2 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
6	Vg5	0,94	1,06	1	1,0413	5 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
7	Vg8	0,94	1,06	1	1,0531	8 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
8	Vg11	0,94	1,06	1	1,0543	11 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
9	Vg13	0,94	1,06	1	10,103	13 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
10	Pg2	20	80	25	77,47	2 nolu barada yapılan üretim (MW)
11	Pg5	15	50	25	35,94	5 nolu barada yapılan üretim (MW)
12	Pg8	10	35	25	27,47	8 nolu barada yapılan üretim (MW)
13	Pg11	10	30	25	22,3	11 nolu barada yapılan üretim (MW)
14	Pg13	12	40	25	26,05	13 nolu barada yapılan üretim (MW)
15	c(10-31)	0	1	1	1	10 ve 31 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
16	c(12-32)	0	1	1	1	12 ve 32 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
17	c(15-33)	0	1	1	1	15 ve 33 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
18	c(22-34)	0	1	1	1	22 ve 34 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
19	S26	0	1	1	1	31 ve 17 nolu bara arasındaki hattın durumu
20	S37	0	1	1	1	27 ve 29 nolu bara arasındaki hattın durumu
21	S25	0	1	1	1	31 ve 20 nolu bara arasındaki hattın durumu
22	S9	0	1	1	1	6 ve 7 nolu bara arasındaki hattın durumu
23	S30	0	1	1	1	33 ve 23 nolu bara arasındaki hattın durumu
24	S22	0	1	1	1	33 ve 18 nolu bara arasındaki hattın durumu
25	S24	0	1	1	0	19 ve 20 nolu bara arasındaki hattın durumu
26	S4	0	1	1	0	3 ve 4 nolu bara arasındaki hattın durumu
27	S33	0	1	1	1	24 ve 25 nolu bara arasındaki hattın durumu
28	S19	0	1	1	0	32 ve 16 nolu bara arasındaki hattın durumu

7.2.1.2 IEEE 30 baralı test sisteminde ateşböceği algoritması (AA) ile yapılan eniyileme

Ateşböceği algoritması ile eniyileme esnasında kullanılan parametreler aşağıdaki gibi belirlendi.

AA ile eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerinin limitleri : bknz. çizelge 7.4

Ateşböceği sayısı (number of fireflies) : 110

Çözüm arayışı için kaç iterasyon yapılacağı (maxgeneration) : 120

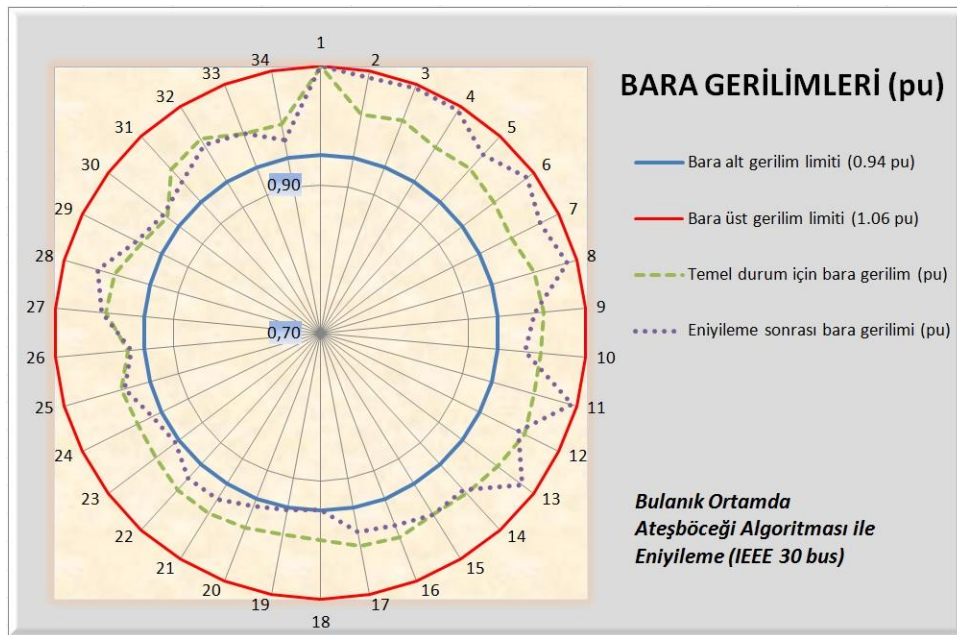
Rastgelelik katsayısı (Alpha) : 0,15

Çekicilik (Beta) : 0,2

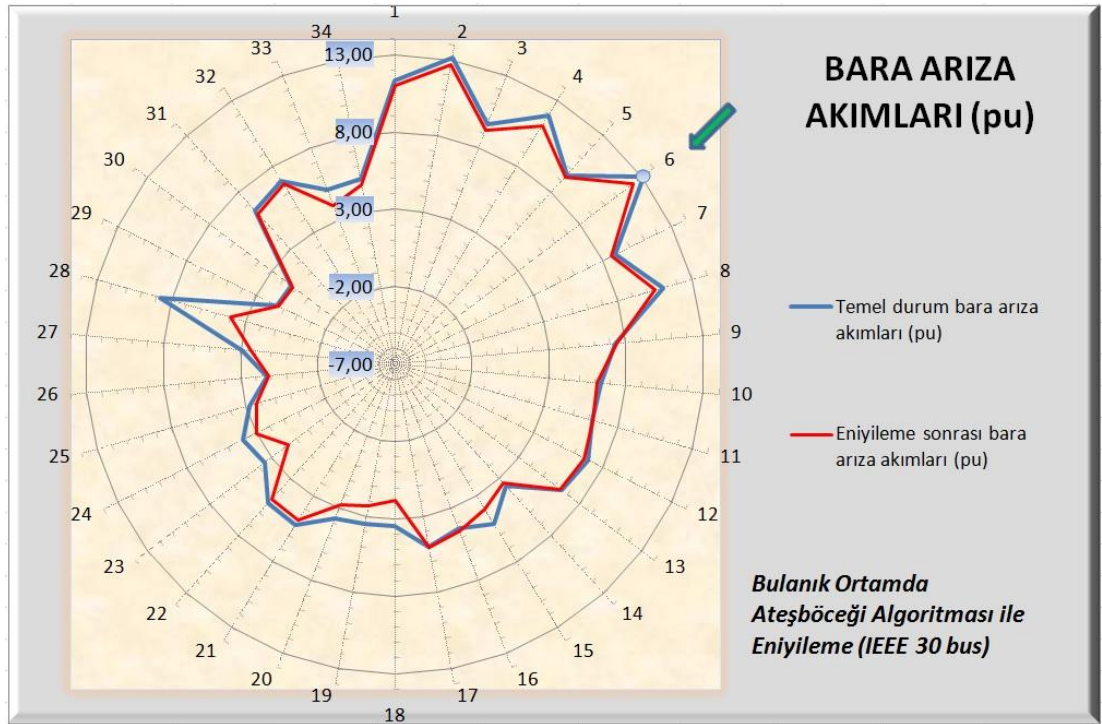
Ortamin soğurma katsayısı (Gamma) : 1

AA ile eniyileme çalışması yaparken her bir inceleme için 20 ayrı çözüm yapılmış ve en iyi çözüm alınarak sonuçlar analiz edilmiştir. AA ile eniyileme sonunda bulunan neticeler çizelge A.3'te verilmiştir. Bu çizelge, bara gerilimlerinin, bara arıza akımlarının ve toplam aktif ve reaktif kayıpların eniyileme öncesi ve sonrasında aldığı değerleri göstermektedir.

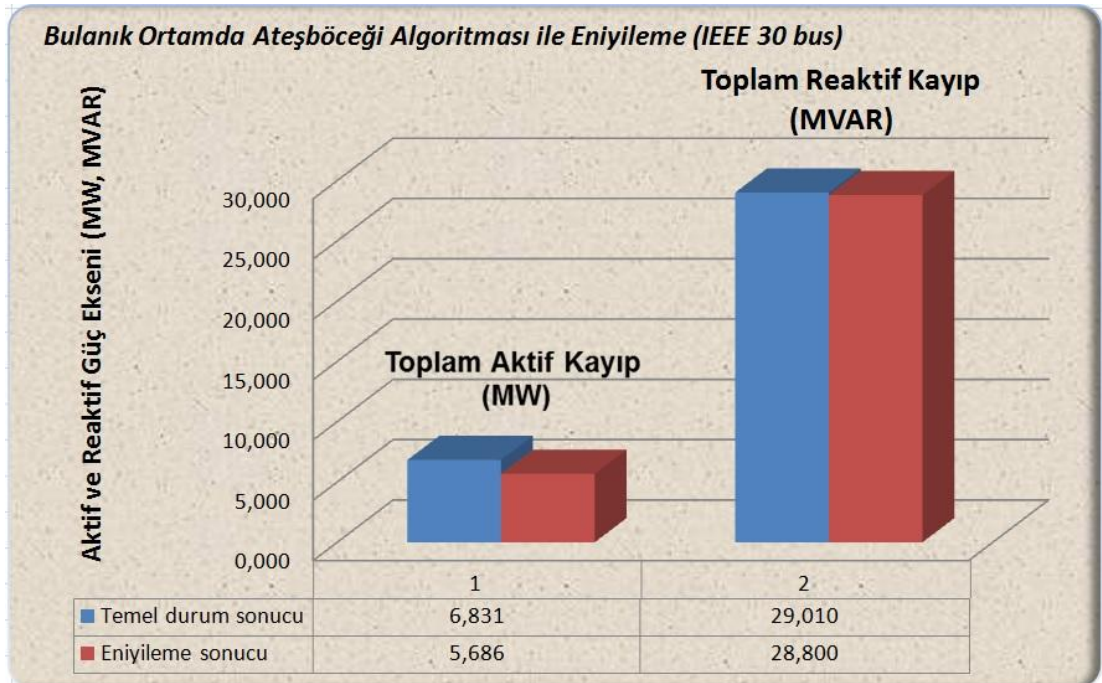
Çizelge A.3'teki değerler kullanılarak AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi şekil 7.8'de, bara arıza akımlarının değişimi şekil 7.9'da ve toplam aktif ve reaktif güç kayıpları ise şekil 7.10'da gösterilmiştir.



Şekil 7.8 : IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.



Şekil 7.9 : IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.



Şekil 7.10 : IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.

AA ile eniyileme sonrası elde edilen ve çizelge A.3'te özetlenen neticeler değerlendirildiğinde IEEE 30 baralı test sistemi için kayıpların azaltıldığı, bara gerilimlerinin limitler içinde tutulduğu ve arıza akımlarının düşürüldüğü işletme koşullarının var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bulunan bu sonuca ait işletme şartları çizelge 7.4'te özetlenmiştir. Çizelge 7.4, ayrıca eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerini, bu değişkenlere ait alt ve üst limitleri, ilk popülasyon için başlangıç değerlerini ve en uygun işletme şartlarını ortaya koyan çözüm kümesini de göstermektedir. Çözüm kümesi, transformatör kademelerinin alacağı değerleri, üretim baralarındaki üretim değerlerini ve gerilimlerini, kuplajların pozisyonlarını ve hatların durumlarını göstermektedir. İncelenen test sistemi için 6 ile 7 nolu baralar arası, 33 ile 23 nolu baralar arası ve 3 ile 4 nolu baralar arasındaki hatların açık çalıştırılması gerekmektedir.

Kontrol değişkeni olarak seçilen iletim hatları, duyarlılık analizi ile tespit edilen hatlardır. Ağırlıklı toplam karar verme yönteminin kullanıldığı duyarlılık analizinde şekil 3.1'de verilen akış şeması kullanılmıştır.

Çizelge 7.4 : IEEE 30 baralı test sisteminde AA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	IEEE 30 Baralı Test Sistemi için Bulanık Ortamda Ateşböceği Algoritması ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
1	tap1	0,9	1,1	1	1,1	Tap Changer 1 ayar aralığı
2	tap2	0,9	1,1	1	1,0938	Tap Changer 2 ayar aralığı
3	tap3	0,9	1,1	1	1,1	Tap Changer 3 ayar aralığı
4	tap4	0,9	1,1	1	0,9695	Tap Changer 4 ayar aralığı
5	Vg2	0,94	1,06	1	1,0504	2 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
6	Vg5	0,94	1,06	1	1,026	5 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
7	Vg8	0,94	1,06	1	1,047	8 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
8	Vg11	0,94	1,06	1	1,0528	11 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
9	Vg13	0,94	1,06	1	1,042	13 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
10	Pg2	20	80	25	57,28	2 nolu barada yapılan üretim (MW)
11	Pg5	15	50	25	48,28	5 nolu barada yapılan üretim (MW)
12	Pg8	10	35	25	27,76	8 nolu barada yapılan üretim (MW)
13	Pg11	10	30	25	21,12	11 nolu barada yapılan üretim (MW)
14	Pg13	12	40	25	29,61	13 nolu barada yapılan üretim (MW)
15	c(10-31)	0	1	1	1	10 ve 31 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
16	c(12-32)	0	1	1	1	12 ve 32 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
17	c(15-33)	0	1	1	1	15 ve 33 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
18	c(22-34)	0	1	1	1	22 ve 34 nolu bara arasındaki kuplajın pozisyonu
19	S26	0	1	1	1	31 ve 17 nolu bara arasındaki hattın durumu
20	S37	0	1	1	1	27 ve 29 nolu bara arasındaki hattın durumu
21	S25	0	1	1	1	31 ve 20 nolu bara arasındaki hattın durumu
22	S9	0	1	1	0	6 ve 7 nolu bara arasındaki hattın durumu
23	S30	0	1	1	0	33 ve 23 nolu bara arasındaki hattın durumu
24	S22	0	1	1	1	33 ve 18 nolu bara arasındaki hattın durumu
25	S24	0	1	1	1	19 ve 20 nolu bara arasındaki hattın durumu
26	S4	0	1	1	0	3 ve 4 nolu bara arasındaki hattın durumu
27	S33	0	1	1	1	24 ve 25 nolu bara arasındaki hattın durumu
28	S19	0	1	1	1	32 ve 16 nolu bara arasındaki hattın durumu

7.2.2 IEEE 118 baralı test sistemi ile yapılan inceleme sonuçları

IEEE 118 baralı test sistemi ile yapılan incelemelerde, bölüm 7.1.2’de verilen değerler kullanıldı. Çalışmamızda önce genetik algoritma ardından ateşböceği algoritması eniyileme teknikleri uygulandı.

7.2.2.1 IEEE 118 baralı test sisteminde genetik algoritma (GA) ile yapılan eniyileme

Genetik algoritma ile eniyileme esnasında kullanılan parametreler aşağıdaki gibi belirlendi.

GA ile eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerinin limitleri : bkz. çizelge 7.5

Her bir çözüm arayışında üretilen popülasyon sayısı (PopulationSize) : 70

Çözüm arayışı için kaç jenerasyon üretileceği (GenerationSize) : 100

Uygun bireylerin bir sonraki jenerasyona taşınmaları (EliteCount) : 2

Bireylerin uygunluk değerleri arasındaki fark (TolFun) : 10^{-6}

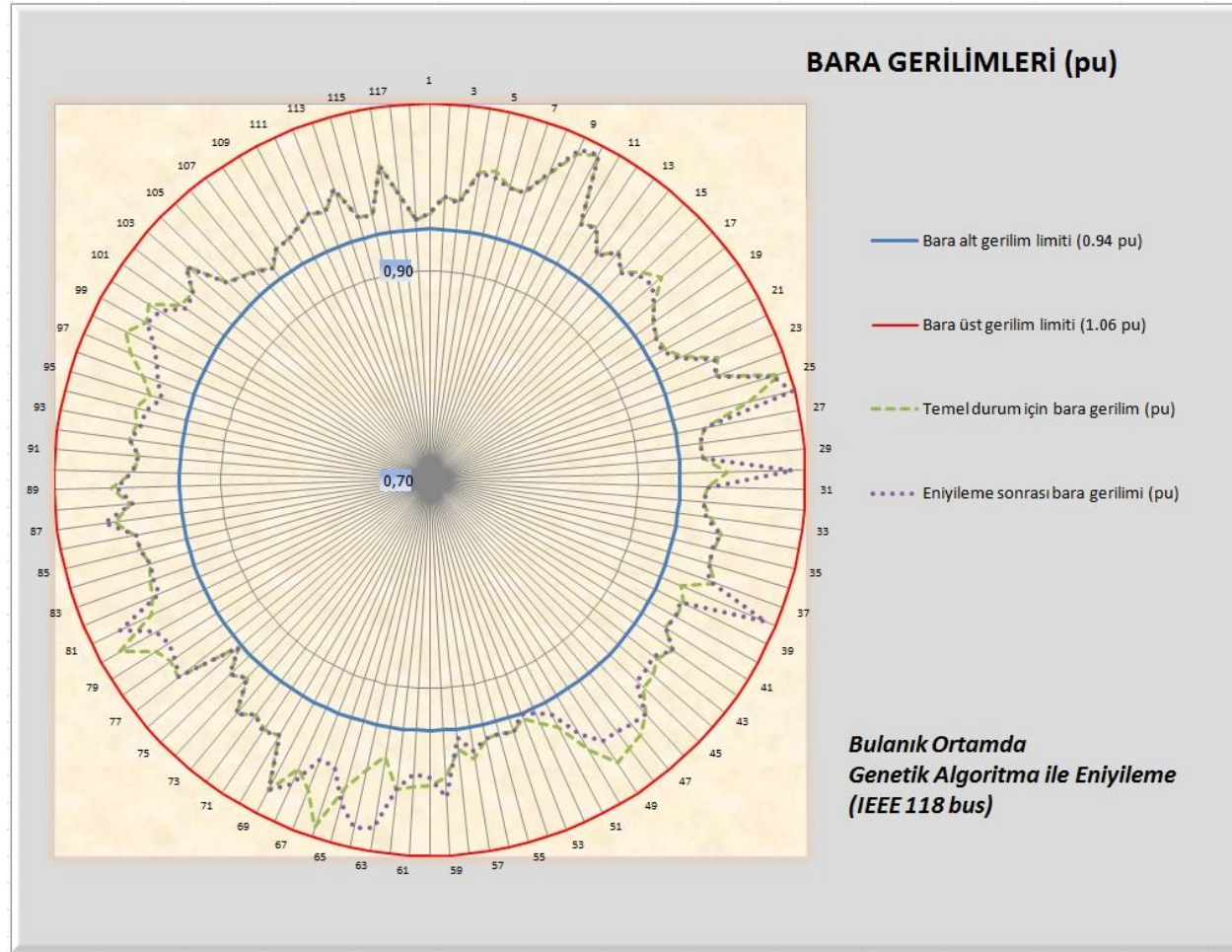
Uygunluk değerinde değişim olmaması durumu için limit değer (StallGenLimit): 90

Uygunluk değerinde değişim olmaması durumu için limit zaman (StallTimeLimit): 350

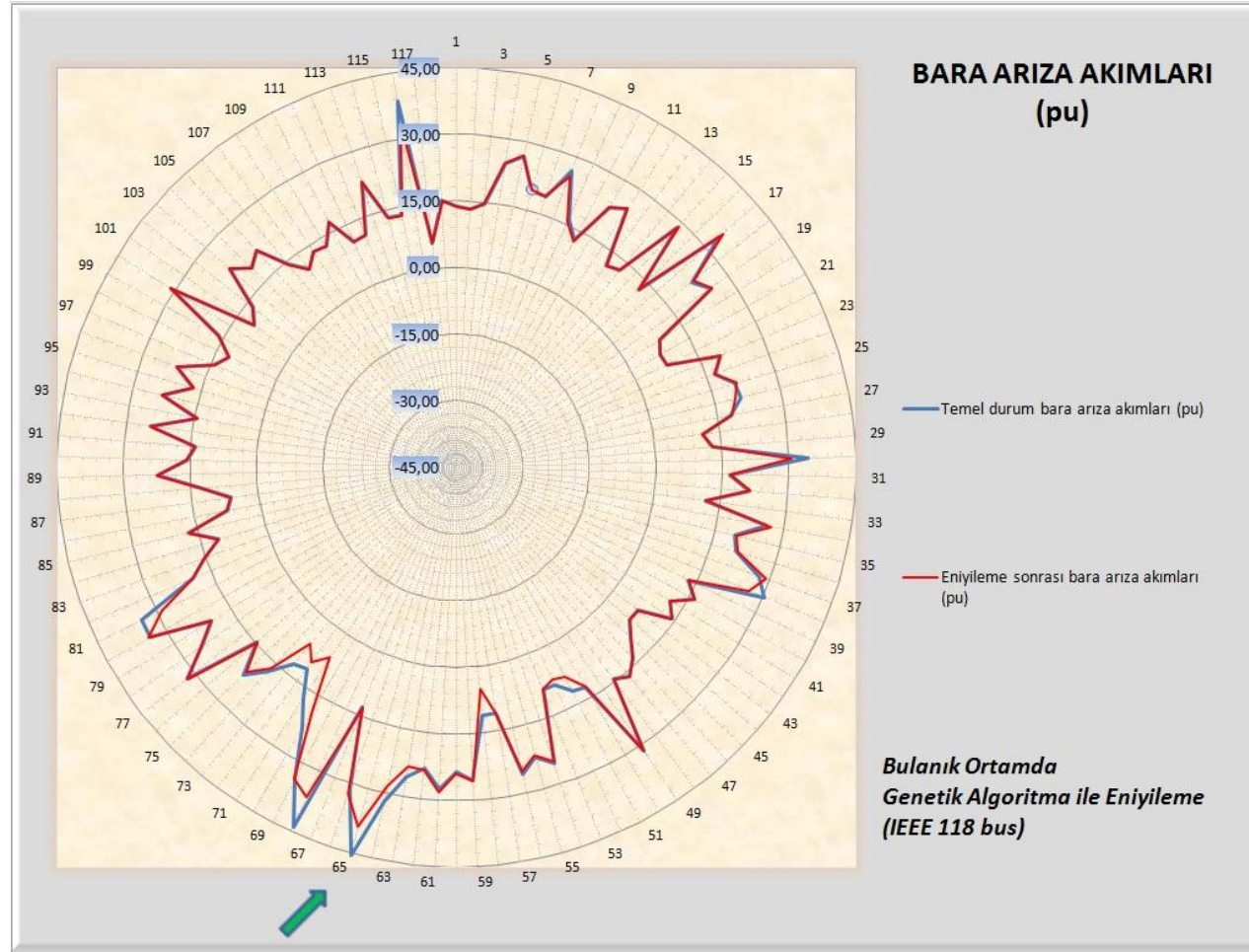
Çaprazlama oranı (CrossoverFraction) : 0,8

GA ile eniyileme çalışması yaparken her bir inceleme için 20 ayrı çözüm yapılmış ve en iyi çözüm alınarak sonuçlar analiz edilmiştir. GA ile eniyileme sonunda bulunan neticeler çizelge B.4’te verilmiştir. Bu çizelge, bara gerilimlerinin, bara arıza akımlarının ve toplam aktif ve reaktif kayıpların eniyileme öncesi ve sonrasında aldığı değerleri göstermektedir.

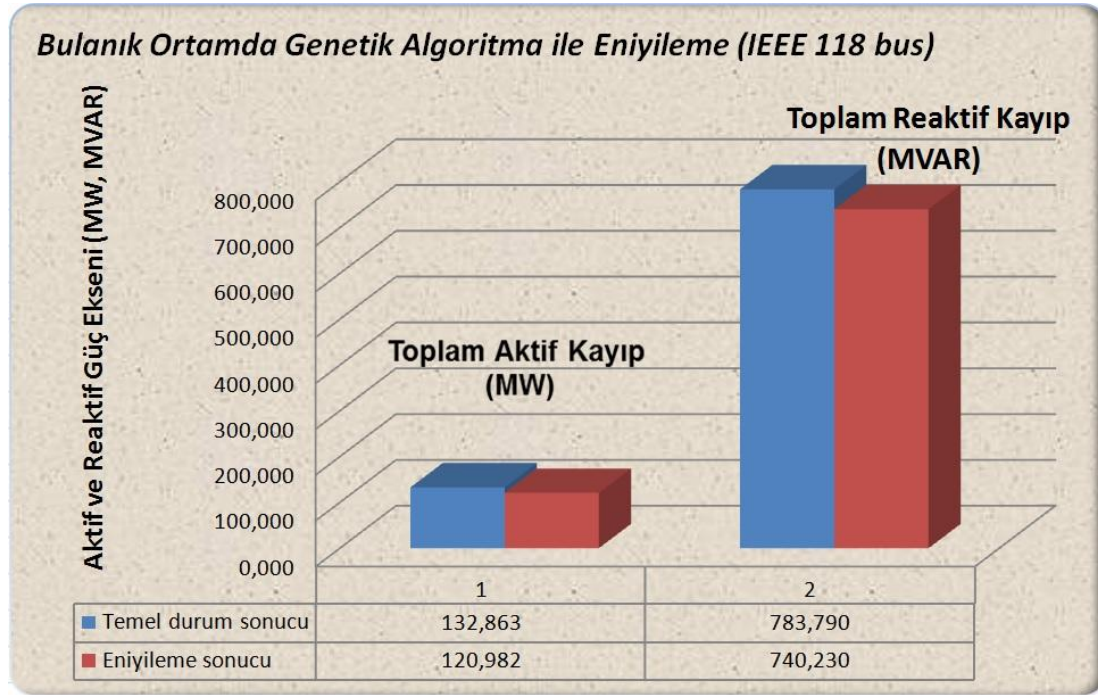
Çizelge B.4’teki değerler kullanılarak GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi şekil 7.11’de, bara arıza akımlarının değişimi şekil 7.12’de ve toplam aktif ve reaktif güç kayıpları ise şekil 7.13’te gösterilmiştir.



Şekil 7.11 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.



Şekil 7.12 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.



Şekil 7.13 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.

GA ile eniyileme sonrası elde edilen ve çizelge B.4'te özetlenen neticeler değerlendirildiğinde IEEE 118 baralı test sistemi için kayıpların azaltıldığı, bara gerilimlerinin limitler içinde tutulduğu ve arıza akımlarının düşürüldüğü işletme koşullarının var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bulunan bu sonuca ait işletme şartları çizelge 7.5'te özetlenmiştir. Çizelge 7.5, ayrıca eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerini, bu değişkenlere ait alt ve üst limitleri, ilk popülasyon için başlangıç değerlerini ve en uygun işletme şartlarını ortaya koyan çözüm kümesini de göstermektedir. Çözüm kümesi, transformatör kademelerinin alacağı değerleri, üretim baralarındaki üretim değerlerini ve gerilimlerini, kuplajların pozisyonlarını ve hatların durumlarını göstermektedir. İncelenen test sistemi için 56 ile 58 nolu baralar arası ve 70 ile 71 nolu baralar arasındaki hatların açık çalıştırılması gerekmektedir.

Kontrol değişkeni olarak seçilen iletim hatları, duyarlılık analizi ile tespit edilen hatlardır. Ağırlıklı toplam karar verme yönteminin kullanıldığı duyarlılık analizinde şekil 3.1'de verilen akış şeması kullanılmıştır.

Çizelge 7.5 : IEEE 118 baralı test sisteminde GA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	IEEE 118 Baralı Test Sistemi için Bulanık Ortamda Genetik Algoritma ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
1	tap8	0,9	1,1	1	1,0207	Tap Changer 8 ayar aralığı
2	tap32	0,9	1,1	1	1,0137	Tap Changer 32 ayar aralığı
3	tap36	0,9	1,1	1	1,0734	Tap Changer 36 ayar aralığı
4	tap51	0,9	1,1	1	1,0667	Tap Changer 51 ayar aralığı
5	tap93	0,9	1,1	1	1,0252	Tap Changer 93 ayar aralığı
6	tap95	0,9	1,1	1	1,0734	Tap Changer 95 ayar aralığı
7	tap102	0,9	1,1	1	1,0743	Tap Changer 102 ayar aralığı
8	tap107	0,9	1,1	1	1,0894	Tap Changer 107 ayar aralığı
9	tap127	0,9	1,1	1	1,0375	Tap Changer 127 ayar aralığı
10	Vg10	0,94	1,06	1	1,0511	10 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
11	Vg25	0,94	1,06	1	1,0435	25 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
12	Vg26	0,94	1,06	1	1,0577	26 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
13	Vg49	0,94	1,06	1	1,0000	49 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
14	Vg59	0,94	1,06	1	1,0049	59 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
15	Vg61	0,94	1,06	1	0,9823	61 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
16	Vg65	0,94	1,06	1	1,0220	65 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
17	Vg66	0,94	1,06	1	0,9900	66 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
18	Vg80	0,94	1,06	1	0,9999	80 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
19	Vg89	0,94	1,06	1	1,0000	89 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
20	Vg100	0,94	1,06	1	1,0042	100 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
21	Pg10	0	550	550	369,16	10 nolu barada yapılan üretim (MW)
22	Pg25	0	320	300	307,70	25 nolu barada yapılan üretim (MW)
23	Pg26	0	414	400	368,17	26 nolu barada yapılan üretim (MW)
24	Pg49	0	304	300	266,95	49 nolu barada yapılan üretim (MW)
25	Pg59	0	255	250	251,50	59 nolu barada yapılan üretim (MW)
26	Pg61	0	260	300	257,04	61 nolu barada yapılan üretim (MW)
27	Pg65	0	491	500	347,52	65 nolu barada yapılan üretim (MW)
28	Pg66	0	492	500	490,01	66 nolu barada yapılan üretim (MW)
29	Pg80	0	577	600	357,55	80 nolu barada yapılan üretim (MW)
30	Pg89	0	707	700	408,21	89 nolu barada yapılan üretim (MW)
31	Pg100	0	352	350	351,75	100 nolu barada yapılan üretim (MW)
32	S61	0	1	1	1	44-45 nolu bara arasındaki hattin durumu
33	S20	0	1	1	1	12-16 nolu bara arasındaki hattin durumu
34	S17	0	1	1	1	12-14 nolu bara arasındaki hattin durumu
35	S69	0	1	1	1	48-49 nolu bara arasındaki hattin durumu
36	S25	0	1	1	1	19-20 nolu bara arasındaki hattin durumu
37	S82	0	1	1	0	56-58 nolu bara arasındaki hattin durumu
38	S121	0	1	1	1	77-78 nolu bara arasındaki hattin durumu
39	S110	0	1	1	0	70-71 nolu bara arasındaki hattin durumu
40	S60	0	1	1	1	34-43 nolu bara arasındaki hattin durumu
41	S80	0	1	1	1	56-57 nolu bara arasındaki hattin durumu
42	S169	0	1	1	1	105-106 nolu bara arasındaki hattin durumu
43	S44	0	1	1	1	15-33 nolu bara arasındaki hattin durumu
44	S27	0	1	1	1	20-21 nolu bara arasındaki hattin durumu
45	S32	0	1	1	1	26-25 nolu bara arasındaki hattin durumu
46	S56	0	1	1	1	40-41 nolu bara arasındaki hattin durumu

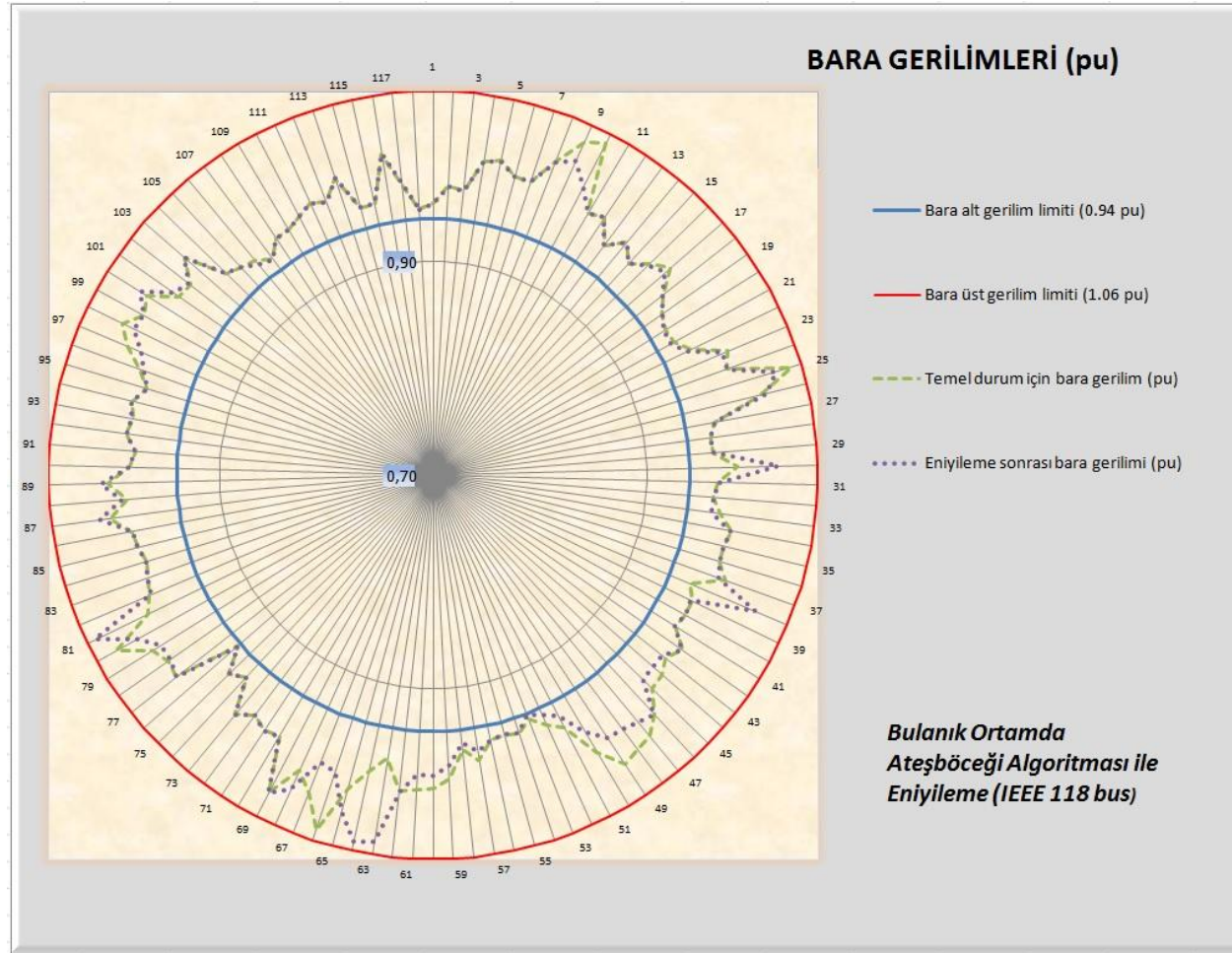
7.2.2.2 IEEE 118 baralı test sisteminde ateşböceği algoritması (AA) ile yapılan eniyileme

Ateşböceği algoritması ile eniyileme esnasında kullanılan parametreler aşağıdaki gibi belirlendi.

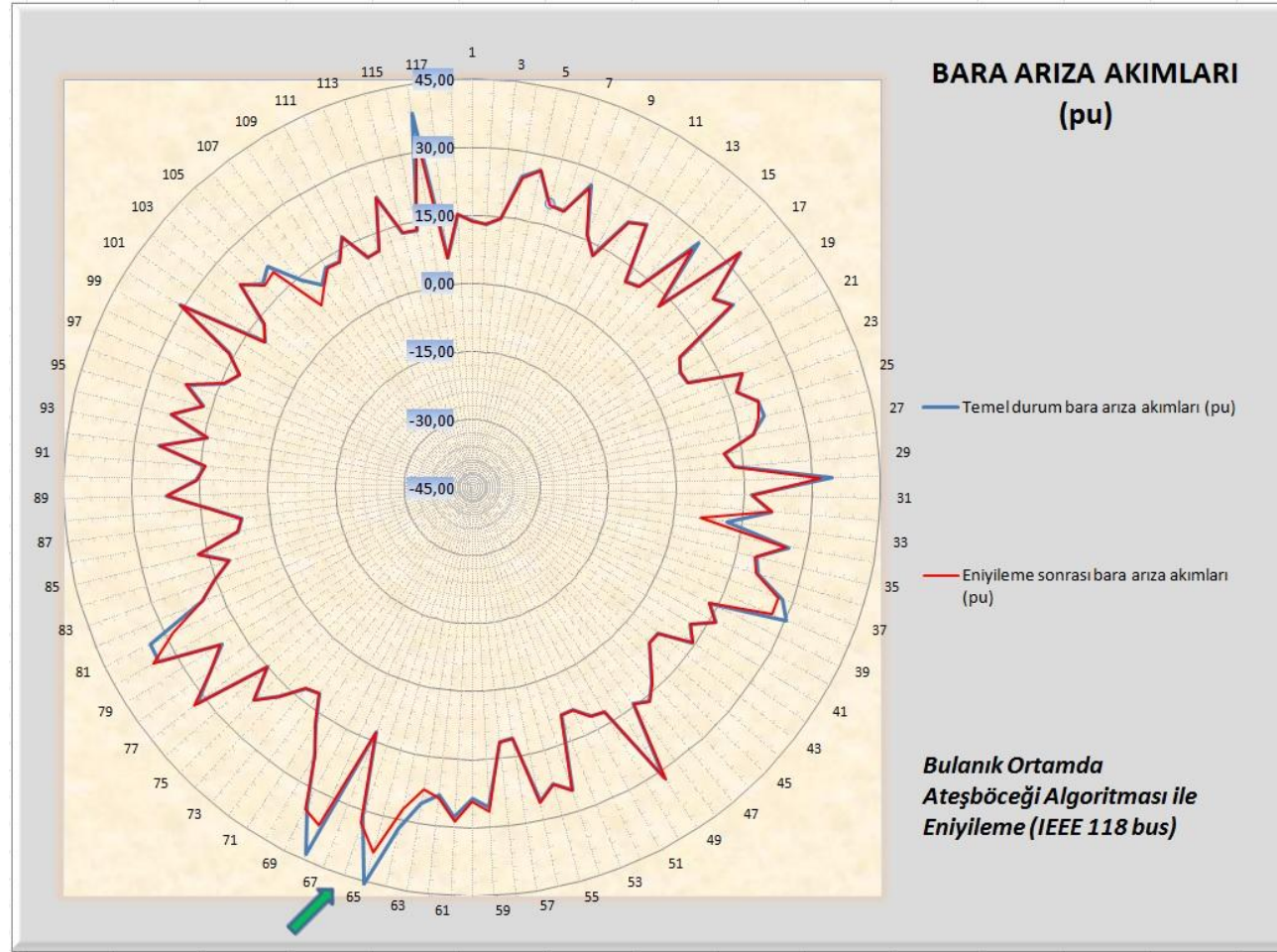
AA ile eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerinin limitleri	: bknz. çizelge 7.6
Ateşböceği sayısı (number of fireflies)	: 110
Çözüm arayışı için kaç iterasyon yapılacağı (maxgeneration)	: 100
Rastgelelik katsayısı (Alpha)	: 0,15
Çekicilik (Beta)	: 0,2
Ortamın soğurma katsayısı (Gamma)	: 1

AA ile eniyileme çalışması yaparken her bir inceleme için 20 ayrı çözüm yapılmış ve en iyi çözüm alınarak sonuçlar analiz edilmiştir. AA ile eniyileme sonunda bulunan neticeler çizelge B.5'te verilmiştir. Bu çizelge, bara gerilimlerinin, bara arıza akımlarının ve toplam aktif ve reaktif kayıpların eniyileme öncesi ve sonrasında aldığı değerleri göstermektedir.

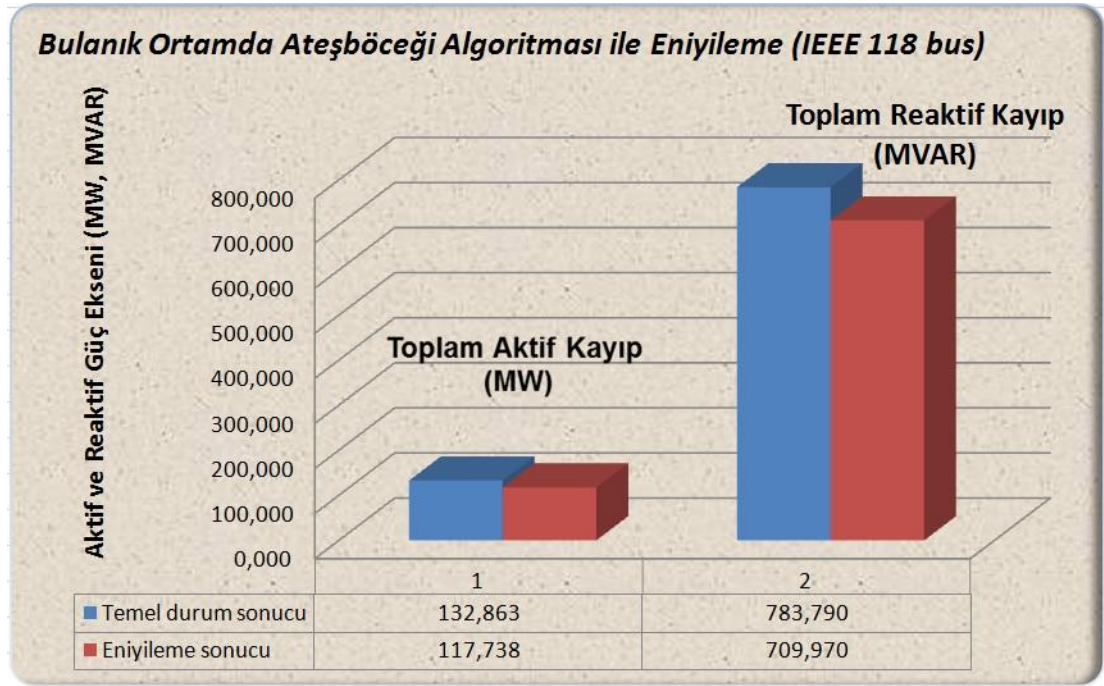
Çizelge B.5'teki değerler kullanılarak AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin grafik değişimi şekil 7.14'te, bara arıza akımlarının değişimi şekil 7.15'te ve toplam aktif ve reaktif güç kayıpları ise şekil 7.16'da gösterilmiştir.



Şekil 7.14 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.



Şekil 7.15 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.



Şekil 7.16 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.

AA ile eniyileme sonrası elde edilen ve çizelge B.5'te özetlenen neticeler değerlendirildiğinde IEEE 118 baralı test sistemi için kayıpların azaltıldığı, bara gerilimlerinin limitler içinde tutulduğu ve arıza akımlarının düşürüldüğü işletme koşullarının var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bulunan bu sonuca ait işletme şartları çizelge 7.6'da özetlenmiştir. Çizelge 7.6, ayrıca eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerini, bu değişkenlere ait alt ve üst limitleri, ilk popülasyon için başlangıç değerlerini ve en uygun işletme şartlarını ortaya koyan çözüm kümesini de göstermektedir. Çözüm kümesi, transformatör kademelerinin alacağı değerleri, üretim baralarındaki üretim değerlerini ve gerilimlerini, kuplajların pozisyonlarını ve hatların durumlarını göstermektedir. İncelenen test sistemi için 105 ile 106 nolu baralar arası ve 15 ile 33 nolu baralar arasındaki hatların açık çalıştırılması gerekmektedir.

Kontrol değişkeni olarak seçilen iletim hatları, duyarlılık analizi ile tespit edilen hatlardır. Ağırlıklı toplam karar verme yönteminin kullanıldığı duyarlılık analizinde şekil 3.1'de verilen akış şeması kullanılmıştır.

Çizelge 7.6 : IEEE 118 baralı test sisteminde AA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	IEEE 118 Baralı Test Sistemi için Bulanık Ortamda Ateşböceği Algoritması ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
1	tap8	0,9	1,1	1	0,9934	Tap Changer 8 ayar aralığı
2	tap32	0,9	1,1	1	1,0043	Tap Changer 32 ayar aralığı
3	tap36	0,9	1,1	1	1,0240	Tap Changer 36 ayar aralığı
4	tap51	0,9	1,1	1	1,0392	Tap Changer 51 ayar aralığı
5	tap93	0,9	1,1	1	1,0703	Tap Changer 93 ayar aralığı
6	tap95	0,9	1,1	1	1,0927	Tap Changer 95 ayar aralığı
7	tap102	0,9	1,1	1	1,1000	Tap Changer 102 ayar aralığı
8	tap107	0,9	1,1	1	1,0684	Tap Changer 107 ayar aralığı
9	tap127	0,9	1,1	1	1,0774	Tap Changer 127 ayar aralığı
10	Vg10	0,94	1,06	1	1,0050	10 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
11	Vg25	0,94	1,06	1	1,0348	25 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
12	Vg26	0,94	1,06	1	1,0212	26 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
13	Vg49	0,94	1,06	1	0,9961	49 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
14	Vg59	0,94	1,06	1	0,9733	59 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
15	Vg61	0,94	1,06	1	0,9811	61 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
16	Vg65	0,94	1,06	1	1,0259	65 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
17	Vg66	0,94	1,06	1	0,9930	66 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
18	Vg80	0,94	1,06	1	1,0169	80 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
19	Vg89	0,94	1,06	1	1,0118	89 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
20	Vg100	0,94	1,06	1	1,0243	100 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
21	Pg10	0	550	550	360,28	10 nolu barada yapılan üretim (MW)
22	Pg25	0	320	300	289,67	25 nolu barada yapılan üretim (MW)
23	Pg26	0	414	400	299,63	26 nolu barada yapılan üretim (MW)
24	Pg49	0	304	300	267,32	49 nolu barada yapılan üretim (MW)
25	Pg59	0	255	250	255,00	59 nolu barada yapılan üretim (MW)
26	Pg61	0	260	300	238,67	61 nolu barada yapılan üretim (MW)
27	Pg65	0	491	500	339,79	65 nolu barada yapılan üretim (MW)
28	Pg66	0	492	500	363,79	66 nolu barada yapılan üretim (MW)
29	Pg80	0	577	600	577,00	80 nolu barada yapılan üretim (MW)
30	Pg89	0	707	700	430,97	89 nolu barada yapılan üretim (MW)
31	Pg100	0	352	350	352,00	100 nolu barada yapılan üretim (MW)
32	S61	0	1	1	1	44-45 nolu bara arasındaki hattin durumu
33	S20	0	1	1	1	12-16 nolu bara arasındaki hattin durumu
34	S17	0	1	1	1	12-14 nolu bara arasındaki hattin durumu
35	S69	0	1	1	1	48-49 nolu bara arasındaki hattin durumu
36	S25	0	1	1	1	19-20 nolu bara arasındaki hattin durumu
37	S82	0	1	1	1	56-58 nolu bara arasındaki hattin durumu
38	S121	0	1	1	1	77-78 nolu bara arasındaki hattin durumu
39	S110	0	1	1	1	70-71 nolu bara arasındaki hattin durumu
40	S60	0	1	1	1	34-43 nolu bara arasındaki hattin durumu
41	S80	0	1	1	1	56-57 nolu bara arasındaki hattin durumu
42	S169	0	1	1	0	105-106 nolu bara arasındaki hattin durumu
43	S44	0	1	1	0	15-33 nolu bara arasındaki hattin durumu
44	S27	0	1	1	1	20-21 nolu bara arasındaki hattin durumu
45	S32	0	1	1	1	26-25 nolu bara arasındaki hattin durumu
46	S56	0	1	1	1	40-41 nolu bara arasındaki hattin durumu

7.2.3 Trakya güç sistemi ile yapılan inceleme sonuçları

Trakya güç sistemi ile yapılan incelemelerde, bölüm 7.1.3'te verilen değerler kullanıldı. Çalışmada, önce genetik algoritma ardından ateşböceği algoritması eniyileme teknikleri uygulandı.

7.2.3.1 Trakya güç sisteminde genetik algoritma (GA) ile yapılan eniyileme

Genetik algoritma ile eniyileme esnasında kullanılan parametreler aşağıdaki gibi belirlendi.

GA ile eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerinin limitleri : bkz. çizelge 7.7

Her bir çözüm arayışında üretilen popülasyon sayısı (PopulationSize) : 60

Çözüm arayışı için kaç jenerasyon üretileceği (GenerationSize) : 110

Uygun bireylerin bir sonraki jenerasyona taşınmaları (EliteCount) : 2

Bireylerin uygunluk değerleri arasındaki fark (TolFun) : 10^{-6}

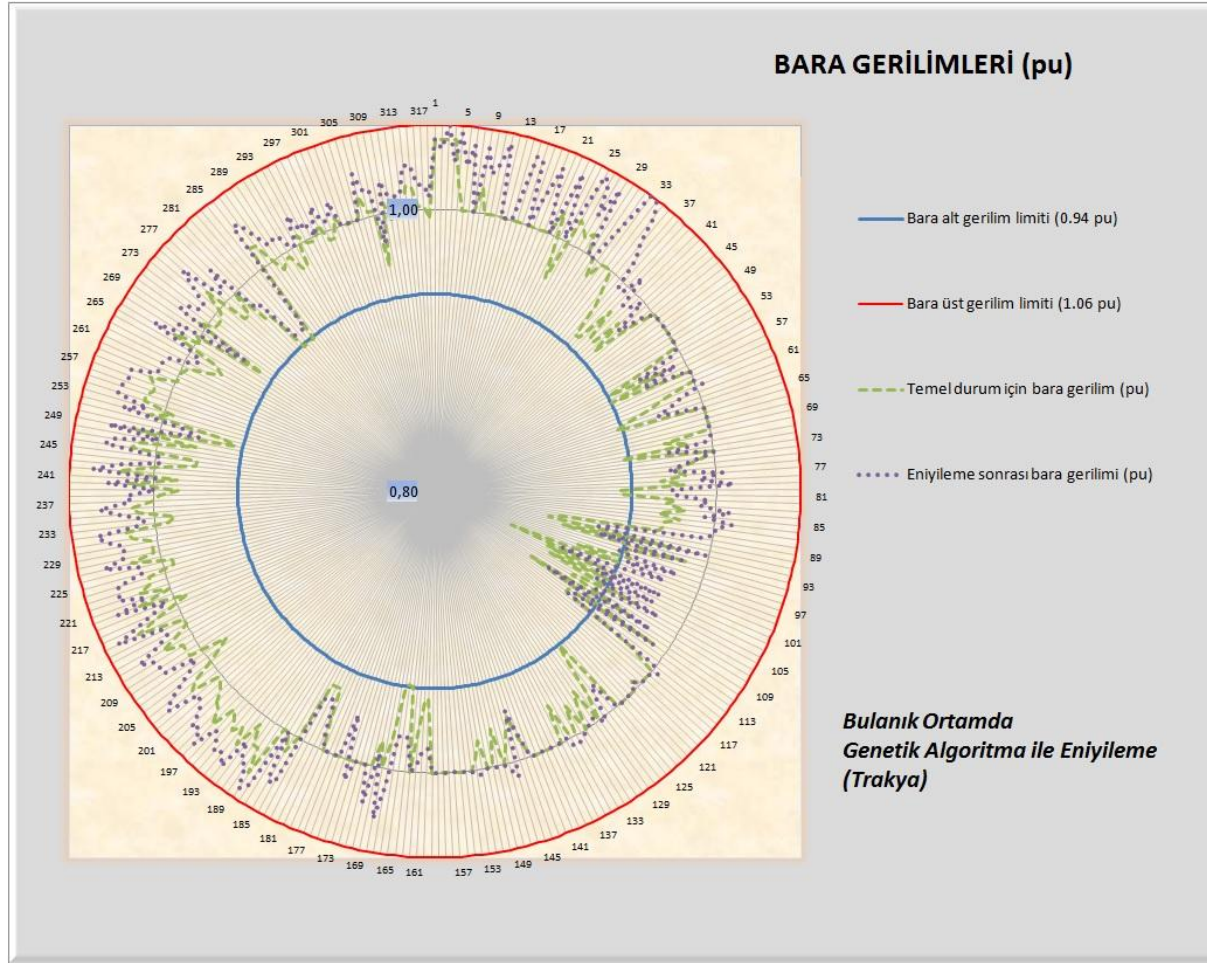
Uygunluk değerinde değişim olmaması durumu için limit değer (StallGenLimit): 100

Uygunluk değerinde değişim olmaması durumu için limit zaman (StallTimeLimit): 350

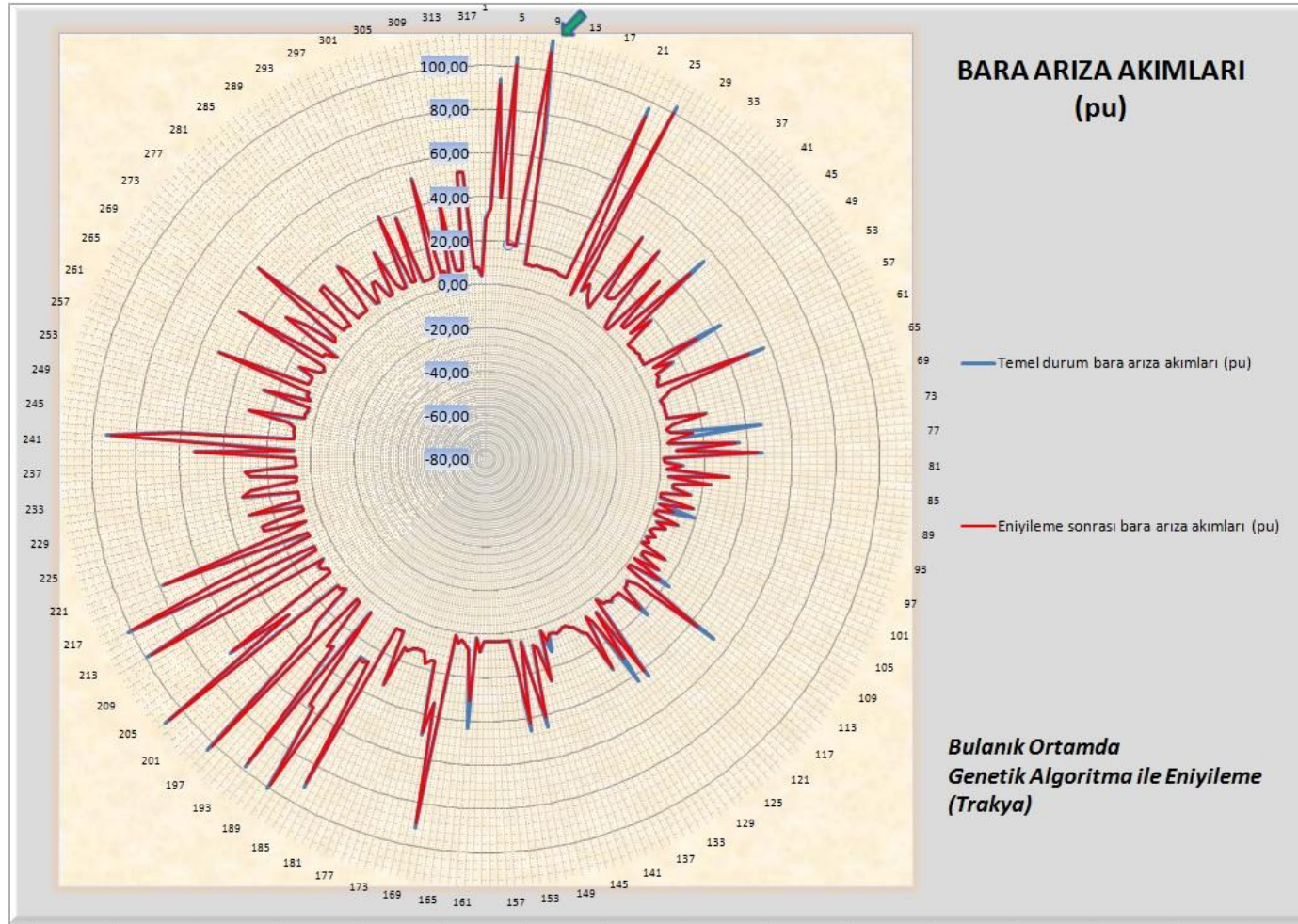
Çaprazlama oranı (CrossoverFraction) : 0,8

GA ile eniyileme çalışması yaparken her bir inceleme için 20 ayrı çözüm yapılmış ve en iyi çözüm alınarak sonuçlar analiz edilmiştir. GA ile eniyileme sonunda bulunan neticeler çizelge C.2'de verilmiştir. Bu çizelge, bara gerilimlerinin, bara arıza akımlarının ve toplam aktif ve reaktif kayıpların eniyileme öncesi ve sonrasında aldığı değerleri göstermektedir.

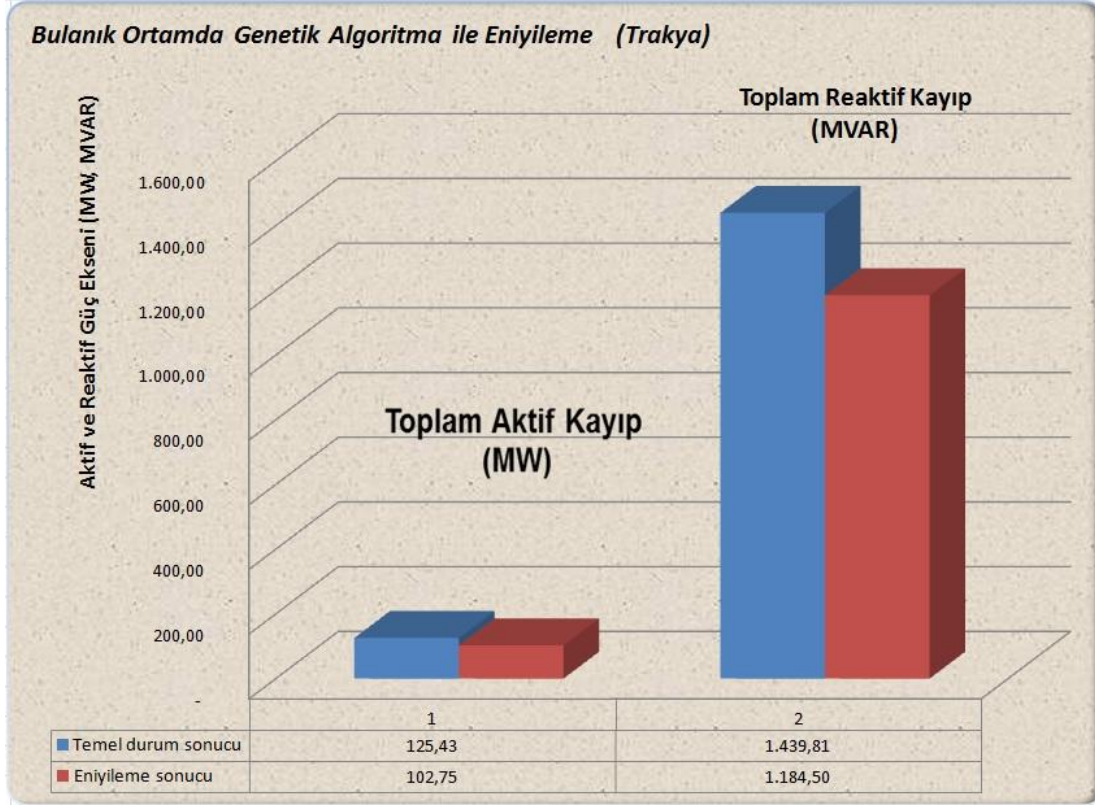
GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin grafik değişimi şekil 7.17'te, bara arıza akımlarının değişimi şekil 7.18'te ve toplam aktif ve reaktif güç kayıpları ise şekil 7.19'te verilmiştir.



Şekil 7.17 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.



Şekil 7.18 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.



Şekil 7.19 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.

GA ile eniyileme sonrası elde edilen ve çizelge C.2’de özetlenen neticeler değerlendirildiğinde, Trakya güç sistemi için kayıpların azaltıldığı, bara gerilimlerinin daha da iyilendiği ve arıza akımlarının düşürüldüğü mevcut işletme koşullarının var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bulunan bu sonuca ait işletme şartları da çizelge 7.7’de özetlenmiştir. Çizelge 7.7, ayrıca eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerini, bu değişkenlere ait alt ve üst limitleri, ilk popülasyon için başlangıç değerlerini ve en uygun işletme şartlarını ortaya koyan çözüm kümesini de göstermektedir. Çözüm kümesi, transformatör kademelerinin alacağı değerleri, üretim baralarındaki üretim değerlerini ve gerilimlerini, kuplajların pozisyonlarını ve hatların durumlarını göstermektedir. İncelenen test sistemi için 24 ile 94 nolu baralar arası, 10 ile 74 nolu baralar arası ve 54 ile 61 nolu baralar arasındaki hatların açık çalıştırılması gerekmektedir.

Kontrol değişkeni olarak seçilen iletim hatları, duyarlılık analizi ile tespit edilen hatlardır. Ağırlıklı toplam karar verme yönteminin kullanıldığı duyarlılık analizinde şekil 3.1’de verilen akış şeması kullanılmıştır.

Çizelge 7.7 : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	Trakya Güç Sistemi için Bulanık Ortamda Genetik Algoritma ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
1	tap132	0,9	1,1	1,00	1,0412	Tap Changer 132 ayar aralığı
2	tap133	0,9	1,1	1,00	1,0232	Tap Changer 133 ayar aralığı
3	tap134	0,9	1,1	1,00	1,0912	Tap Changer 134 ayar aralığı
4	tap159	0,9	1,1	1,00	1,0190	Tap Changer 159 ayar aralığı
5	tap244	0,9	1,1	1,00	1,0000	Tap Changer 244 ayar aralığı
6	tap245	0,9	1,1	1,00	1,0000	Tap Changer 245 ayar aralığı
7	tap263	0,9	1,1	1,00	1,0000	Tap Changer 263 ayar aralığı
8	tap267	0,9	1,1	1,00	1,0000	Tap Changer 267 ayar aralığı
9	tap269	0,9	1,1	1,00	1,0541	Tap Changer 269 ayar aralığı
10	tap273	0,9	1,1	1,00	1,0538	Tap Changer 273 ayar aralığı
11	tap274	0,9	1,1	1,00	1,0000	Tap Changer 274 ayar aralığı
12	Vg2	0,94	1,06	1,00	1,0433	2 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
13	Vg3	0,94	1,06	1,00	1,0599	3 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
14	Vg4	0,94	1,06	1,00	1,0347	4 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
15	Vg6	0,94	1,06	1,00	1,0323	6 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
16	Vg7	0,94	1,06	1,00	1,0472	7 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
17	Vg8	0,94	1,06	1,00	1,0000	8 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
18	Vg11	0,94	1,06	1,00	1,0361	11 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
19	Vg12	0,94	1,06	1,00	1,0528	12 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
20	Vg13	0,94	1,06	1,00	1,0000	13 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
21	Vg14	0,94	1,06	1,00	1,0000	14 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
22	Vg15	0,94	1,06	1,00	1,0000	15 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
23	Vg16	0,94	1,06	1,00	1,0480	16 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
24	Vg17	0,94	1,06	1,00	1,0465	17 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
25	Vg18	0,94	1,06	1,00	1,0000	18 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
26	Vg19	0,94	1,06	1,00	1,0216	19 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
27	Vg20	0,94	1,06	1,00	1,0469	20 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
28	Vg21	0,94	1,06	1,00	1,0206	21 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
29	Vg22	0,94	1,06	1,00	1,0000	22 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
30	Vg33	0,94	1,06	1,00	1,0594	33 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
31	Vg34	0,94	1,06	1,00	1,0595	34 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
32	Vg35	0,94	1,06	1,00	1,0498	35 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
33	Vg172	0,94	1,06	1,00	1,0000	172 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
34	Vg173	0,94	1,06	1,00	1,0000	173 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
35	Vg174	0,94	1,06	1,00	1,0000	174 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
36	Vg175	0,94	1,06	1,00	1,0147	175 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
37	Vg176	0,94	1,06	1,00	0,9676	176 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
38	Vg177	0,94	1,06	1,00	1,0000	177 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
39	Vg178	0,94	1,06	1,00	1,0000	178 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
40	Vg179	0,94	1,06	1,00	1,0000	179 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
41	Vg180	0,94	1,06	1,00	1,0000	180 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
42	Vg187	0,94	1,06	1,00	1,0000	187 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
43	Vg188	0,94	1,06	1,00	1,0469	188 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
44	Pg2	0	400	237,00	237,00	2 nolu barada yapılan üretim (MW)
45	Pg3	0	400	360,00	361,25	3 nolu barada yapılan üretim (MW)

Çizelge 7.7 (devam) : Trakya güç sisteminde GA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	Trakya Güç Sistemi için Bulanık Ortamda Genetik Algoritma ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
46	Pg4	0	400	80,00	80,00	4 nolu barada yapılan üretim (MW)
47	Pg6	0	168	167,00	166,50	6 nolu barada yapılan üretim (MW)
48	Pg7	0	169	34,00	34,00	7 nolu barada yapılan üretim (MW)
49	Pg8	0	168	167,00	165,50	8 nolu barada yapılan üretim (MW)
50	Pg11	0	100	100,00	95,00	11 nolu barada yapılan üretim (MW)
51	Pg12	0	100	34,00	34,00	12 nolu barada yapılan üretim (MW)
52	Pg13	0	111,5	110,00	20,88	13 nolu barada yapılan üretim (MW)
53	Pg14	0	100	100,00	75,98	14 nolu barada yapılan üretim (MW)
54	Pg15	0	100	100,00	95,50	15 nolu barada yapılan üretim (MW)
55	Pg16	0	111,5	70,00	70,00	16 nolu barada yapılan üretim (MW)
56	Pg17	0	100	100,00	67,78	17 nolu barada yapılan üretim (MW)
57	Pg18	0	100	100,00	97,54	18 nolu barada yapılan üretim (MW)
58	Pg19	0	111,5	1,00	0,00	19 nolu barada yapılan üretim (MW)
59	Pg20	0	111,5	12,00	12,00	20 nolu barada yapılan üretim (MW)
60	Pg21	0	100	100,00	32,97	21 nolu barada yapılan üretim (MW)
61	Pg22	0	100	100,00	40,17	22 nolu barada yapılan üretim (MW)
62	Pg33	0	155,6	115,00	115,09	33 nolu barada yapılan üretim (MW)
63	Pg34	0	155,6	155,00	155,00	34 nolu barada yapılan üretim (MW)
64	Pg35	0	188,7	188,00	133,91	35 nolu barada yapılan üretim (MW)
65	Pg172	0	138,8	138,00	135,00	172 nolu barada yapılan üretim (MW)
66	Pg173	0	138,8	67,00	48,49	173 nolu barada yapılan üretim (MW)
67	Pg174	0	172,8	41,00	41,00	174 nolu barada yapılan üretim (MW)
68	Pg175	0	138,8	47,00	46,00	175 nolu barada yapılan üretim (MW)
69	Pg176	0	138,8	137,00	137,00	176 nolu barada yapılan üretim (MW)
70	Pg177	0	138,8	138,00	137,00	177 nolu barada yapılan üretim (MW)
71	Pg178	0	138,8	78,00	31,41	178 nolu barada yapılan üretim (MW)
72	Pg179	0	172,8	171,00	170,00	179 nolu barada yapılan üretim (MW)
73	Pg180	0	172,8	123,00	123,00	180 nolu barada yapılan üretim (MW)
74	Pg187	0	303	150,00	149,00	187 nolu barada yapılan üretim (MW)
75	Pg188	0	303	150,00	285,86	188 nolu barada yapılan üretim (MW)
76	S14	0	1	1	0	24-94 nolu bara arasındaki hattın durumu
77	S9	0	1	1	0	10-74 nolu bara arasındaki hattın durumu
78	S88	0	1	1	1	171-271 nolu bara arasındaki hattın durumu
79	S29	0	1	1	1	43-148 nolu bara arasındaki hattın durumu
80	S28	0	1	1	1	43-127 nolu bara arasındaki hattın durumu
81	S77	0	1	1	1	190-191 nolu bara arasındaki hattın durumu
82	S259	0	1	1	1	170-169 nolu bara arasındaki hattın durumu
83	S260	0	1	1	1	170-169 nolu bara arasındaki hattın durumu
84	S30	0	1	1	0	54-61 nolu bara arasındaki hattın durumu
85	S23	0	1	1	1	40-145 nolu bara arasındaki hattın durumu
86	S89	0	1	1	1	198-242 nolu bara arasındaki hattın durumu
87	S27	0	1	1	1	43-114 nolu bara arasındaki hattın durumu
88	S41	0	1	1	1	74-114 nolu bara arasındaki hattın durumu
89	S2	0	1	1	1	5-26 nolu bara arasındaki hattın durumu
90	S34	0	1	1	1	61-77 nolu bara arasındaki hattın durumu

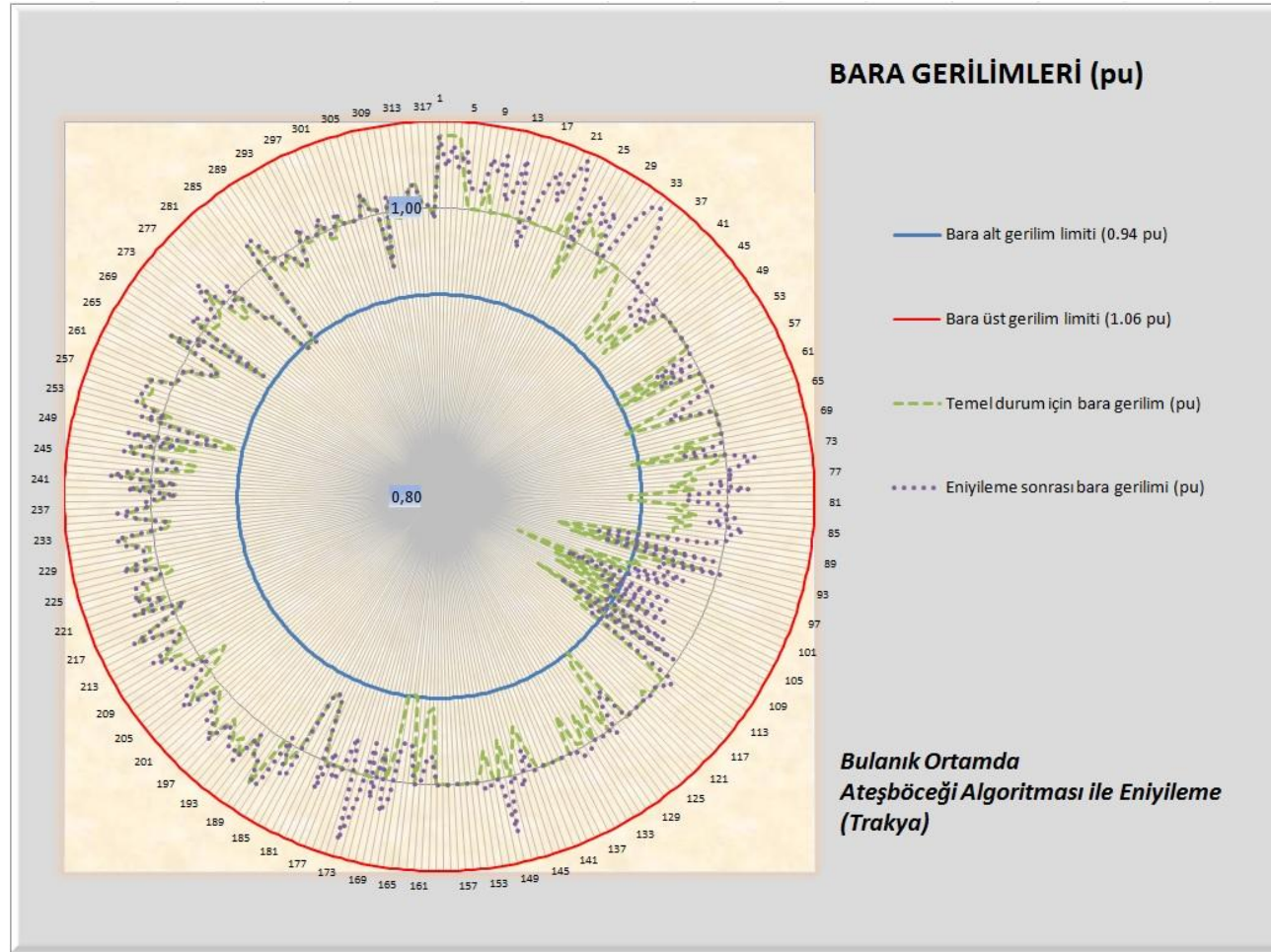
7.2.3.2 Trakya güç sisteminde ateşböceği algoritması (AA) ile yapılan eniyileme

Ateşböceği algoritması ile eniyileme esnasında kullanılan parametreler aşağıdaki gibi belirlendi.

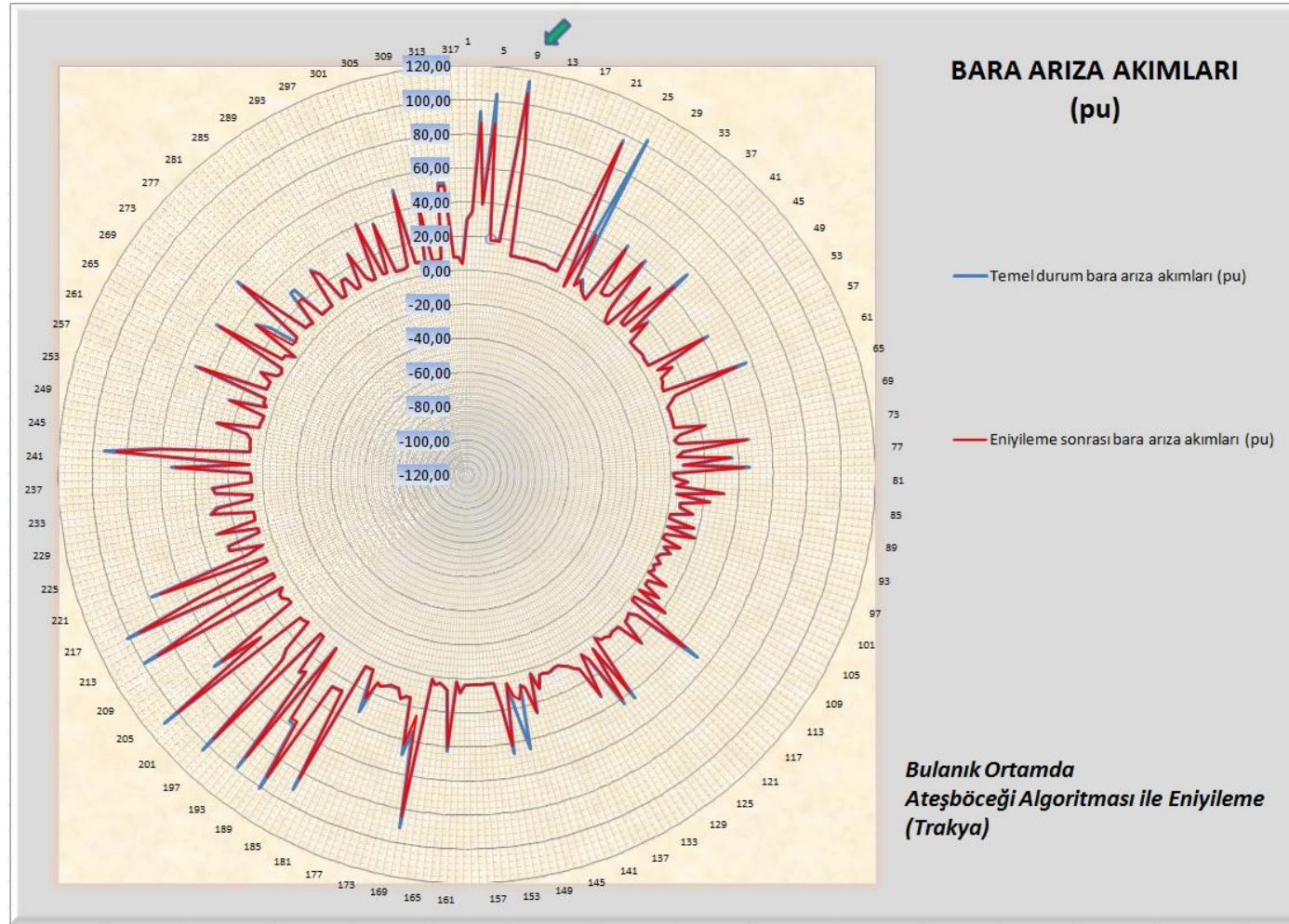
AA ile eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerinin limitleri	: bknz. çizelge 7.8
Ateşböceği sayısı (number of fireflies)	: 100
Çözüm arayışı için kaç iterasyon yapılacağı (maxgeneration)	: 100
Rastgelelik katsayısı (Alpha)	: 0,15
Çekicilik (Beta)	: 0,2
Ortamın soğurma katsayısı (Gamma)	: 1

AA ile eniyileme çalışması yaparken her bir inceleme için 20 ayrı çözüm yapılmış ve en iyi çözüm alınarak sonuçlar analiz edilmiştir. AA ile eniyileme sonunda bulunan neticeler çizelge C.3'te verilmiştir. Bu çizelge, bara gerilimlerinin, bara arıza akımlarının ve toplam aktif ve reaktif kayıpların eniyileme öncesi ve sonrasında aldığı değerleri göstermektedir.

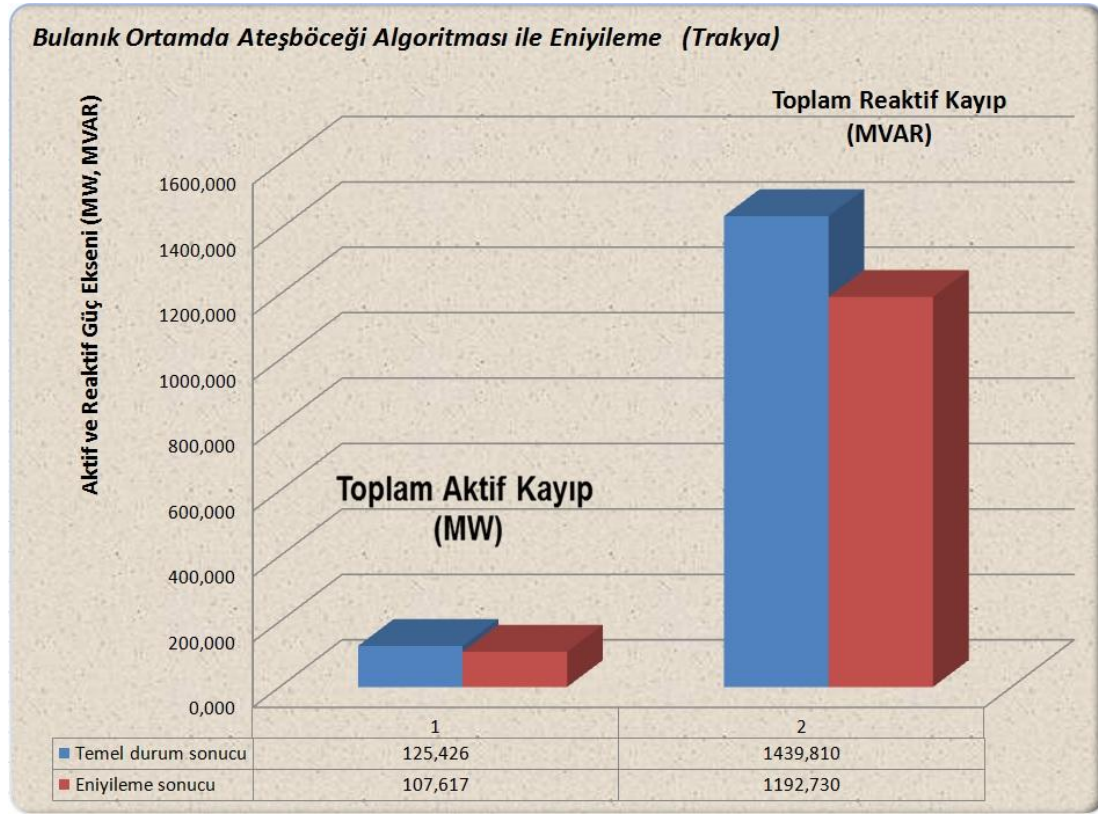
AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin grafik değişimi şekil 7.20'de, bara arıza akımlarının değişimi şekil 7.21'de ve toplam aktif ve reaktif güç kayıpları ise şekil 7.22'de verilmiştir.



Şekil 7.20 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara gerilimlerinin değişimi.



Şekil 7.21 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait bara arıza akımlarının değişimi.



Şekil 7.22 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme öncesi ve sonrasına ait toplam aktif ve reaktif kayıpların değişimi.

AA ile eniyileme sonrası elde edilen ve çizelge C.3'te özetlenen neticeler değerlendirildiğinde, Trakya güç sistemi için kayıpların azaltıldığı, bara gerilimlerinin daha da iyilendiği ve arıza akımlarının düşürüldüğü mevcut işletme koşullarının var olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bulunan bu sonuca ait işletme şartları çizelge 7.8'de özetlenmiştir. Çizelge 7.8, ayrıca eniyilemede kullanılan kontrol değişkenlerini, bu değişkenlere ait alt ve üst limitleri, ilk popülasyon için başlangıç değerlerini ve en uygun işletme şartlarını ortaya koyan çözüm kümesini de göstermektedir. Çözüm kümesi, transformatör kademelerinin alacağı değerleri, üretim baralarındaki üretim değerlerini ve gerilimlerini, kuplajların pozisyonlarını ve hatların durumlarını göstermektedir. İncelenen test sistemi için 171 ile 271 nolu baralar arası, 43 ile 148 nolu baralar arası, 170 ile 169 nolu baralar arası ve 5 ile 26 nolu baralar arasındaki hatların açık çalıştırılması gerekmektedir.

Kontrol değişkeni olarak seçilen iletim hatları, duyarlılık analizi ile tespit edilen hatlardır. Ağırlıklı toplam karar verme yönteminin kullanıldığı duyarlılık analizinde şekil 3.1'de verilen akış şeması kullanılmıştır.

Çizelge 7.8 : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	Trakya Güç Sistemi için Bulanık Ortamda Ateşböceği Algoritması ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
1	tap132	0,9	1,1	1,00	1,0538	Tap Changer 132 ayar aralığı
2	tap133	0,9	1,1	1,00	1,0056	Tap Changer 133 ayar aralığı
3	tap134	0,9	1,1	1,00	1,0355	Tap Changer 134 ayar aralığı
4	tap159	0,9	1,1	1,00	1,0820	Tap Changer 159 ayar aralığı
5	tap244	0,9	1,1	1,00	1,0379	Tap Changer 244 ayar aralığı
6	tap245	0,9	1,1	1,00	1,0574	Tap Changer 245 ayar aralığı
7	tap263	0,9	1,1	1,00	1,0135	Tap Changer 263 ayar aralığı
8	tap267	0,9	1,1	1,00	0,9897	Tap Changer 267 ayar aralığı
9	tap269	0,9	1,1	1,00	1,0222	Tap Changer 269 ayar aralığı
10	tap273	0,9	1,1	1,00	0,9671	Tap Changer 273 ayar aralığı
11	tap274	0,9	1,1	1,00	1,0072	Tap Changer 274 ayar aralığı
12	Vg2	0,94	1,06	1,00	1,0283	2 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
13	Vg3	0,94	1,06	1,00	1,0442	3 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
14	Vg4	0,94	1,06	1,00	1,0291	4 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
15	Vg6	0,94	1,06	1,00	1,0140	6 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
16	Vg7	0,94	1,06	1,00	1,0158	7 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
17	Vg8	0,94	1,06	1,00	1,0131	8 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
18	Vg11	0,94	1,06	1,00	1,0405	11 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
19	Vg12	0,94	1,06	1,00	1,0092	12 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
20	Vg13	0,94	1,06	1,00	1,0183	13 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
21	Vg14	0,94	1,06	1,00	1,0415	14 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
22	Vg15	0,94	1,06	1,00	1,0083	15 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
23	Vg16	0,94	1,06	1,00	0,9797	16 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
24	Vg17	0,94	1,06	1,00	1,0123	17 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
25	Vg18	0,94	1,06	1,00	1,0301	18 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
26	Vg19	0,94	1,06	1,00	1,0405	19 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
27	Vg20	0,94	1,06	1,00	1,0200	20 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
28	Vg21	0,94	1,06	1,00	1,0403	21 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
29	Vg22	0,94	1,06	1,00	1,0544	22 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
30	Vg33	0,94	1,06	1,00	1,0489	33 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
31	Vg34	0,94	1,06	1,00	1,0523	34 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
32	Vg35	0,94	1,06	1,00	1,0452	35 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
33	Vg172	0,94	1,06	1,00	0,9770	172 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
34	Vg173	0,94	1,06	1,00	1,0198	173 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
35	Vg174	0,94	1,06	1,00	1,0486	174 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
36	Vg175	0,94	1,06	1,00	0,9960	175 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
37	Vg176	0,94	1,06	1,00	0,9763	176 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
38	Vg177	0,94	1,06	1,00	1,0046	177 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
39	Vg178	0,94	1,06	1,00	1,0095	178 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
40	Vg179	0,94	1,06	1,00	0,9913	179 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
41	Vg180	0,94	1,06	1,00	1,0204	180 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
42	Vg187	0,94	1,06	1,00	0,9956	187 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
43	Vg188	0,94	1,06	1,00	1,0361	188 nolu üretim barası gerilimi (p.u)
44	Pg2	0	400	237,00	220,51	2 nolu barada yapılan üretim (MW)
45	Pg3	0	400	360,00	142,87	3 nolu barada yapılan üretim (MW)

Çizelge 7.8 (devam) : Trakya güç sisteminde AA ile eniyileme sonrasına ait çözüm kümesi.

Sıra No	Kontrol Değişkeni	Alt limit	Üst Limit	Başlangıç Değerleri (İlk Popülasyon)	Trakya Güç Sistemi için Bulanık Ortamda Ateşböceği Algoritması ile Eniyileme Sonrası Bulunan Çözüm Kümesi	Açıklama
46	Pg4	0	400	80,00	274,08	4 nolu barada yapılan üretim (MW)
47	Pg6	0	168	167,00	91,85	6 nolu barada yapılan üretim (MW)
48	Pg7	0	169	34,00	69,30	7 nolu barada yapılan üretim (MW)
49	Pg8	0	168	167,00	147,94	8 nolu barada yapılan üretim (MW)
50	Pg11	0	100	100,00	17,59	11 nolu barada yapılan üretim (MW)
51	Pg12	0	100	34,00	46,67	12 nolu barada yapılan üretim (MW)
52	Pg13	0	111,5	110,00	10,88	13 nolu barada yapılan üretim (MW)
53	Pg14	0	100	100,00	26,58	14 nolu barada yapılan üretim (MW)
54	Pg15	0	100	100,00	6,06	15 nolu barada yapılan üretim (MW)
55	Pg16	0	111,5	70,00	63,64	16 nolu barada yapılan üretim (MW)
56	Pg17	0	100	100,00	14,22	17 nolu barada yapılan üretim (MW)
57	Pg18	0	100	100,00	25,52	18 nolu barada yapılan üretim (MW)
58	Pg19	0	111,5	1,00	16,04	19 nolu barada yapılan üretim (MW)
59	Pg20	0	111,5	12,00	27,11	20 nolu barada yapılan üretim (MW)
60	Pg21	0	100	100,00	34,82	21 nolu barada yapılan üretim (MW)
61	Pg22	0	100	100,00	53,59	22 nolu barada yapılan üretim (MW)
62	Pg33	0	155,6	115,00	80,38	33 nolu barada yapılan üretim (MW)
63	Pg34	0	155,6	155,00	95,78	34 nolu barada yapılan üretim (MW)
64	Pg35	0	188,7	188,00	165,91	35 nolu barada yapılan üretim (MW)
65	Pg172	0	138,8	138,00	59,16	172 nolu barada yapılan üretim (MW)
66	Pg173	0	138,8	67,00	121,04	173 nolu barada yapılan üretim (MW)
67	Pg174	0	172,8	41,00	83,19	174 nolu barada yapılan üretim (MW)
68	Pg175	0	138,8	47,00	109,97	175 nolu barada yapılan üretim (MW)
69	Pg176	0	138,8	137,00	112,34	176 nolu barada yapılan üretim (MW)
70	Pg177	0	138,8	138,00	93,39	177 nolu barada yapılan üretim (MW)
71	Pg178	0	138,8	78,00	130,33	178 nolu barada yapılan üretim (MW)
72	Pg179	0	172,8	171,00	77,50	179 nolu barada yapılan üretim (MW)
73	Pg180	0	172,8	123,00	128,95	180 nolu barada yapılan üretim (MW)
74	Pg187	0	303	150,00	179,24	187 nolu barada yapılan üretim (MW)
75	Pg188	0	303	150,00	94,28	188 nolu barada yapılan üretim (MW)
76	S14	0	1	1	1	24-94 nolu bara arasındaki hattın durumu
77	S9	0	1	1	1	10-74 nolu bara arasındaki hattın durumu
78	S68	0	1	1	0	171-271 nolu bara arasındaki hattın durumu
79	S29	0	1	1	0	43-148 nolu bara arasındaki hattın durumu
80	S28	0	1	1	1	43-127 nolu bara arasındaki hattın durumu
81	S77	0	1	1	1	190-191 nolu bara arasındaki hattın durumu
82	S259	0	1	1	1	170-169 nolu bara arasındaki hattın durumu
83	S260	0	1	1	0	170-169 nolu bara arasındaki hattın durumu
84	S30	0	1	1	1	54-61 nolu bara arasındaki hattın durumu
85	S23	0	1	1	1	40-145 nolu bara arasındaki hattın durumu
86	S89	0	1	1	1	198-242 nolu bara arasındaki hattın durumu
87	S27	0	1	1	1	43-114 nolu bara arasındaki hattın durumu
88	S41	0	1	1	1	74-114 nolu bara arasındaki hattın durumu
89	S2	0	1	1	0	5-26 nolu bara arasındaki hattın durumu
90	S34	0	1	1	1	61-77 nolu bara arasındaki hattın durumu

7.3 Test ve Gerçek Sistemler Üzerinde Yapılan İncelemelerin Değerlendirilmesi

Çalışmada geliştirilen yöntem, 3 ayrı sistem üzerinde 2 ayrı doğadan esinlenilmiş eniyileme yöntemi kullanılarak test edilmiştir.

1. IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde GA ile yapılan eniyileme çalışması
2. IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde AA ile yapılan eniyileme çalışması
3. IEEE 118 baralı test sistemi üzerinde GA ile yapılan eniyileme çalışması
4. IEEE 118 baralı test sistemi üzerinde AA ile yapılan eniyileme çalışması
5. Trakya güç sistemi üzerinde GA ile yapılan eniyileme çalışması
6. Trakya güç sistemi üzerinde AA ile yapılan eniyileme çalışması

Geliştirilen yeni yöntemin, test sistemleri üzerinde, yukarıda verilen tüm uygulamaları sonucunda, arıza akımlarının düşürüldüğü, sistem bara gerilimleri ve hat akışları ile ilgili kısıtların sağlandığı, hat kayıplarının azaltıldığı en iyilenmiş güvenli, ekonomik, sistem işleticisinin memnuniyetinin yükseltildiği çalışma koşullarına ulaşılmıştır.

IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde yapılan çalışmada temel duruma ait (eniyileme öncesi) hesaplamalarda en yüksek arıza akımının 6 nolu barada olduğu görüldü ve bu değer 13,30 p.u. idi. Ardından, aynı test sistemi için geliştirilen matematiksel yöntemi kullandığımızda ve eniyilemeyi genetik algoritma ile yaptığımızda 6 nolu bara arıza akımını 12,29 p.u. değerine düşüren, gerilimleri limitler içinde tutan ve hat kayıplarını azaltan bir çözümün var olduğu belirlenmiştir. Benzer çalışmaları bir de ateşböceği algoritmasını kullanarak yaptığımızda 6 nolu baranın arıza akımının 12,30 p.u. değerine düşüren, gerilimleri limitler içinde tutan ve aktif güç kayıplarını genetik algoritmaya göre daha fazla azaltan bir çözümün var olduğu tespit edilmiştir.

IEEE30 baralı test sisteminde başarılı sonuçlar elde ettikten sonra yöntemi büyük güç sistemi üzerinde denemeye karar verdik ve benzer çalışmaları burada da tekrarladık. IEEE 118 baralı test sistemi üzerinde yapılan çalışmada temel duruma ait (eniyileme öncesi) hesaplamalarda en yüksek arıza akımının 65 nolu barada olduğu görüldü ve bu değer 45,57 p.u. idi. Ardından, aynı test sistemi için geliştirilen matematiksel yöntem kullandığında ve eniyileme genetik algoritma ile yapıldığında 65 nolu bara arıza akımını 38,78 p.u. değerine düşüren, gerilimleri limitler içinde tutan ve hat

kayıplarını azaltan bir çözümün var olduğu belirlenmiştir. Benzer çalışmalar ateşböceği algoritması kullanılarak yapıldığında 65 nolu baranın arıza akımının 38,31 p.u. değerine düşüren, gerilimleri limitler içinde tutan ve hat kayıplarını genetik algoritmaya göre daha fazla azaltan bir çözümün var olduğu tespit edilmiştir.

IEEE'nin her iki test sisteminde de başarılı sonuçlar elde edilmesinin ardından Türkiye Trakya Bölgesi güç sistemi ile çalışmaya karar verildi ve yöntem gerçek sistem üzerinde de test edildi. Trakya Bölgesi güç sistemi üzerinde yapılan çalışmada temel duruma ait (eniyileme öncesi) hesaplamalarda en yüksek arıza akımının 9 nolu barada olduğu görüldü ve bu değer 113,69 p.u. idi. Ardından, aynı test sistemi için geliştirilen matematiksel yöntemi kullanıldığında ve eniyileme genetik algoritma ile yapıldığında 9 nolu bara arıza akımını 108,83 p.u. değerine düşüren, gerilimleri limitler içinde tutan ve hat kayıplarını azaltan bir çözümün var olduğu belirlenmiştir. Benzer çalışmalar bir de ateşböceği algoritması kullanılarak tekrarlandığında 9 nolu baranın arıza akımını 106,42 p.u. değerine düşüren, gerilimleri limitler içinde tutan ve hat kayıplarını azaltan bir çözümün var olduğu tespit edilmiştir.

IEEE 30 ve 118 baralı test sistemleri ile Trakya güç sistemi üzerinde yapılan incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlar çizelge 7.9'da verilmiştir.

Çizelge 7.9'daki sonuçlar incelendiğinde, ortaya konulan yöntemin başarılı sonuçlar verdiğini ve tez çalışmasının amacına ulaştığını göstermektedir. Ayrıca, ateşböceği algoritması ile yapılan eniyileme neticeleri ile genetik algoritma ile yapılan eniyileme neticeleri kıyaslandığında, birbirlerine oldukça yakın sonuçlar elde edilmesine karşın büyük güç sistemlerinde ateşböceği ile yapılan eniyileme sonuçlarının nispi olarak daha iyi sonuç verdiği söylenebilir. Genetik algoritmanın yanı sıra ateşböceği algoritması ile de eniyilemeyi gerçekleştirmenin amacı, hangi yöntemin daha iyi olduğunu tespit etmekten ziyade farklı bir eniyileme yöntemi kullanarak benzer sonuçların elde edilip edilemeyeceğinin ve önerilen yöntemin diğer doğadan esinlenen yöntemler için de uygun olup olmadığının belirlenmesi içindir. Elde edilen sonuçlar, ortaya konulan yöntemin farklı güç sistemlerinde kullanılabileceğini ve farklı eniyileme teknikleri ile çözüm yapılabileceğini de göstermiştir. Bizi ateşböceği algoritması ile çalışmaya iten bir konu da yeni bir eniyileme tekniği olması ve global optimum neticelere ulaşma konusunda başarılı sonuçlar verdiği ile ilgili literatür taramasından edindiğimiz bilgiler olmuştur.

Çizelge 7.9 : IEEE 30 ve 118 baralı test sistemleri ile Trakya güç sistemi üzerinde yapılan inceleme sonuçları.

IEEE 30 Baralı Test Sistemi	Temel Duruma Ait Neticeler	Genetik Algoritma (GA) ile Eniyileme sonrası neticeler		Ateşböceği Algoritması (FA) ile Eniyileme sonrası neticeler	
	Sayısal değer	Sayısal değer	% iyileşme	Sayısal değer	% iyileşme
Toplam aktif kayıp (MW)	6,83	5,90	13,62%	5,68	16,84%
Toplam reaktif kayıp (MVAR)	29,01	28,21	2,76%	28,80	0,72%
En yüksek arıza akımı (p.u - 6 nolu bara)	13,13	12,29	6,40%	12,30	6,32%
Bara arıza akımlarının ortalama değeri (p.u)	6,20	5,60	9,77%	5,59	9,93%
Bara gerilimlerinin ortalama değeri (p.u)	0,992	0,996	✓	0,995	✓

IEEE 118 Baralı Test Sistemi	Temel Duruma Ait Neticeler	Genetik Algoritma (GA) ile Eniyileme sonrası neticeler		Ateşböceği Algoritması (FA) ile Eniyileme sonrası neticeler	
	Sayısal değer	Sayısal değer	% iyileşme	Sayısal değer	% iyileşme
Toplam aktif kayıp (MW)	132,86	120,98	8,94%	117,74	11,38%
Toplam reaktif kayıp (MVAR)	783,79	740,23	5,56%	709,97	9,42%
En yüksek arıza akımı (p.u - 65 nolu bara)	45,57	38,78	14,90%	38,31	15,93%
Bara arıza akımlarının ortalama değeri (p.u)	18,81	18,23	3,07%	18,36	2,38%
Bara gerilimlerinin ortalama değeri (p.u)	0,985	0,985	✓	0,985	✓

Trakya Güç Sistemi	Temel Duruma Ait Neticeler	Genetik Algoritma (GA) ile Eniyileme sonrası neticeler		Ateşböceği Algoritması (FA) ile Eniyileme sonrası neticeler	
	Sayısal değer	Sayısal değer	% iyileşme	Sayısal değer	% iyileşme
Toplam aktif kayıp (MW)	125,42	102,75	18,08%	107,61	14,20%
Toplam reaktif kayıp (MVAR)	1.439,81	1.184,50	17,73%	1.192,73	17,16%
En yüksek arıza akımı (p.u - 9 nolu bara)	113,69	108,83	4,27%	106,42	6,39%
Bara arıza akımlarının ortalama değeri (p.u)	18,88	18,24	3,37%	17,63	6,63%
Bara gerilimlerinin ortalama değeri (p.u)	0,988	1,005	✓	1,000	✓

Geliştirilen yöntem, üç ayrı güç sistemi üzerinde ve iki farklı eniyileme tekniği uygulanarak test edilmiştir. Uygulanan genetik algoritma (GA) ve ateşböceği algoritması (AA) eniyileme tekniklerinin her biri için 20 ayrı çözüm yapılmış, her bir çözümün süreleri ölçülmüş ve sürelerin ortalaması alınarak çizelge 7.10’da verilmiştir. Çizelge 7.10’da verilen süreler, oluşturulan problemin farklı test sistemleri üzerinde çalışma süreleri ile ilgili fikir sahibi olunması için verilmiştir. Bu süreler, bilgisayarların çalışma performanslarına göre farklılık göstermektedir.

Çizelge 7.10 : Test sistemlerinde kullanılan eniyileme tekniklerinin çözüm süreleri.

		IEEE 30 Baralı Test Sistemi	IEEE 118 Baralı Test Sistemi	Trakya Bölgesi Güç Sistemi
GA	Zaman (saat:dak:sn)	00:05:29	00:08:49	00:21:11
AA	Zaman (saat:dak:sn)	00:06:17	00:10:30	00:28:57

8. SONUÇLAR

Gelişen teknoloji ve artan enerji ihtiyacı, enterkonnekte güç sistemlerine yatırımı zorunlu kılar ve sonucunda güç sistemleri, her yatırımla beraber biraz daha genişler ve güçlenir. Türkiye elektrik güç sistemi yıllık %6-8 oranında talep artışına paralel olarak yeni hat tesisleri, var olan hatların gerilim kademelerinin ve kesitlerinin yükseltilmesi, yeni üretim kaynaklarının devreye girmesi ile her gün biraz daha genişlemektedir. Genişleyen sistemin ortaya çıkarttığı sorunlardan biri de kısa devre güçlerinin yükselmesidir. Yükselen kısa devre güçleri, yaşanan arızalarda kesicilerin daha çabuk yaşlanmasına ve limiti aşan durumlarda ise kesme işleminde başarısız olmasına neden olacaktır. Öyleyse, olası arızalarda şalt cihazlarının sorunsuz çalışabilmeleri, zincirleme açmalara sebebiyet verilmeden koruma görevlerini yerine getirebilmeleri gerekmektedir. Genişleyen güç sistemlerinde bunun yolu, bara arıza akımlarının, şalt cihazlarının kesme kapasitelerinin üzerine çıkmasına izin vermemek olacaktır. Orta ve uzun vade planlamalarında yükselen arıza akımlarını düşürebilmek için yatırım planlanabilir ve arıza akımları izin verilen seviyelerin altına çekilebilir. Kısa vadede ve mevcut işletme şartlarında arıza akımının düşürülmesine yönelik atılması gereken adımlar ise bu tezin çalışma konusu içinde incelenmiştir.

Genişleyen güç sisteminde, mevcut işletme şartlarında arıza akımını düşürmenin yolları bazı hatları açarak sistemin işletilmesi, arıza akımı açısından kritik istasyonlarda bara kuplajının açılarak sistemin işletilmesi veya kontrollü bölgeler oluşturularak (splitted area mode) sistemin işletilmesi sayılabilir. Büyük güç sistemlerinde bu müdahale seçeneklerinden en uygun olanlarının belirlenebilmesi için tez çalışmasında duyarlılık analizi yapılmış, bulanık çok amaçlı eniyileme problemi oluşturulmuş ve doğadan esinlenen yöntemlerden ateşböceği algoritması ve genetik algoritma ile de problemin eniyilemesi yapılarak sonuca ulaşılmıştır.

Elektrik güç sistemlerinde sistem genişlemesi koşulları altında işletmenin eniyilenmesi için yeni bir akıllı yöntem geliştirilmesi fikri, global eğilimlerden ve ulusal güç sistemimizdeki gelişmeler ve ihtiyaçtan doğmuştur. Tez çalışmasında

geliştirilen yöntem kullanılarak yapılan incelemeler ile yöntemin tüm güç sistemlerine uygulanabileceği tespit edilmiştir. Güç sistemlerinin mevcut işletme koşullarında yük tevzi operatörünün tecrübesine dayalı manevra seçimleri yerine, en iyi sistem işletim koşullarının elde edilmesine yönelik matematiksel incelemelere dayalı bu yöntemin uygulanması, operatör hatalarına karşı sistemi güvenli yapacak ve sistem daha ekonomik işletilebilecektir.

Genişleyen güç sistemlerinde mevcut işletme şartları altında arıza akımlarını düşürmeye yönelik geliştirilen bu yöntem ile yaptığımız incelemeler neticesinde tezin amacını yerine getiren sonuçlar elde edilmiştir. Farklı güç sistemleri ve farklı eniyileme teknikleri ile yapılan incelemelerin sonuçları, yöntemin uygulanabilir bir çalışma olduğunu göstermektedir. Geliştirilen yöntem ile arıza akımlarının düşürülmesinin yanı sıra ekonomik işletme şartları da sağlanmıştır.

Tez çalışmasında amaçlanan yöntemin başarılı sonuçlar verip vermeyeceğini farklı boyutlardaki test sistemleri ve gerçek güç sistemi üzerinde test etmek ve birden fazla eniyileme yöntemi kullanarak uygulanabilirliğini görmek açısından çeşitli sistemler ele alınmıştır. Elde edilen sonuçlar ortaya konulan yöntemin farklı güç sistemlerinde kullanılabileceğini ve farklı eniyileme teknikleri ile çözüm yapılabileceğini göstermiştir.

Elektrik güç sistemlerinde bir çok uygulaması olan genetik algoritma (GA) ile eniyileme çalışmalarının yanı sıra literatürde son yıllarda karşılaşılan ateşböceği algoritması (AA) eniyileme tekniğinin de yeni bir alana uygulaması gerçekleştirilmiştir. GA'nın yanı sıra AA'nın da uygulamaya dahil edilmesinin nedenlerinden biri de literatürde bahsedildiği gibi AA'nın global optimumların bulunmasında daha verimli olduğudur. Elde edilen sonuçlar da bunu göstermektedir. Sonuçlar incelendiğinde, AA ile yapılan eniyileme neticeleri ile GA ile yapılan eniyileme neticeleri kıyaslandığında, birbirlerine oldukça yakın sonuçlar elde edilmesine karşın büyük güç sistemlerinde AA ile yapılan eniyileme sonuçlarının nispi olarak daha iyi olduğu söylenebilir.

Literatürdeki sistem işletim koşullarını eniyileme araştırmalarından farklı olarak kesicinin ömür kaybı uygun üyelik fonksiyonu ile ele alınarak probleme dahil edilmiştir. Tez çalışmasında kullanılan arıza akımı üyelik fonksiyonu, imalatçı firmaların katalogları incelenerek kesiciler için verilen açma kapama bilgilerinden

elde edilmiştir. Arıza akımı için bulunan üyelik fonksiyonu, aynı zamanda kesicinin ömür eğrisidir. Öyleyse, arıza akımlarında memnuniyetin yükseltildiği oranda kesici ömründe de iyileşme olacaktır. Arıza akımı üyelik fonksiyonundaki yüksek memnuniyet, güç sisteminde güvenli çalışma koşullarını iyileştireceği gibi kesici ömrünü uzatarak işletme maliyetlerini de düşürecektir.

Tez çalışmasında geliştirilen yöntem, farklı sistem elemanlarının kullanım oranının piyasa koşulları altında memnuniyetinin probleme dahil edilmesi, arıza sınırlayıcılarının bir kontrol elemanı olarak probleme dahil edilmesi veya güvenlik indeksi gibi farklı bir takım parametrelerin yönteme dahil edilmesi ile daha da geliştirilebilir ve bundan sonraki araştırmalara ışık olabilir. Ayrıca, Türkiye ulusal güç sisteminin tamamı üzerinde uygulamasının yapılması, gelecekte gerçekleştirilebilecek çalışmalar arasındadır.

KAYNAKLAR

- [1] Türkiye’de Elektriğin Tarihi. (t.y.). Vikipedi Özgür Ansiklopedi. Erişim: 09 Mart 2014,
http://tr.wikipedia.org/wiki/T%C3%BCrkiye%27de_elektri%C4%9Fin_tarihi
- [2] **TEİAŞ resmi internet sitesi.** (t.y.). Erişim: 15 Aralık 2013,
<http://www.teias.gov.tr/>
- [3] **TEİAŞ, APK Dairesi Başkanlığı** (2012). *Türkiye Elektrik Enerjisi 10 Yıllık Üretim Kapasite Projeksiyonu Raporu (2012-2021).*
- [4] **Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu** (2013). “*Elektrik İletim Sistemi Arz Güvenilirliği ve Kalitesi Yönetmeliği*”
- [5] **Hyun-Il Son, In-Su Bae, Dong-Hoon Jeon, Jin-O Kim** (2009). Transmission network expansion planning using well-being method, *IEEE T&D Asia*
- [6] **TrungTinh Tran, VanTan Tran, PhanTu Vu, Jeongje Park, Jaeseok Choi** (2009). A practical method for tranmission expansion planning, *Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009, pp.1-5, 26-30 Oct.*
- [7] **Falvo, M.C.** (2006). An approach for transmission system expansion planning in electricity market, *Power Engineering Society General Meeting, IEEE, pp.7 pp., 0-0 0, doi: 10.1109/PES.2006.1709168*
- [8] **Jeonje Park, Wu Liang, Jaeseok Choi, El-Keib, Shahidehpour, M.** (2009). Transmission system expansion planning by nodal delivery marginal rate criterion, *Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, pp.1-4, 26-30 Oct.*
- [9] **Yimchuen, K., Udomwongseeree, K.** (2011). Transmission Expansion Planning with consideration of voltage stability using Genetic Algorithm, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 8th International Conference on, pp.909-912, 17-19 May.*
- [10] **Rahmani, M., Rashidinejad, M., Carreno, E.M., Romero, R.A.** (2010). A combinatorial approach for transmission expansion & reactive power planning, *Transmission and Distribution Conference and Exposition: Latin America (T&D-LA), IEEE/PES, pp.529-536, 8-10 Nov.*
- [11] **M.J. Rider, A.V. Garcia, R. Romero** (2008). Transmission system expansion planning by a branch and bound algorithm, *IET Gener. Transm. Distrib., Vol.2, No. 1, Jan.*
- [12] **Hong-Shan Zhao, Liang Chen, Tao Wu** (2009). Optimal Computation of the Transmission System Expansion Planning using the Branch and Bound Method, *Power and Energy Engineering Conference, APPEEC 2009. Asia-Pacific, pp.1-4, 27-31 March.*

- [13] **Khorrami, M., Naderi, M.S., Nejad, N.K.** (2010). Using Interphase Power Controller to control the short circuit level in transmission power network, *Power System Technology (POWERCON), International Conference on*, pp.1-6, 24-28 Oct.
- [14] **da Silva, A.M.L., Rezende, L.S., Manso, L.A.F., Anders, G.J.** (2010). Transmission expansion planning: A discussion on reliability and "N-1" security criteria, *Probabilistic Methods Applied to Power Systems (PMAPS), IEEE 11th International Conference on*, vol., no., pp.244-251, 14-17 June.
- [15] **Huang Wei, Feng Li, He Zijun, Cui Junzhao, Zhang Li** (2011). Transmission network planning with N-1 security criterion based on improved multi-objective genetic algorithm, *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 4th International Conference on*, pp.1250-1254, 6-9 July.
- [16] **Asadamongkol, S., Eua-arporn, B.** (2009). Transmission system expansion planning with consideration of N-1 security constraints, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2009, 6th International Conference on*, vol.01, no., pp.218-221, 6-9 May.
- [17] **Shariati, H., Askarian Abyaneh, H., Javidi, M.H., Razavi, F.** (2008). Transmission expansion planning considering security cost under market environment, *Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, DRPT 2008. Third International Conference on*, vol., no., pp.1430-1435, 6-9 April.
- [18] **Jaeseok Choi, Mount, T., Thomas, R.** (2006). Transmission System Expansion Plans in View Point of Deterministic, Probabilistic and Security Reliability Criteria, *System Sciences, HICSS '06. Proceedings of the 39th Annual Hawaii International Conference on*, vol.10, pp. 247b, 04-07 Jan.
- [19] **Vovos, P.N., Bialek, J.W.** (2005). Direct incorporation of fault level constraints in optimal power flow as a tool for network capacity analysis, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.20, no.4, pp. 2125-2134, Nov.
- [20] **Vovos, P.N., Harrison, G.P., Wallace, A.R., Bialek, J.W.** (2005). "Optimal power flow as a tool for fault level-constrained network capacity analysis, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.20, no.2, pp. 734-741, May.
- [21] **Vovos, P. N., Bialek, J.W.** (2006). Impact of Fault Level Constraints on the Economic Operation of Power Systems, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.21, no.4, pp.1600-607, Nov.
- [22] **Jen-Hao Teng, Chan-Nan Lu** (2007). Optimum Fault Current Limiter Placement, *Intelligent Systems Applications to Power Systems, ISAP 2007. International Conference on*, pp.1-6, 5-8 Nov.
- [23] **Byung Chul Sung, Dong Keun Park, Jung-Wook Park, Tae Kuk Ko** (2009). Study on Optimal Location of a Resistive SFCL Applied to an Electric Power Grid, *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, vol.19, no.3, pp.2048-2052, June.

- [24] **Mohseni, A., Mohajer Yami, S., Shayegani Akmal, A.A.** (2011). Sensitivity analysis and stochastic approach in study of transient recovery voltage with presence of superconducting FCL, *Electrical Power and Energy Conference (EPEC), 2011 IEEE*, vol., no., pp.479-484, 3-5 Oct.
- [25] **Wook-Won Kim, Sung-Yul Kim and Jin-O Kim** (2010). SFCL Location Selection Considering Reliability Indices, *World Academy of Science, Engineering and Technology* 69.
- [26] **Vovos, P.N., Bialek, J.W.** (2007). Combinational mechanism for generation capacity and network reinforcement planning, *Generation, Transmission & Distribution, IET*, vol.1, no.2, pp.303-311, March.
- [27] **Sulaiman, M.H., Mustafa, M.W., Azmi, A., Aliman, O., Abdul Rahim, S.R.** (2012). Optimal allocation and sizing of Distributed Generation in distribution system via Firefly Algorithm, *Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO) Melaka, Malaysia, 2012 IEEE International*, pp.84-89, 6-7 June.
- [28] **Abido, M.A., Bakhshwain, J.M.** (2003). A novel multiobjective evolutionary algorithm for optimal reactive power dispatch problem, *Electronics, Circuits and Systems, 2003. ICECS 2003. Proceedings of the 2003 10th IEEE International Conference on*, vol.3, pp. 1054- 1057, 14-17, Dec.
- [29] **Abido, A.A.** (2001). A new multiobjective evolutionary algorithm for environmental/economic power dispatch, *Power Engineering Society Summer Meeting, 2001*, vol.2, pp.1263-1268.
- [30] **Fereidouni, A.R., Vahidi, B., Hosseini Mehr, T.** (2013). The Impact of Solid State Fault Current Limiter on Power Network With Wind-Turbine Power Generation, *Smart Grid, IEEE Transactions on*, vol.4, no.2, pp.1188,1196, June.
- [31] **Jaehee Lee, Sung-Kwan Joo** (2013). Economic Assessment Method for Superconducting Fault Current Limiter (SFCL) in Fault Current-Constrained Power System Operation, *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, vol.23, no.3, pp.5601104,5601104, June.
- [32] **Guk-Hyun Moon, Jaehee Lee, Sung-Kwan Joo** (2013). Integrated Generation Capacity and Transmission Network Expansion Planning With Superconducting Fault Current Limiter (SFCL), *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on*, vol.23, no.3, pp.5000510, 5000510, June.
- [33] **Orfanos, G.A., Georgilakis, P, Hatziaargyriou, N.D.** (2013). Transmission Expansion Planning of Systems With Increasing Wind Power Integration, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.28, no.2, pp.1355,1362, May.
- [34] **El Moursi, M.S., Hegazy, R.** (2013). Novel Technique for Reducing the High Fault Currents and Enhancing the Security of ADWEA Power System, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.28, no.1, pp.140,148, Feb.

- [35] **Chantachiratham, P., Hongesombut, K.** (2012). PSO based approach for optimum fault current limiter placement in power system, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2012 9th International Conference on, pp.1,4, 16-18 May.
- [36] **Gilany, M., Al-Hasawi, W.** (2009). Reducing the Short Circuit Levels in Kuwait Transmission Network (A Case Study), *World Academy of Science, Engineering and Technology* 53, pp.592-596.
- [37] **El Moursi, M.S., Hegazy, R.** (2013). Novel Technique for Reducing the High Fault Currents and Enhancing the Security of ADWEA Power System, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.28, no.1, pp.140,148, Feb.
- [38] **Boonsuwan, K., Hoonchareon, N.** (2011). Transmission network reconfiguration algorithm considering short-circuit curtailment and voltage stability index, *Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 8th International Conference on , pp.877,880, 17-19 May.
- [39] **Mohseni, A., Mohajer Yami, S., Akmal, A.A.S.** (2011). Sensitivity analysis and stochastic approach in study of transient recovery voltage with presence of superconducting FCL, *Electrical Power and Energy Conference (EPEC)*, 2011 IEEE, pp.479,484, 3-5 Oct.
- [40] **Chureemart, J., Churueang, P.** (2008). Sensitivity analysis and its applications in power system improvements, *Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2008. 5th International Conference on*, vol.2, pp.945,948, 14-17 May.
- [41] **Chantachiratham, P., Hongesombut, K.** (2012). PSO based approach for optimum fault current limiter placement in power system, *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 9th International Conference on, pp.1,4, 16-18 May.
- [42] **Del Castillo, M.Y., Hwachang Song,** (2012). Tabu search based topology modification for reduction of fault current level in power systems, *Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 13th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS)*, Joint 6th International Conference on , pp.2029,2032, 20-24 Nov
- [43] **Sulaiman, M.H., Mustafa, M.W., Azmi, A., Aliman, O., Abdul Rahim, S.R.** (2012). Optimal allocation and sizing of Distributed Generation in distribution system via Firefly Algorithm, *Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO) Melaka, Malaysia, IEEE International*, pp.84,89, 6-7 June.
- [44] **Saravanamutthukumaran, S., Kumarappan, N.** (2012). Sizing and siting of Distribution Generator for different loads using firefly algorithm, *Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM)*, International Conference on, pp.800,803, 30-31 March.

- [45] **Olamaei, J., Moradi, M., Kaboodi, T.** (2013). A new adaptive modified Firefly Algorithm to solve optimal capacitor placement problem, *Electrical Power Distribution Networks (EPDC), 18th Conference on*, pp.1,6, 30 April-1 May.
- [46] **Farhoodnea, M., Mohamed, A., Shareef, H., Zayandehroodi, H.** (2013). Optimum D-STATCOM placement using firefly algorithm for power quality enhancement, *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), IEEE 7th International*, pp.98,102, 3-4 June.
- [47] **Niknam, T., Azizipanah-Abarghooee, R., Roosta, A.** (2012). Reserve Constrained Dynamic Economic Dispatch: A New Fast Self-Adaptive Modified Firefly Algorithm, *Systems Journal, IEEE* , vol.6, no.4, pp.635,646, Dec.
- [48] **Abedinia, O., Amjady, N., Naderi, M.S.** (2012). Multi-objective Environmental/Economic Dispatch using firefly technique, *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2012 11th International Conference on*, pp.461,466, 18-25 May.
- [49] **Sulaiman, M.H., Daniyal, H., Mustafa, M.W.** (2012). Modified Firefly Algorithm in solving economic dispatch problems with practical constraints, *Power and Energy (PECon), 2012 IEEE International Conference on*, pp.157,161, 2-5 Dec.
- [50] **Sulaiman, M.H., Mustafa, M.W., Zakaria, Z.N., Aliman, O., Rahim, S.R.A.** (2012). Firefly Algorithm technique for solving Economic Dispatch problem, *Power Engineering and Optimization Conference (PEDCO) Melaka, Malaysia, IEEE International*, pp.90,95, 6-7 June.
- [51] **Apostolopoulos, Theofanis, Vlachos, Aristidis,** (2011). Application of the Firefly Algorithm for Solving the Economic Emissions Load Dispatch Problem *International Journal of Combinatorics, Volume, Article ID 523806, 23 pages.*
- [52] **Singh, J., Wadhwani, S.** (2013). Economic Load Dispatch Problem Using Firefly Algorithm, *International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 4, Issue 6, June.*
- [53] **K. Sudhakara Reedy, M. Damodar Reedy** (2012). Economic Load Dispatch Using Firefly Algorithm, *International Journal of Engineering Research and Applications, Vol. 2, Issue4, July-August*, pp.2325-2330,
- [54] **Shyh-Jier Huang, Xian-Zong Liu, Wei-Fu Su, Shu-Hsuan Yang** (2013). Application of Hybrid Firefly Algorithm for Sheath Loss Reduction of Underground Transmission Systems, *Power Delivery, IEEE Transactions on*, vol.28, no.4, pp.2085,2092, Oct.
- [55] **Nadhir, K., Chabane, D., Tarek, B.** (2013). Firefly algorithm based energy loss minimization approach for optimal sizing & placement of distributed generation, *Modeling, Simulation and Applied Optimization (ICMSAO), 2013 5th International Conference on*, pp.1,5, 28-30 April.

- [56] **Wong Ling Ai, Shareef, H., Mohamed, A., Ibrahim, A.A.** (2013). Application of binary firefly algorithm for optimal power quality monitor positioning, *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), IEEE 7th International*, pp.386,390, 3-4 June.
- [57] **Chandrasekaran, K., Simon, S.P.** (2013). Optimal Deviation Based Firefly Algorithm Tuned Fuzzy Design for Multi-Objective UCP, *Power Systems, IEEE Transactions on*, vol.28, no.1, pp.460,471, Feb.
- [58] **Saibal K. Pal, C.S. Rai**, (2012), Comparative Study of Firefly Algorithm and Particle Swarm Optimization for Noisy Non-Linear Optimization Problem, *I.J.Intelligent Systems and Applications*, 2012, 10, 50-57, Published Online September.
- [59] **Chai-ead N., Aungkulanon P., Luangpaiboon** (2011). Bees and Firefly Algorithms for Noisy Non-Linear Optimisation Problems, *Proceedings of the International Multi Conference of Engineers and Computer Scientists*, Vol. II, IMECS 2011, March 16-18, Hong Kong.
- [60] **Kovalsky, L., Xing Yuan, Tekletsadik, K., Keri, A., Bock, J., Breuer, F.** (2005). Applications of superconducting fault current limiters in electric power transmission systems, *Applied Superconductivity, IEEE Transactions on* , vol.15, no.2, pp.2130,2133, June 2005.
- [61] **Dola, H.M., Chowdhury, B.H.** (2006). Intentional islanding and adaptive load shedding to avoid cascading outages, *Power Engineering Society General Meeting, IEEE*, pp.8.
- [62] **Moreno, R., Rios, M.A., Torres, A.** (2010). Security schemes of power systems against blackouts, *Bulk Power System Dynamics and Control (iREP) - VIII (iREP), iREP Symposium*, pp.1,6, 1-6 Aug.
- [63] **Kai Sun, Sidhu, T.S., Ming Jin** (2005). Online pre-analysis and real-time matching for controlled splitting of large-scale power networks, *Future Power Systems, International Conference on*, pp.6, 18-18 Nov.
- [64] **A.Peiravi, R.Ildarabadi** (2009). A Fast Algorithm for Intentional Islanding of Power Systems Using Multilevel Kernel k-Means Approach, *Journal of Applied Sciences* 9 (12): 2247-2255, ISSN 1812-5654; *Asian Network for Scientific Information*.
- [65] **Neng Fan, David Izraelevitz, Feng Pan, Panos M. Pardalos, Jianhui Wang** (2012). A mixed integer programming approach for optimal power grid intentional islanding, *Springer; Energy Syst.* 3:77-93, published online 05 January, Springer-Verlag.
- [66] **Xueguang Wu, Joseph Mutale, Nick Jenkins, Goran Strbac** (2003). An investigation of network splitting for fault level reduction, *Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper* 25, January.
- [67] **Orpe, S., Nair, N.C.** (2009). State of art of fault current limiters and their impact on overcurrent protection, *Power & Energy Society General Meeting, 2009. PES '09. IEEE*, pp.1,5, 26-30 July.

- [68] **Gökhan ÇAKAL** (2012). Dağıtılmış üretime sahip elektrik dağıtım sistemlerinde arıza akımı sınırlayıcılarının ve yerleşim yerlerinin etkilerinin incelenmesi, (*Yüksek Lisans Tezi*) *İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Programı, İstanbul*.
- [69] **Martinez, J.A.** (2001). Computational aspects of sensitivity analysis, *Power Engineering Society Winter Meeting, IEEE* , vol.2, pp.799-800 vol.2.
- [70] **Triantaphyllou E.** (1997). A Sensitivity Analysis Approach For Some Deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods, *Decision Sciences, Vol.28, No.1, pp.151-194, Winter*
- [71] **Fishburn P.C.** (1967). Methods of Estimating Additive Utilities, *Management Science, Vol.13, No.7, March*.
- [72] **Fishburn P.C.** (1967). An Abbreviated States of the World Decision Model, *Research Analysis Corporation, Mc Lean, pp. 300-306, December 13*.
- [73] **L.A.Zadeh, edited by G.J.Kiler and B.Yuan** (1996). Fuzzy Sets, Fuzzy Logic and Fuzzy Systems, *Selected Papers, World Scientific, Applications and Theory, Vol.6*.
- [74] **L.A.Zadeh, K.S.Fu, K.Tanaka, M.Shimura** (1975). Fuzzy Sets and Their Applications to Cognitive and Decision Processes, *Academic Press, The University of California, Berkeley*.
- [75] **L.A. Zadeh** (1978). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, *Fuzzy sets and system 1, 3-28, North Holland Publishing Company*
- [76] **L.A. Zadeh** (1965). Fuzzy sets, *Information and Control, pp.338-353*.
- [77] **Mohamed E. El- Hawary** (1998). Electric Power Applications on Fuzzy Systems, *IEEE Press*.
- [78] **George J. Klir, Bo Yuan** (1995). Fuzzy Sets and Fuzzy Logic, Theory and Applications, *Prentice Hall PTR*.
- [79] **Mustafa Bağrıyanık, Gülcihan O. Dağ** (2010). Controlling Unscheduled Flows Using Fuzzy Set Theory and Genetic Algorithms, *International Review of Electrical Engineering (I.R.E.E.), Vol.5, N.1, January-February*.
- [80] **K. Tomsovic** (1992). Fuzzy Linear Programming Approach to the Reactive Power/Voltage Control Problem, *IEE, Transaction on Power Systems, Vol.7, No.1, February*.
- [81] **K. Tomsovic, M.Y.Chow (Editors)** (2000). Tutorial on Fuzzy Logic Applications in Power Systems, *Prepared for the IEEE-PES Winter Meeting in Singapore, January*.
- [82] **R.T. Marler, J.S. Arora** (2004). Survey of multi-objective optimization methods for engineering, *Review Article, Struct Multidisc Optim 26, pp. 369-395*.
- [83] **Siemens AG, Energy Sector** (2009). High-Voltage Circuit Breakers 3AP1/, 72,5 kV up to 550 kV, No: E50001-G630-A132-X-4A00-XX.

- [84] **ABB Application Guide, High Voltage Products** (2010). Live Tank Circuit Breakers, Application Guide, *Publication 1HSM 9543 23 – 02 en, Edition 1.1, 2010-11, Chapter 9.*
- [85] **Hüseyin Çakır** (1986). Elektrik Güç Sistemleri Analizi, *Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Nesil Matbaacılık, İstanbul.*
- [86] **Hadi Saadat** (1999). Power System Analysis, *McGraw-Hill International Editions.*
- [87] **Sweeting, D.** (2011). Applying IEC 60909, short-circuit current calculations, *Petroleum and Chemical Industry Conference (PCIC), 2011 Record of Conference Papers Industry Applications Society 58th Annual IEEE , pp.1,6, 19-21 Sept.*
- [88] **IEC International Standart** (2001). Short-circuit currents in three-phase a.c. systems, *Part:0 Calculation of currents, IEC 60909, First edition, 2001-07, Table 1-Voltage factor c.*
- [89] **A.E.Eiben, J.E.Smith** (2003). Introduction of Evolutionary Computing, *Springer, Natural Computing Series, July.*
- [90] **Thomas Weise** (2009). Global Optimization Algorithms, *Theory and Application, Version: 26 June, Second Edition.*
- [91] **David Edward Goldberg** (2004). Practical Genetic Algorithms, *Wiley-Interscience.*
- [92] **Randy L. Haupt, Sue Ellen Haupt** (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning, *Addison-Wesley.*
- [93] **G.G.Emel, Ç.Taşkın** (2002). Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları, *Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt XXI, Sayı 1, s.129-152.*
- [94] **Xin-She Yang** (2010). Firefly Algorithm, Levy Flights and Global Optimization, *Research and Development in Intelligent Systems XXVI; Springer-Verlag London Limited.*
- [95] **Xin-She Yang** (2010). Firefly Algorithm, Stochastic Test Functions and Design Optimization, *Int. J. Bio-Inspired Computation, Vol.2, No.2, pp.78-84, March 9.*
- [96] **Xin-She Yang** (2009). Firefly Algorithm for Multimodal Optimization, *in: Stochastic Algorithms: Foundations and Applications, SAGA 2009, Lecture Notes in Computer Sciences, Vol.5792, pp.169-178.*
- [97] **Xin-She Yang** (2010). Engineering Optimization: An Introduction with Metaheuristic Applications, *John Wiley & Sons, Inc.*
- [98] **Alsac, O., Stott, B.** (1974). Optimal Load Flow with Steady-State Security, *Power Apparatus and Systems, IEEE Transactions on, vol.PAS-93, no.3, pp.745-751, May.*
- [99] **University of Washington** (t.y.). Power System Test Case Archive, Electrical Engineering, Erişim: 07 Mart 2012, <http://www.ee.washington.edu/research/pstca/>

- [101] **Okan Uslu** (2008), Türkiye Elektrik İletim Şebekesinin Trakya Bölümünün Kontrollü Çalışma Bölgelerine Ayrılmasının İncelenmesi, (*Yüksek Lisans Tezi*) *İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Programı, İstanbul.*
- [102] **MATLAB**, The MathWorks, *R2010a, Computer Software.*
- [103] **Ray D. Zimmerman, Carlos E. Murillo-Sanchez**, (2007), MATPOWER, A MATLAB Power System Simulation Package, *Version 3.2, September 21, Computer Software.*
- [104] **Siemens** (2010). PSS®E Software, *University Edition, Version.32.0.5, Computer Software*, Erişim: 07 Mart 2012,
<http://w3.usa.siemens.com/smartgrid/us/en/transmission-grid/products/grid-analysis-tools/transmission-system-planning/Pages/University-Order.aspx>

EKLER

EK A : IEEE 30 baralı test sistemine ait bilgiler.

EK B : IEEE 118 baralı test sistemine ait bilgiler.

EK C : Trakya güç sistemine ait bilgiler.

EK A : IEEE 30 baralı test sistemine ait bilgiler.

Çizelge A.1 : IEEE 30 baralı test sistemindeki hat bilgileri.

Hat No	Bara No		R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Raiting (MVA)
1	1	2	0,0192	0,0575	0,0264	200
2	1	3	0,0452	0,1852	0,0204	130
3	2	4	0,0570	0,1737	0,0184	65
4	3	4	0,0132	0,0379	0,0042	130
5	2	5	0,0472	0,1983	0,0209	130
6	2	6	0,0581	0,1763	0,0187	65
7	4	6	0,0119	0,0414	0,0045	90
8	5	7	0,0460	0,1160	0,0102	70
9	6	7	0,0267	0,0820	0,0085	130
10	6	8	0,0120	0,0420	0,0045	65
11	6	9	0,0000	0,2080	0,0000	65
12	6	31	0,0000	0,5560	0,0000	32
13	9	11	0,0000	0,2080	0,0000	65
14	9	10	0,0000	0,1100	0,0000	65
15	4	32	0,0000	0,2560	0,0000	65
16	12	13	0,0000	0,1400	0,0000	65
17	12	14	0,1231	0,2559	0,0000	32
18	12	15	0,0662	0,1304	0,0000	32
19	32	16	0,0945	0,1987	0,0000	32
20	14	15	0,2210	0,1997	0,0000	16
21	16	17	0,0824	0,1932	0,0000	16
22	33	18	0,1070	0,2185	0,0000	32
23	18	19	0,0639	0,1292	0,0000	32
24	19	20	0,0340	0,0680	0,0000	32
25	31	20	0,0936	0,2090	0,0000	32
26	31	17	0,0324	0,0845	0,0000	32
27	10	21	0,0348	0,0749	0,0000	32
28	10	22	0,0727	0,1499	0,0000	32
29	21	22	0,0116	0,0236	0,0000	32
30	33	23	0,1000	0,2020	0,0000	16
31	34	24	0,1150	0,1790	0,0000	16
32	23	24	0,1320	0,2700	0,0000	16
33	24	25	0,1885	0,3292	0,0000	16
34	25	26	0,2544	0,3800	0,0000	16
35	25	27	0,1093	0,2087	0,0000	16
36	28	27	0,0000	0,3960	0,0000	65
37	27	29	0,2198	0,4153	0,0000	16
38	27	30	0,3202	0,6027	0,0000	16
39	29	30	0,2399	0,4533	0,0000	16
40	8	28	0,0636	0,2000	0,0214	32
41	6	28	0,0169	0,0599	0,0065	32
42	10	31	0,0000	0,000001	0,0000	9900
43	12	32	0,0000	0,000001	0,0000	9900
44	15	33	0,0000	0,000001	0,0000	9900
45	22	34	0,0000	0,000001	0,0000	9900

Çizelge A.2 : IEEE 30 baralı test sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

IEEE 30
Bus

TEMEL DURUMA AİT NETİCELER

Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
6,831	29,010

Bara Gerilimi	Bara Arıza Akımı
V_{bara} (pu)	I_{FC} (pu)
1	1,060
2	1,000
3	1,007
4	0,994
5	1,000
6	0,993
7	0,988
8	1,000
9	1,003
10	0,999
11	1,000
12	1,008
13	1,000
14	0,994
15	0,989
16	0,996
17	0,993
18	0,980
19	0,978
20	0,982
21	0,987
22	0,987
23	0,980
24	0,977
25	0,980
26	0,962
27	0,991
28	0,990
29	0,971
30	0,959
31	0,999
32	1,008
33	0,989
34	0,987

BULANIK ORTAMDA GENETİK
ALGORİTMA İLE ENİYİLEME SONRASI
NETİCELER

Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
5,907	28,210

Bara Gerilimi	Bara Arıza Akımı
V_{bara} (pu)	I_{FC} (pu)
1	1,060
2	1,048
3	1,054
4	1,052
5	1,041
6	1,051
7	1,040
8	1,053
9	0,986
10	0,968
11	1,054
12	0,978
13	1,010
14	0,962
15	0,957
16	0,952
17	0,957
18	0,948
19	0,946
20	0,950
21	0,955
22	0,955
23	0,947
24	0,943
25	1,027
26	1,010
27	1,036
28	1,033
29	1,016
30	1,005
31	0,968
32	0,978
33	0,957
34	0,955

Çizelge A.3 : IEEE 30 baralı test sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

**IEEE 30
Bus**

TEMEL DURUMA AİT NETİCELER

Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
6,831	29,010

**BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ
ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME
SONRASI NETİCELER**

Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
5,686	28,800

Bara No	Bara Gerilimi V_{bara} (pu)	Bara Arıza Akımı I_{FC} (pu)
1	1,060	11,3057
2	1,000	13,1156
3	1,007	9,6469
4	0,994	11,8668
5	1,000	9,5188
6	0,993	13,1374
7	0,988	8,9202
8	1,000	11,0587
9	1,003	7,2919
10	0,999	6,3976
11	1,000	6,2716
12	1,008	6,9043
13	1,000	6,4931
14	0,994	3,6494
15	0,989	5,1047
16	0,996	4,4024
17	0,993	4,9950
18	0,980	3,4945
19	0,978	3,4940
20	0,982	3,7001
21	0,987	5,1902
22	0,987	5,1532
23	0,980	3,5259
24	0,977	3,9725
25	0,980	2,7570
26	0,962	1,2996
27	0,991	2,9236
28	0,990	8,7775
29	0,971	1,5619
30	0,959	1,4308
31	0,999	6,3976
32	1,008	6,9043
33	0,989	5,1047
34	0,987	5,1532

Bara No	Bara Gerilimi V_{bara} (pu)	Bara Arıza Akımı I_{FC} (pu)
1	1,060	11,0121
2	1,050	12,6842
3	1,055	9,2144
4	1,053	11,1328
5	1,026	9,3366
6	1,049	12,3093
7	1,032	8,6357
8	1,047	10,4804
9	0,990	7,3948
10	0,978	6,1449
11	1,053	6,2976
12	0,998	6,6747
13	1,042	6,3954
14	0,987	3,3527
15	0,989	4,0051
16	0,980	4,5568
17	0,973	5,0390
18	0,940	1,7744
19	0,943	2,3054
20	0,951	2,7344
21	0,965	4,8817
22	0,966	4,7901
23	0,945	1,6598
24	0,955	3,0257
25	0,976	2,3051
26	0,957	1,1889
27	0,998	2,3526
28	1,013	4,0363
29	0,978	1,3779
30	0,966	1,2745
31	0,978	6,1449
32	0,998	6,6747
33	0,989	4,0051
34	0,966	4,7901

EK B : IEEE 118 baralı test sistemine ait bilgiler.

Çizelge B.1 : IEEE 118 baralı test sistemindeki hat bilgileri.

Hat No	Bara No	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Raiting (MVA)	Hat No	Bara No	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Raiting (MVA)
1	1 2	0,03030	0,09990	0,02540	750	48	33 37	0,04150	0,14200	0,03660	750
2	1 3	0,01290	0,04240	0,01082	750	49	34 36	0,00871	0,02680	0,00568	750
3	4 5	0,00176	0,00798	0,00210	750	50	34 37	0,00256	0,00940	0,00984	750
4	3 5	0,02410	0,10800	0,02840	750	51	38 37	0,00000	0,03750	0,00000	9900
5	5 6	0,01190	0,05400	0,01426	750	52	37 39	0,03210	0,10600	0,02700	750
6	6 7	0,00459	0,02080	0,00550	750	53	37 40	0,05930	0,16800	0,04200	750
7	8 9	0,00244	0,03050	1,16200	750	54	30 38	0,00464	0,05400	0,42200	750
8	8 5	0,00000	0,02670	0,00000	9900	55	39 40	0,01840	0,06050	0,01552	750
9	9 10	0,00258	0,03220	1,23000	750	56	40 41	0,01450	0,04870	0,01222	750
10	4 11	0,02090	0,06880	0,01748	750	57	40 42	0,05550	0,18300	0,04660	750
11	5 11	0,02030	0,06820	0,01738	750	58	41 42	0,04100	0,13500	0,03440	750
12	11 12	0,00595	0,01960	0,00502	750	59	43 44	0,06080	0,24540	0,06068	750
13	2 12	0,01870	0,06160	0,01572	750	60	34 43	0,04130	0,16810	0,04226	750
14	3 12	0,04840	0,16000	0,04060	750	61	44 45	0,02240	0,09010	0,02240	750
15	7 12	0,00862	0,03400	0,00874	750	62	45 46	0,04000	0,13560	0,03320	750
16	11 13	0,02225	0,07310	0,01876	750	63	46 47	0,03800	0,12700	0,03160	750
17	12 14	0,02150	0,07070	0,01816	750	64	46 48	0,06010	0,18900	0,04720	750
18	13 15	0,07440	0,24440	0,06268	750	65	47 49	0,01910	0,06250	0,01604	750
19	14 15	0,05950	0,19500	0,05020	750	66	42 49	0,07150	0,32300	0,08600	750
20	12 16	0,02120	0,08340	0,02140	750	67	42 49	0,07150	0,32300	0,08600	750
21	15 17	0,01320	0,04370	0,04440	750	68	45 49	0,06840	0,18600	0,04440	750
22	16 17	0,04540	0,18010	0,04660	750	69	48 49	0,01790	0,05050	0,01258	750
23	17 18	0,01230	0,05050	0,01298	750	70	49 50	0,02670	0,07520	0,01874	750
24	18 19	0,01119	0,04930	0,01142	750	71	49 51	0,04860	0,13700	0,03420	750
25	19 20	0,02520	0,11700	0,02980	750	72	51 52	0,02030	0,05880	0,01396	750
26	15 19	0,01200	0,03940	0,01010	750	73	52 53	0,04050	0,16350	0,04058	750
27	20 21	0,01830	0,08490	0,02160	750	74	53 54	0,02630	0,12200	0,03100	750
28	21 22	0,02090	0,09700	0,02460	750	75	49 54	0,07600	0,28900	0,07380	750
29	22 23	0,03420	0,15900	0,04040	750	76	49 54	0,08690	0,29100	0,07300	750
30	23 24	0,01350	0,04920	0,04980	750	77	54 55	0,01690	0,07070	0,02020	750
31	23 25	0,01560	0,08000	0,08640	750	78	54 56	0,00275	0,00955	0,00732	750
32	26 25	0,00000	0,03820	0,00000	9900	79	55 56	0,00488	0,01500	0,00374	750
33	25 27	0,03180	0,16300	0,17640	750	80	56 57	0,03430	0,09660	0,02420	750
34	27 28	0,01913	0,08550	0,02160	750	81	50 57	0,04740	0,13400	0,03320	750
35	28 29	0,02370	0,09430	0,02380	750	82	56 58	0,03430	0,09660	0,02420	750
36	30 17	0,00000	0,03880	0,00000	9900	83	51 58	0,02550	0,07190	0,01788	750
37	8 30	0,00431	0,05040	0,51400	750	84	54 59	0,05030	0,22990	0,05980	750
38	26 30	0,00799	0,08600	0,90800	750	85	56 59	0,08250	0,25100	0,05690	750
39	17 31	0,04740	0,15630	0,03990	750	86	56 59	0,08030	0,23900	0,05360	750
40	29 31	0,01080	0,03310	0,00830	750	87	55 59	0,04739	0,21580	0,05646	750
41	23 32	0,03170	0,11530	0,11730	750	88	59 60	0,03170	0,14500	0,03760	750
42	31 32	0,02980	0,09850	0,02510	750	89	59 61	0,03280	0,15000	0,03880	750
43	27 32	0,02290	0,07550	0,01926	750	90	60 61	0,00264	0,01350	0,01456	750
44	15 33	0,03800	0,12440	0,03194	750	91	60 62	0,01230	0,05610	0,01468	750
45	19 34	0,07520	0,24700	0,06320	750	92	61 62	0,00824	0,03760	0,00980	750
46	35 36	0,00224	0,01020	0,00268	750	93	63 59	0,00000	0,03860	0,00000	9900
47	35 37	0,01100	0,04970	0,01318	750	94	63 64	0,00172	0,02000	0,21600	750

Çizelge B.1 (devam) : IEEE 118 baralı test sistemindeki hat bilgileri.

Hat No	Bara No	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Raiting (MVA)	Hat No	Bara No	R (p.u.)	X (p.u.)	B (p.u.)	Raiting (MVA)
95	64 61	0,00000	0,02680	0,00000	9900	141	89 92	0,00990	0,05050	0,05480	750
96	38 65	0,00901	0,09860	1,04600	750	142	89 92	0,03930	0,15810	0,04140	750
97	64 65	0,00269	0,03020	0,38000	750	143	91 92	0,03870	0,12720	0,03268	750
98	49 66	0,01800	0,09190	0,02480	750	144	92 93	0,02580	0,08480	0,02180	750
99	49 66	0,01800	0,09190	0,02480	750	145	92 94	0,04810	0,15800	0,04060	750
100	62 66	0,04820	0,21800	0,05780	750	146	93 94	0,02230	0,07320	0,01876	750
101	62 67	0,02580	0,11700	0,03100	750	147	94 95	0,01320	0,04340	0,01110	750
102	65 66	0,00000	0,03700	0,00000	9900	148	80 96	0,03560	0,18200	0,04940	750
103	66 67	0,02240	0,10150	0,02682	750	149	82 96	0,01620	0,05030	0,05440	750
104	65 68	0,00138	0,01600	0,63800	750	150	94 96	0,02690	0,08690	0,02300	750
105	47 69	0,08440	0,27780	0,07092	750	151	80 97	0,01830	0,09340	0,02540	750
106	49 69	0,09850	0,32400	0,08280	750	152	80 98	0,02380	0,10800	0,02860	750
107	68 69	0,00000	0,37000	0,00000	9900	153	80 99	0,04540	0,20600	0,05460	750
108	69 70	0,03000	0,12700	0,12200	750	154	92 100	0,06480	0,29500	0,04720	750
109	24 70	0,00221	0,41150	0,10198	750	155	94 100	0,01780	0,05800	0,06040	750
110	70 71	0,00882	0,03550	0,00878	750	156	95 96	0,01710	0,05470	0,01474	750
111	24 72	0,04880	0,19600	0,04880	750	157	96 97	0,01730	0,08850	0,02400	750
112	71 72	0,04460	0,18000	0,04444	750	158	98 100	0,03970	0,17900	0,04760	750
113	71 73	0,08660	0,04540	0,01178	750	159	99 100	0,01800	0,08130	0,02160	750
114	70 74	0,04010	0,13230	0,03368	750	160	100 101	0,02770	0,12620	0,03280	750
115	70 75	0,04280	0,14100	0,03600	750	161	92 102	0,01230	0,05590	0,01464	750
116	69 75	0,04050	0,12200	0,12400	750	162	101 102	0,02460	0,11200	0,02940	750
117	74 75	0,01230	0,04060	0,01034	750	163	100 103	0,01600	0,05250	0,05360	750
118	76 77	0,04440	0,14800	0,03680	750	164	100 104	0,04510	0,20400	0,05410	750
119	69 77	0,03090	0,10100	0,10380	750	165	103 104	0,04660	0,15840	0,04070	750
120	75 77	0,06010	0,19990	0,04978	750	166	103 105	0,05350	0,16250	0,04080	750
121	77 78	0,00376	0,01240	0,01264	750	167	100 106	0,06050	0,22900	0,06200	750
122	78 79	0,00546	0,02440	0,00648	750	168	104 105	0,00994	0,03780	0,00986	750
123	77 80	0,01700	0,04850	0,04720	750	169	105 106	0,01400	0,05470	0,01434	750
124	77 80	0,02940	0,10500	0,02280	750	170	105 107	0,05300	0,18300	0,04720	750
125	79 80	0,01560	0,07040	0,01870	750	171	105 108	0,02610	0,07030	0,01844	750
126	68 81	0,00175	0,02020	0,80800	750	172	106 107	0,05300	0,18300	0,04720	750
127	81 80	0,00000	0,03700	0,00000	9900	173	108 109	0,01050	0,02880	0,00760	750
128	77 82	0,02980	0,08530	0,08174	750	174	103 110	0,03906	0,18130	0,04610	750
129	82 83	0,01120	0,03665	0,03796	750	175	109 110	0,02780	0,07620	0,02020	750
130	83 84	0,06250	0,13200	0,02580	750	176	110 111	0,02200	0,07550	0,02000	750
131	83 85	0,04300	0,14800	0,03480	750	177	110 112	0,02470	0,06400	0,06200	750
132	84 85	0,03020	0,64100	0,12340	750	178	17 113	0,00913	0,03010	0,00768	750
133	85 86	0,03500	0,12300	0,02760	750	179	32 113	0,06150	0,20300	0,05180	750
134	86 87	0,02828	0,20740	0,04450	750	180	32 114	0,01350	0,06120	0,01628	750
135	85 88	0,02000	0,10200	0,02760	750	181	27 115	0,01640	0,07410	0,01972	750
136	85 89	0,02390	0,17300	0,04700	750	182	114 115	0,00230	0,01040	0,00276	750
137	88 89	0,01390	0,07120	0,01934	750	183	68 116	0,00034	0,00405	0,16400	750
138	89 90	0,05180	0,18800	0,05280	750	184	12 117	0,03290	0,14000	0,03580	750
139	89 90	0,02380	0,09970	0,10600	750	185	75 118	0,01450	0,04810	0,01198	750
140	90 91	0,02540	0,08360	0,02140	750	186	76 118	0,01640	0,05440	0,01356	750

Çizelge B.2 : IEEE 118 baralı test sistemindeki yük bilgileri.

Bara No	Yük (MW)	Yük (MVAR)	Bara No	Yük (MW)	Yük (MVAR)
1	51	27	60	78	3
2	20	9	61	0	0
3	39	10	62	77	14
4	39	12	63	0	0
5	0	0	64	0	0
6	52	22	65	0	0
7	19	2	66	39	18
8	28	0	67	28	7
9	0	0	68	0	0
10	0	0	69	500	0
11	70	23	70	66	20
12	47	10	71	0	0
13	34	16	72	12	0
14	14	1	73	6	0
15	90	30	74	68	27
16	25	10	75	47	11
17	11	3	76	68	36
18	60	34	77	61	28
19	45	25	78	71	26
20	18	3	79	39	32
21	14	8	80	130	26
22	10	5	81	0	0
23	7	3	82	54	27
24	13	0	83	20	10
25	0	0	84	11	7
26	0	0	85	24	15
27	71	13	86	21	10
28	17	7	87	0	0
29	24	4	88	48	10
30	0	0	89	0	0
31	43	27	90	163	42
32	59	23	91	10	0
33	23	9	92	65	10
34	59	26	93	12	7
35	33	9	94	30	16
36	31	17	95	42	31
37	0	0	96	38	15
38	0	0	97	15	9
39	27	11	98	34	8
40	66	23	99	42	0
41	37	10	100	37	18
42	96	23	101	22	15
43	18	7	102	5	3
44	16	8	103	23	16
45	53	22	104	38	25
46	28	10	105	31	26
47	34	0	106	43	16
48	20	11	107	50	12
49	87	30	108	2	1
50	17	4	109	8	3
51	17	8	110	39	30
52	18	5	111	0	0
53	23	11	112	68	13
54	113	32	113	6	0
55	63	22	114	8	3
56	84	18	115	22	7
57	12	3	116	184	0
58	12	3	117	20	8
59	277	113	118	33	15

Çizelge B.3 : IEEE 118 baralı test sistemindeki üretim bilgileri.

Bara No (Üretim)	P (MW)	Pmin (MW)	Pmax (MW)	Qmin (MVAR)	Qmax (MVAR)
1	0	0	100	-5	15
4	0	0	100	-300	300
6	0	0	100	-13	50
8	0	0	100	-300	300
10	450	0	550	-147	200
12	85	0	185	-35	120
15	0	0	100	-10	30
18	0	0	100	-16	50
19	0	0	100	-8	24
24	0	0	100	-300	300
25	220	0	320	-47	140
26	314	0	414	-1000	1000
27	0	0	100	-300	300
31	7	0	107	-300	300
32	0	0	100	-14	42
34	0	0	100	-8	24
36	0	0	100	-8	24
40	0	0	100	-300	300
42	0	0	100	-300	300
46	19	0	119	-100	100
49	204	0	304	-85	210
54	48	0	148	-300	300
55	0	0	100	-8	23
56	0	0	100	-8	15
59	155	0	255	-60	180
61	160	0	260	-100	300
62	0	0	100	-20	20
65	391	0	491	-67	200
66	392	0	492	-67	200
69	516,4	0	805,2	-300	0
70	0	0	100	-10	32
72	0	0	100	-100	100
73	0	0	100	-100	100
74	0	0	100	-6	9
76	0	0	100	-8	23
77	0	0	100	-20	70
80	477	0	577	-165	280
85	0	0	100	-8	23
87	4	0	104	-100	1000
89	607	0	707	-210	300
90	0	0	100	-300	300
91	0	0	100	-100	100
92	0	0	100	-3	9
99	0	0	100	-100	100
100	252	0	352	-50	155
103	40	0	140	-15	40
104	0	0	100	-8	23
105	0	0	100	-8	23
107	0	0	100	-200	200
110	0	0	100	-8	23
111	36	0	136	-100	1000
112	0	0	100	-100	1000
113	0	0	100	-100	200
116	0	0	100	-1000	1000

Çizelge B.4 : IEEE 118 baralı test sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

**IEEE 118
Bus**

TEMEL DURUMA AİT NETİCELER

1. Sayfa	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp} \text{ (MW)}$	$\Sigma Q_{kayıp} \text{ (MVar)}$
	132,86	783,79

**BULANIK ORTAMDA GENETİK
ALGORİTMA İLE ENİYİLEME SONRASI
NETİCELER**

Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp} \text{ (MW)}$	$\Sigma Q_{kayıp} \text{ (MVar)}$
120,98	740,23

Bara No	Bara Gerilimi	Bara Anza Akımı
	$V_{bus} \text{ (pu)}$	$I_{FC} \text{ (pu)}$
1	0,955	13,7625
2	0,971	13,1939
3	0,968	14,6112
4	0,998	24,3649
5	1,002	26,5804
6	0,990	19,6801
7	0,989	19,2635
8	1,015	26,7245
9	1,043	16,2984
10	1,050	12,6787
11	0,985	22,9265
12	0,990	24,7038
13	0,968	11,6094
14	0,984	12,6751
15	0,970	28,4024
16	0,984	12,3523
17	0,995	33,6214
18	0,973	22,5798
19	0,962	25,1544
20	0,957	9,0459
21	0,958	7,5256
22	0,969	7,7978
23	1,000	19,4848
24	0,992	16,8911
25	1,050	20,6416
26	1,015	21,1347
27	0,968	17,9916
28	0,962	11,0014
29	0,963	12,8766
30	0,985	34,3069
31	0,967	16,7597
32	0,963	21,3223
33	0,971	11,5678
34	0,984	26,0971
35	0,981	19,5066
36	0,980	20,7081
37	0,991	27,6874
38	0,961	30,2605
39	0,970	13,1442
40	0,970	16,4098
41	0,967	11,7146
42	0,985	14,4134
43	0,977	7,1791
44	0,984	6,9591
45	0,986	9,9865
46	1,005	13,5416
47	1,017	16,2455
48	1,021	14,4406
49	1,025	31,6912
50	1,001	12,4054
51	0,967	11,7395
52	0,957	8,7576
53	0,946	8,7768
54	0,955	25,1335
55	0,952	22,7207
56	0,954	25,8170
57	0,971	10,9169
58	0,959	11,3292
59	0,985	25,6071

Bara No	Bara Gerilimi	Bara Anza Akımı
	$V_{bus} \text{ (pu)}$	$I_{FC} \text{ (pu)}$
1	0,955	13,7901
2	0,971	13,2243
3	0,966	14,6493
4	0,998	24,5153
5	0,995	26,7732
6	0,990	19,7541
7	0,989	19,3346
8	1,015	25,2075
9	1,046	15,7634
10	1,051	12,4020
11	0,984	23,0394
12	0,990	24,8242
13	0,967	11,6403
14	0,984	12,7118
15	0,970	28,8056
16	0,980	12,4024
17	0,983	34,7306
18	0,973	22,8684
19	0,962	25,4330
20	0,955	9,0723
21	0,955	7,5408
22	0,966	7,8119
23	0,996	19,5717
24	0,992	16,8398
25	1,044	21,0793
26	1,058	19,7949
27	0,968	18,0728
28	0,962	11,0306
29	0,963	12,9181
30	1,047	30,5789
31	0,967	16,8329
32	0,963	21,4248
33	0,968	11,6738
34	0,984	27,1509
35	0,979	20,0730
36	0,980	21,3216
37	0,983	29,0832
38	1,049	26,4974
39	0,967	13,3105
40	0,970	16,5733
41	0,967	11,7777
42	0,985	14,4433
43	0,974	7,2205
44	0,976	6,9638
45	0,976	9,9805
46	1,005	13,5234
47	1,004	16,2091
48	1,000	14,3974
49	1,000	31,4492
50	0,982	12,4328
51	0,953	8,3198
52	0,946	7,3142
53	0,941	8,6055
54	0,955	24,8716
55	0,952	22,3493
56	0,954	25,1669
57	0,963	10,9112
58	0,948	5,2732
59	1,005	25,8936

Çizelge B.4 (devam) : IEEE 118 baralı test sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

IEEE 118 Bus	TEMEL DURUMA AİT NETİCELER		BULANIK ORTAMDA GENETİK ALGORİTMA İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER		
2. Sayfa	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	
	132,86	783,79	120,98	740,23	
	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı	
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)	Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
60	0,993	23,6227	60	0,985	24,0807
61	0,995	27,6174	61	0,982	28,3183
62	0,998	23,2166	62	0,998	23,5926
63	0,969	25,6736	63	1,037	23,2190
64	0,984	31,8661	64	1,041	28,3411
65	1,005	45,5730	65	1,022	38,7815
66	1,050	31,3640	66	0,990	32,3136
67	1,020	12,8919	67	0,987	13,0104
68	1,003	43,8388	68	1,020	36,5957
69	1,035	33,9998	69	1,035	34,1234
70	0,984	23,1867	70	0,984	18,5618
71	0,987	17,4591	71	0,990	6,4481
72	0,980	11,4411	72	0,980	9,5723
73	0,991	12,5543	73	0,991	6,5228
74	0,958	17,5081	74	0,958	16,5703
75	0,967	22,1142	75	0,967	20,9743
76	0,943	14,8886	76	0,943	14,7072
77	1,006	32,1122	77	1,006	32,1252
78	1,003	25,2575	78	0,999	25,2947
79	1,009	20,1748	79	0,995	20,2329
80	1,040	33,9055	80	1,000	34,3606
81	0,997	33,7437	81	1,030	28,8679
82	0,989	19,4842	82	0,982	19,5163
83	0,984	15,3491	83	0,981	15,3648
84	0,980	10,9825	84	0,979	10,9876
85	0,985	17,1112	85	0,985	17,1201
86	0,987	7,6228	86	0,987	7,6240
87	1,005	6,3047	87	1,015	6,3050
88	0,988	12,9902	88	0,986	12,9946
89	1,005	22,3535	89	1,000	22,3649
90	0,985	15,7915	90	0,985	15,7955
91	0,980	14,0618	91	0,980	14,0649
92	0,990	24,5166	92	0,990	24,5348
93	0,985	14,4235	93	0,981	14,4342
94	0,990	23,3120	94	0,980	23,3513
95	0,980	16,8579	95	0,968	16,8853
96	0,992	21,8610	96	0,977	21,9227
97	1,011	14,2006	97	0,983	14,2497
98	1,024	11,9317	98	0,993	11,9645
99	1,010	16,2150	99	1,010	16,2362
100	1,017	30,9910	100	1,004	31,0371
101	0,991	10,7619	101	0,985	10,7666
102	0,989	13,3440	102	0,988	13,3501
103	1,010	22,9359	103	1,010	22,9481
104	0,971	19,3363	104	0,971	19,3421
105	0,965	21,4440	105	0,965	21,4501
106	0,961	14,2623	106	0,959	14,2656
107	0,952	10,4888	107	0,952	10,4898
108	0,966	13,2200	108	0,966	13,2217
109	0,967	12,8165	109	0,967	12,8179
110	0,973	17,2843	110	0,973	17,2859
111	0,980	10,7102	111	0,980	10,7106
112	0,975	11,1685	112	0,975	11,1690
113	0,993	22,3495	113	0,993	22,6977
114	0,960	13,2252	114	0,960	13,2661
115	0,960	13,0066	115	0,960	13,0464
116	1,005	38,6580	116	1,005	33,0407
117	0,974	5,8291	117	0,974	5,8358
118	0,949	15,3206	118	0,949	14,9557

Çizelge B.5 : IEEE 118 baralı test sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

IEEE 118 Bus			BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER		
TEMEL DURUMA AİT NETİCELER					
1. Sayfa	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	
	132,86	783,79	117,74	709,97	
Bara No	Bara Gerilimi V_{bus} (pu)	Bara Anıza Akımı I_{FC} (pu)	Bara No	Bara Gerilimi V_{bus} (pu)	Bara Anıza Akımı I_{FC} (pu)
1	0,955	13,7625	1	0,955	13,7289
2	0,971	13,1939	2	0,971	13,1533
3	0,968	14,6112	3	0,967	14,5658
4	0,998	24,3649	4	0,998	24,2060
5	1,002	26,5804	5	1,000	26,3817
6	0,990	19,6801	6	0,990	19,5919
7	0,989	19,2635	7	0,989	19,1727
8	1,015	26,7245	8	1,015	25,9965
9	1,043	16,2984	9	1,023	16,0451
10	1,050	12,6787	10	1,005	12,5485
11	0,985	22,9265	11	0,985	22,7667
12	0,990	24,7038	12	0,990	24,5322
13	0,968	11,6094	13	0,968	11,5331
14	0,984	12,6751	14	0,984	12,5780
15	0,970	28,4024	15	0,970	26,5201
16	0,984	12,3523	16	0,982	12,3177
17	0,995	33,6214	17	0,989	33,6067
18	0,973	22,5798	18	0,973	22,4373
19	0,962	25,1544	19	0,962	24,7552
20	0,957	9,0459	20	0,955	9,0151
21	0,958	7,5256	21	0,955	7,5141
22	0,969	7,7978	22	0,965	7,7966
23	1,000	19,4848	23	0,994	19,5756
24	0,992	16,8911	24	0,992	16,9268
25	1,050	20,6416	25	1,035	21,0308
26	1,015	21,1347	26	1,021	20,0797
27	0,968	17,9916	27	0,968	18,0391
28	0,962	11,0014	28	0,962	11,0137
29	0,963	12,8766	29	0,963	12,8867
30	0,985	34,3069	30	1,023	31,8628
31	0,967	16,7597	31	0,967	16,7731
32	0,963	21,3223	32	0,963	21,3648
33	0,971	11,5678	33	0,963	5,8165
34	0,984	26,0971	34	0,984	25,4496
35	0,981	19,5066	35	0,979	19,1386
36	0,980	20,7081	36	0,980	20,3172
37	0,991	27,6874	37	0,984	26,7197
38	0,961	30,2605	38	1,028	26,7306
39	0,970	13,1442	39	0,968	13,0275
40	0,970	16,4098	40	0,970	16,2934
41	0,967	11,7146	41	0,967	11,6697
42	0,985	14,4134	42	0,985	14,3936
43	0,977	7,1791	43	0,972	7,1508
44	0,984	6,9591	44	0,973	6,9576
45	0,986	9,9865	45	0,974	10,0007
46	1,005	13,5416	46	1,005	13,5791
47	1,017	16,2455	47	1,001	16,3346
48	1,021	14,4406	48	0,997	14,5192
49	1,025	31,6912	49	0,996	32,1231
50	1,001	12,4054	50	0,979	12,4642
51	0,967	11,7395	51	0,954	11,7896
52	0,957	8,7576	52	0,946	8,7856
53	0,946	8,7768	53	0,942	8,8058
54	0,955	25,1335	54	0,955	25,3848
55	0,952	22,7207	55	0,952	22,9305
56	0,954	25,8170	56	0,954	26,0892
57	0,971	10,9169	57	0,962	10,9603
58	0,959	11,3292	58	0,952	11,3764
59	0,985	25,6071	59	0,973	26,5097

Çizelge B.5 (devam) : IEEE 118 baralı test sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

IEEE 118
Bus

TEMEL DURUMA AİT NETİCELER

2. Sayfa	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
	132,86	783,79

	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
60	0,993	23,6227
61	0,995	27,6174
62	0,998	23,2166
63	0,969	25,6736
64	0,984	31,8661
65	1,005	45,5730
66	1,050	31,3640
67	1,020	12,8919
68	1,003	43,8388
69	1,035	33,9998
70	0,984	23,1867
71	0,987	17,4591
72	0,980	11,4411
73	0,991	12,5543
74	0,958	17,5081
75	0,967	22,1142
76	0,943	14,8886
77	1,006	32,1122
78	1,003	25,2575
79	1,009	20,1748
80	1,040	33,9055
81	0,997	33,7437
82	0,989	19,4842
83	0,984	15,3491
84	0,980	10,9825
85	0,985	17,1112
86	0,987	7,6228
87	1,005	6,3047
88	0,988	12,9902
89	1,005	22,3535
90	0,985	15,7915
91	0,980	14,0618
92	0,990	24,5166
93	0,985	14,4235
94	0,990	23,3120
95	0,980	16,8579
96	0,992	21,8610
97	1,011	14,2006
98	1,024	11,9317
99	1,010	16,2150
100	1,017	30,9910
101	0,991	10,7619
102	0,989	13,3440
103	1,010	22,9359
104	0,971	19,3363
105	0,965	21,4440
106	0,961	14,2623
107	0,952	10,4888
108	0,966	13,2200
109	0,967	12,8165
110	0,973	17,2843
111	0,980	10,7102
112	0,975	11,1685
113	0,993	22,3495
114	0,960	13,2252
115	0,960	13,0066
116	1,005	38,6580
117	0,974	5,8291
118	0,949	15,3206

BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ
ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME SONRASI
NETİCELER

Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
117,74	709,97

	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
60	0,982	24,2725
61	0,981	28,5734
62	0,998	23,7375
63	1,048	22,4321
64	1,051	27,6514
65	1,026	38,3085
66	0,993	32,7502
67	0,989	13,0595
68	1,023	36,5734
69	1,035	34,9223
70	0,984	23,2913
71	0,987	17,4999
72	0,980	11,4476
73	0,991	12,5701
74	0,958	17,5779
75	0,968	22,2653
76	0,943	14,9493
77	1,006	32,7585
78	1,001	25,6854
79	1,001	20,4868
80	1,017	35,1584
81	1,053	28,3201
82	0,987	19,6237
83	0,985	15,4119
84	0,980	10,9985
85	0,985	17,1370
86	0,987	7,6260
87	1,015	6,3055
88	0,993	12,9998
89	1,012	22,3720
90	0,985	15,7969
91	0,980	14,0653
92	0,990	24,5360
93	0,987	14,4381
94	0,991	23,3744
95	0,979	16,9210
96	0,988	22,0395
97	0,997	14,3370
98	1,012	12,0091
99	1,010	16,2421
100	1,024	30,8798
101	0,997	10,7573
102	0,992	13,3463
103	1,010	22,9075
104	0,971	18,7637
105	0,965	19,7916
106	0,956	7,0667
107	0,952	9,8517
108	0,966	12,8677
109	0,967	12,5774
110	0,973	17,1652
111	0,980	10,6821
112	0,975	11,1366
113	0,993	22,3541
114	0,960	13,2453
115	0,960	13,0267
116	1,005	33,0228
117	0,974	5,8198
118	0,950	15,3880

EK C : Trakya güç sistemine ait bilgiler.

Çizelge C.1 : Trakya güç sistemine ait bara numaraları ve adları.

Yeni Verilen Bara No	Eski Bara No	Bara Tanımı 1 - PQ 2 - PV 3 - Slack	Bara Adı	Yeni Verilen Bara No	Eski Bara No	Bara Tanımı 1 - PQ 2 - PV 3 - Slack	Bara Adı
1	201	3	4ADA_2_DG	54	110921	1	CERKEZKOY
2	301	2	4PASAKOY	55	110941	1	CERKEZKY_TRA
3	401	2	4BEYKOZ	56	110942	1	CERKEZKY_TRB
4	501	2	4UMRANIYE	57	110943	1	CERKEZKY_TRC
5	110110	1	4UNIMAR	58	110961	2	G-AKEN_CERKZ
6	110181	2	G-4UNIMAR	59	110962	2	G-AKEN_CERKZ
7	110182	2	G-4UNIMAR	60	110963	2	G-AKEN_CERKZ
8	110183	2	G-4UNIMAR	61	111021	1	CORLU
9	110210	1	4HAMITABAT	62	111041	1	CORLU_TRC
10	110221	1	HAMITABAT_A	63	111042	1	CORLU_TRB
11	110280	2	G-4H.ABAT_A1	64	111043	1	CORLU_TRA
12	110281	2	G-4H.ABAT_A2	65	111061	2	G-METEM
13	110282	2	G-4H.ABAT_A3	66	111062	2	G-METEM
14	110283	2	G-4H.ABAT_B1	67	111063	2	G-METEM
15	110284	2	G-4H.ABAT_B2	68	111064	2	G-METEM
16	110285	2	G-4H.ABAT_B3	69	111065	2	G-METEM
17	110286	2	G-4H.ABAT_C1	70	111121	1	TEKIRDAG
18	110287	2	G-4H.ABAT_C2	71	111141	1	TEKIRDAG_TRA
19	110288	2	G-4H.ABAT_C3	72	111142	1	TEKIRDAG_TRB
20	110289	2	G-4H.ABAT_D3	73	111161	2	G-CAN_TKRDG
21	110291	2	G-HAMITBT_D1	74	111221	1	LULEBURGAZ
22	110292	2	G-HAMITBT_D2	75	111241	1	LULEBRGZ_TR1
23	110310	1	4BABAESKI	76	111242	1	LULEBRGZ_TR2
24	110321	1	BABAESKI	77	111321	1	ULAS_A
25	110341	1	BABAESKI_TRA	78	111341	1	ULAS_TRA
26	110410	1	4K.CELIK	79	111421	1	TEGESAN
27	110441	1	K.CELIK_TR1	80	111441	1	TEGESAN_TRA
28	110442	1	K.CELIK_TR2	81	111442	1	TEGESAN_TRB
29	110443	1	K.CELIK_TR3	82	111521	1	KIYIKOY
30	110471	2	G-4CEBI_ENJ	83	111541	1	KIYIKOY_TR
31	110472	2	G-4CEBI_ENJ	84	111621	1	AKCANS_A
32	110521	1	TRAKYA_ELK_A	85	111641	1	AKCANS_TR1
33	110591	2	G-TRKY_ELKTR	86	111721	1	SILIVRI_A
34	110592	2	G-TRKY_ELKTR	87	111741	1	SILIVRI_TRA
35	110593	2	G-TRKY_ELKTR	88	111742	1	SILIVRI_TRB
36	110621	1	BOTASME	89	111821	1	UZUNKOPRU
37	110641	1	BOTASME_TRC	90	111841	1	UZNKPR_TRA_A
38	110651	1	BOTASME_TRA	91	111842	1	UZNKPR_TRA_B
39	110652	1	BOTASME_TRB	92	111921	1	HAVSA
40	110721	1	B.CEKMCE	93	111941	1	HAVSA_TR
41	110742	1	B.CEKMCE_TRA	94	112021	1	PINARHISAR
42	110743	1	B.CEKMCE_TRB	95	112041	1	PINARHSR_TR1
43	110821	1	B.KARISTIRAN	96	112042	1	PINARHSR_TR2
44	110841	1	B.KARSTI_TR1	97	112121	1	MALKARA
45	110842	1	B.KARSTI_TR2	98	112141	1	MALKARA_TR
46	110861	2	G-SAHINLER	99	112221	1	KESAN_A
47	110862	2	G-SAHINLER	100	112241	1	KESAN_TRA
48	110863	2	G-SAHINLER	101	112242	1	KESAN_TRB
49	110864	2	G-SAHINLER	102	112321	1	GELIBOLU
50	110865	2	G-SAHINLER	103	112341	1	GELIBOLU_TR1
51	110866	2	G-CAMIS_BKRS	104	112421	1	KUMLIMANI
52	110867	2	G-CAMIS_BKRS	105	112441	1	KUMLIMNI_TR1
53	110868	2	G-CAMIS_BKRS	106	112521	1	EDIRNE

Çizelge C.1 (devam) : Trakya güç sistemine ait bara numaraları ve adları.

Yeni Verilen Bara No	Eski Bara No	Bara Tanımı 1 - PQ 2 - PV 3 - Slack	Bara Adı	Yeni Verilen Bara No	Eski Bara No	Bara Tanımı 1 - PQ 2 - PV 3 - Slack	Bara Adı
107	112541	1	EDIRNE_TRA	160	113768	2	G-MARMPM_ENJ
108	112542	1	EDIRNE_TRB	161	113821	1	SARIKAYA RES
109	112621	1	EDIRNECİM	162	113851	1	G-SARIKYARES
110	112641	1	EDIRNECİM_TR	163	113921	1	UGUR ENJ
111	112721	1	KIRKLARELİ	164	113991	2	G-UGUR ENJ
112	112741	1	KIRKLRLI_TRA	165	114021	1	ENES TM
113	112742	1	KIRKLRLI_TRB	166	114041	1	ENES_TR1
114	112821	1	ZORLUENERJ_A	167	114121	1	BOREAS_RES
115	112841	1	ZORLUE_TRA	168	114151	1	G-BOREASRES1
116	112871	2	G-ZORLU_ENJ	169	120010	1	4AMBARLIB
117	112872	2	G-ZORLU_ENJ	170	120021	1	AMBARLIDG_A
118	112891	2	G-ZORLU_ENJ	171	120022	1	AMBARLIDG_B
119	112921	1	K.ELI_DG_A	172	120081	2	G-4AMBRBLB_C1
120	112991	2	G-KIRKLARELİ	173	120082	2	G-4AMBRBLB_C2
121	112992	2	G-KIRKLARELİ	174	120083	2	G-4AMBRBLB_C3
122	112993	2	G-KIRKLARELİ	175	120091	2	G-AMBRBLB_A1
123	112994	2	G-KIRKLARELİ	176	120092	2	G-AMBRBLB_A2
124	112995	2	G-KIRKLARELİ	177	120093	2	G-AMBRBLB_B1
125	113021	1	BURGAZ_RES_A	178	120094	2	G-AMBRBLB_B2
126	113051	1	G-BURGAZ_RES	179	120095	2	G-AMBRBLB_A3
127	113121	1	CAN_ENJ_A	180	120096	2	G-AMBRBLB_B3
128	113191	2	G-CAN_ENJ	181	120121	1	AMBARLI_TM_A
129	113221	1	C.KOY_OSB_A	182	120141	1	AMBARLI_TR1
130	113241	1	C.KOY_OSB_1	183	120142	1	AMBARLI_TR2
131	113271	2	G-CRKZKYENJ	184	120143	1	AMBARLI_TR3
132	113321	1	MODERN_ENJ_A	185	120210	1	4AMBARLI_A
133	113341	1	MODN_ENJ_TR9	186	120221	1	AMBARLI_FO
134	113342	1	MODNENJ_TR10	187	120281	2	G-4AMBARLI-A
135	113343	1	MODNENJ_TR11	188	120282	2	G-4AMBARLI-A
136	113361	2	G-MODRN_ENJ	189	120310	1	4ALIBEYKOY
137	113362	2	G-MODRN_ENJ	190	120321	1	ALIBEYKOY_A
138	113363	2	G-MODRN_ENJ	191	120322	1	ALIBEYKOY_B
139	113364	2	G-MODRN_ENJ	192	120342	1	ALIBEYKY_TRB
140	113365	2	G-MODRN_ENJ	193	120410	1	4ATISALANI
141	113366	2	G-MODRN_ENJ	194	120421	1	ATISALANI_A
142	113367	2	G-MODRN_ENJ	195	120422	1	ATISALANI_B
143	113421	1	TRACIM	196	120441	1	ATSALNI_TRA
144	113441	1	TRACIM_TR1	197	120442	1	ATSALNI_TRB
145	113521	1	CATALCA_RES	198	120510	1	4DAVUTPASA
146	113551	1	CATALCA_TR1	199	120521	1	DAVUTPASA_A
147	113561	2	G-CATLCA_RES	200	120522	1	DAVUTPASA_B
148	113621	1	DELTA ENJ	201	120541	1	DAVUTPSA_TRA
149	113691	2	G-DELTA_ENJ	202	120542	1	DAVUTPSA_TR1
150	113692	2	G-DELTA_ENJ	203	120544	1	DAVUTPSA_TR2
151	113721	1	MARMARA PAMK	204	120610	1	4IKITELLI
152	113741	1	MRMRA PMK TR	205	120621	1	IKITELLI_A
153	113761	2	G-MARMPM_ENJ	206	120622	1	IKITELLI_B
154	113762	2	G-MARMPM_ENJ	207	120641	1	IKITELLI_TRA
155	113763	2	G-MARMPM_ENJ	208	120642	1	IKITELLI_TRC
156	113764	2	G-MARMPM_ENJ	209	120643	1	IKITELLI_TR5
157	113765	2	G-MARMPM_ENJ	210	120644	1	IKITELLI_TR6
158	113766	2	G-MARMPM_ENJ	211	120645	1	IKITELLI_TRB
159	113767	2	G-MARMPM_ENJ	212	120710	1	4HABIBLER

Çizelge C.1 (devam) : Trakya güç sistemine ait bara numaraları ve adları.

Yeni Verilen Bara No	Eski Bara No	Bara Tanımı 1 - PQ 2 - PV 3 - Slack	Bara Adı	Yeni Verilen Bara No	Eski Bara No	Bara Tanımı 1 - PQ 2 - PV 3 - Slack	Bara Adı
213	120721	1	HABIBLER_A	266	122021	1	SISLI_A
214	120741	1	HABIBLER_TRA	267	122041	1	SISLI_TR3
215	120742	1	HABIBLER_TRB	268	122042	1	SISLI_TR2
216	120810	1	4YILDIZTEPE	269	122051	1	SISLI_TR1
217	120822	1	YILDIZTEPE_B	270	122121	1	HADIMKOY
218	120841	1	YILDZTPE_TR1	271	122123	1	HADIMKOY_TRN
219	120842	1	YILDZTPE_TR2	272	122141	1	HADIMKOY_TRA
220	120910	1	4ZEKERIYAKOY	273	122142	1	HADIMKOY_TRB
221	120921	1	ZEKERIYAKY_A	274	122221	1	B.EVLER_A
222	120941	1	ZEKERIYKY_TR1	275	122222	1	B.EVLER_B
223	121021	1	SULTANMRAT_A	276	122241	1	B.EVLER_TR1
224	121022	1	SULTANMRAT_B	277	122242	1	B.EVLER_TR2
225	121041	1	SULTNMRT_TR1	278	122243	1	B.EVLER_TR3
226	121042	1	SULTNMRT_TR3	279	122321	1	B.DUZU_A
227	121121	1	SAGMALCLAR_A	280	122322	1	B.DUZU_B
228	121141	1	SAGMLCLR_TR1	281	122341	1	B.DUZU_TRA
229	121142	1	SAGMLCLR_TR2	282	122342	1	B.DUZU_TRB
230	121143	1	SAGMLCLR_TR3	283	122343	1	B.DUZU_TRC
231	121221	1	TOPKAPI_A	284	122344	1	B.DUZU_TRD
232	121222	1	TOPKAPI_B	285	122421	1	AKSARAY_A
233	121241	1	TOPKAPI_TR1	286	122422	1	AKSARAY_B
234	121242	1	TOPKAPI_TR2	287	122441	1	AKSARAY_TR1
235	121321	1	BAGCILAR_A	288	122442	1	AKSARAY_TR2
236	121322	1	BAGCILAR_B	289	122521	1	MASLAK_A
237	121341	1	BAGCILAR_TR1	290	122522	1	MASLAK_B
238	121342	1	BAGCILAR_TR2	291	122541	1	MASLAK_TRA
239	121343	1	BAGCILAR_TR3	292	122542	1	MASLAK_TRB
240	121421	1	SILAHTAR	293	122621	1	TASOLUK_A
241	121441	1	SILAHTAR_TR	294	122641	1	TASOLUK_TRA
242	121510	1	4YENIBOSNA	295	122642	1	TASOLUK_TRB
243	121521	1	YENIBOSNA	296	122661	2	G-LODOS_RES
244	121541	1	YENIBSNA_TRA	297	122721	1	BAHCESEHIR_A
245	121542	1	YENIBSNA_TRB	298	122741	1	BAHCESHR_TRA
246	121545	1	YENIBSNA_TR1	299	122742	1	BAHCESHR_TRB
247	121546	1	YENIBSNA_TR3	300	122821	1	ESENYURT_A
248	121621	1	VELIEFENDI_A	301	122891	2	G-ESENYURT
249	121622	1	VELIEFENDI_B	302	122892	2	G-ESENYURT
250	121641	1	VELEFNDI_TR3	303	122893	2	G-ESENYURT
251	121642	1	VELEFNDI_TR4	304	122894	2	G-ESENYURT
252	121651	1	VELEFNDI_TR1	305	122921	1	KASIMPASA_A
253	121652	1	VELEFNDI_TR2	306	122941	1	KASIMPASA_TR1
254	121721	1	YENIKAPI_A	307	122942	1	KASIMPASA_TR3
255	121741	1	YENIKAPI_TRA	308	122951	1	KASIMPASA_TR2
256	121742	1	YENIKAPI_TRB	309	123021	1	KUCUKKOY
257	121743	1	YENIKAPI_TRC	310	123041	1	KUCUKKOY_TR1
258	121821	1	ETILER	311	123042	1	KUCUKKOY_TR3
259	121841	1	ETILER_TR3	312	123043	1	KUCUKKOY_TR2
260	121842	1	ETILER_TR1	313	123121	1	ALTINTEPE_A
261	121843	1	ETILER_TR2	314	123122	1	ALTINTEPE_B
262	121921	1	LEVENT_A	315	123141	1	ALTINTEPE_TRA
263	121941	1	LEVENT_TR2	316	123142	1	ALTINTEPE_TRB
264	121942	1	LEVENT_TR3	317	123143	1	ALTINTEPE_TRD
265	121943	1	LEVENT_TR4				

Çizelge C.2 : Trakya güç sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

TRAKYA			BULANIK ORTAMDA GENETİK ALGORİTMA İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER		
TEMEL DURUMA AİT NETİCELER					
1. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	
	125,426	1.439,810	102,750	1.184,500	
Bara Gerilimi			Bara Gerilimi		
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)	Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
1	1,050	30,1093	1	1,050	30,0318
2	1,050	34,9149	2	1,043	34,7938
3	1,050	93,6680	3	1,060	91,7640
4	1,050	39,5574	4	1,035	39,3619
5	1,019	104,2379	5	1,055	101,0905
6	1,000	18,6014	6	1,032	18,7498
7	1,000	18,6014	7	1,047	18,6805
8	1,000	18,5896	8	1,000	18,9137
9	1,018	113,6972	9	1,046	108,8343
10	0,999	72,5191	10	1,029	65,2273
11	1,000	10,9745	11	1,036	10,9813
12	1,000	10,9745	12	1,053	10,9813
13	1,000	10,8942	13	1,000	10,8969
14	1,000	11,4568	14	1,000	11,4631
15	1,000	11,4432	15	1,000	11,4495
16	1,000	10,9558	16	1,048	10,9585
17	1,000	11,4432	17	1,047	11,4495
18	1,000	11,5463	18	1,000	11,5525
19	1,000	11,5596	19	1,022	11,5612
20	1,000	10,9010	20	1,047	10,9037
21	1,000	10,8466	21	1,021	10,7461
22	1,000	10,7251	22	1,000	10,6281
23	1,018	96,8423	23	1,049	93,0211
24	0,994	47,2536	24	1,024	43,5181
25	0,970	4,3770	25	1,002	4,3420
26	1,019	103,1782	26	1,054	100,1057
27	1,015	8,6410	27	1,051	8,6308
28	1,009	13,1860	28	1,028	13,1824
29	1,015	8,6410	29	1,051	8,6308
30	1,000	5,6338	30	1,000	5,6356
31	1,000	4,1231	31	1,000	4,1240
32	0,987	43,9834	32	1,030	43,5424
33	1,000	12,6313	33	1,059	12,6059
34	1,000	12,6313	34	1,060	12,6059
35	1,000	14,3810	35	1,050	14,5122
36	0,986	43,5312	36	1,029	43,1038
37	0,974	7,5397	37	1,018	7,5282
38	0,950	1,2815	38	0,994	1,2811
39	0,950	1,2815	39	0,994	1,2811
40	0,979	33,5276	40	1,011	33,3764
41	0,955	7,1152	41	0,988	7,1091
42	0,955	7,1062	42	0,988	7,1001
43	0,977	54,4202	43	0,998	45,9575
44	0,951	7,9099	44	0,973	7,7164
45	0,982	18,6004	45	0,991	18,3862
46	1,000	3,4969	46	1,000	3,4972
47	1,000	3,5753	47	1,000	3,5758
48	1,000	4,1637	48	1,000	4,1642
49	1,000	4,1527	49	1,000	4,1532
50	1,000	4,9998	50	1,000	5,0003
51	1,000	4,3508	51	1,000	4,3516
52	1,000	4,3508	52	1,000	4,3516
53	1,000	4,2326	53	1,000	4,2334
54	0,973	43,3618	54	0,996	30,8390
55	0,941	7,5876	55	0,965	7,0954
56	0,983	16,1737	56	0,993	15,6225
57	0,941	7,4461	57	0,964	6,9719
58	1,000	7,4568	58	1,000	7,4689
59	1,000	5,9832	59	1,000	5,9795
60	1,000	5,5599	60	1,000	5,5642
61	0,974	56,8594	61	1,004	49,4212
62	0,963	10,6135	62	0,987	10,4261
63	0,947	7,6597	63	0,978	7,5016
64	0,936	4,1283	64	0,967	4,0821

Çizelge C.2 (devam) : Trakya güç sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

TRAKYA	TEMEL DURUMA AİT NETİCİLER		BULANIK ORTAMDA GENETİK ALGORİTMA İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCİLER		
2. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	
	125,426	1.439,810	102,750	1.184,500	
	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı	
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)	Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
65	1,000	4,8746	65	1,000	4,8746
66	1,000	4,8746	66	1,000	4,8746
67	1,000	4,8746	67	1,000	4,8746
68	1,000	4,8746	68	1,000	4,8746
69	1,000	4,8746	69	1,000	4,8746
70	0,966	22,9780	70	1,000	22,6100
71	0,984	7,1233	71	0,997	7,1107
72	0,934	3,5754	72	0,969	3,5662
73	1,000	5,5320	73	1,000	5,5284
74	0,992	46,4882	74	0,989	15,1329
75	0,980	7,7735	75	0,976	5,7698
76	0,970	4,0817	76	0,967	3,4519
77	0,978	36,3189	77	1,005	34,7157
78	0,961	7,1571	78	0,988	7,0927
79	0,977	46,3852	79	1,013	44,5231
80	0,932	1,1843	80	0,969	1,1831
81	0,932	1,8605	81	0,969	1,8577
82	0,972	10,0710	82	0,995	9,2084
83	0,965	3,0340	83	0,988	2,9509
84	0,978	31,7960	84	1,011	31,6601
85	0,959	4,0089	85	0,992	4,0069
86	0,975	23,7277	86	1,012	23,6449
87	0,963	6,3887	87	1,001	6,3831
88	0,964	6,7714	88	1,002	6,7652
89	0,961	14,8604	89	0,994	14,6144
90	0,893	1,7639	90	0,929	1,7607
91	0,883	1,7371	91	0,919	1,7340
92	0,974	17,3232	92	0,998	17,3145
93	0,894	1,7959	93	0,920	1,7956
94	0,986	19,0764	94	0,982	9,3828
95	0,943	1,7454	95	0,938	1,5944
96	0,942	1,1276	96	0,938	1,0625
97	0,947	12,6917	97	0,982	12,5728
98	0,909	3,3515	98	0,945	3,3431
99	0,939	8,2209	99	0,975	8,1706
100	0,904	3,0714	100	0,941	3,0643
101	0,860	1,6224	101	0,899	1,6205
102	0,940	5,3905	102	0,976	5,3686
103	0,889	1,7164	103	0,927	1,7143
104	0,939	3,6202	104	0,975	3,6103
105	0,892	0,9358	105	0,930	0,9352
106	0,964	14,1953	106	0,981	13,9880
107	0,917	3,2898	107	0,936	3,2805
108	0,914	3,2898	108	0,933	3,2805
109	0,969	14,0245	109	0,982	13,4142
110	0,883	1,7493	110	0,897	1,7372
111	0,988	22,1172	111	0,989	16,5756
112	0,918	1,7997	112	0,919	1,7512
113	0,918	1,7815	113	0,919	1,7341
114	0,978	52,7833	114	0,998	43,6611
115	0,999	9,9659	115	1,005	9,9034
116	1,000	5,3253	116	1,000	5,3279
117	1,000	6,3825	117	1,000	6,3786
118	1,000	6,7906	118	1,000	6,7682
119	0,994	22,6503	119	0,995	18,3511
120	1,000	5,9728	120	1,000	5,9966
121	1,000	5,9728	121	1,000	5,9966
122	1,000	5,7468	122	1,000	5,7789
123	1,000	6,8878	123	1,000	6,7935
124	1,000	5,3016	124	1,000	5,3214
125	0,940	5,2121	125	0,976	5,1916
126	0,948	1,7416	126	0,984	1,7393
127	0,980	44,1165	127	1,003	41,0480
128	1,000	6,2773	128	1,000	6,2460

Çizelge C.2 (devam) : Trakya güç sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

3. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp} \text{ (MW)}$	$\Sigma Q_{kayıp} \text{ (MVar)}$
	125,426	1.439,810

	Bara Gerilimi	Bara Anza Akımı
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
129	0,973	43,1338
130	0,984	9,9696
131	1,000	5,3188
132	0,978	32,5928
133	0,998	12,1789
134	0,996	10,4075
135	0,972	7,1286
136	1,000	5,8625
137	1,000	4,3547
138	1,000	4,3547
139	1,000	5,4688
140	1,000	6,0109
141	1,000	5,1019
142	1,000	5,1392
143	0,985	12,9887
144	0,968	2,8378
145	0,978	25,7887
146	0,988	9,7515
147	1,000	7,7654
148	0,973	45,6129
149	1,000	22,8290
150	1,000	4,9570
151	0,979	45,9421
152	0,993	17,5014
153	1,000	3,6441
154	1,000	3,6441
155	1,000	3,6441
156	1,000	3,6441
157	1,000	3,6441
158	1,000	3,6441
159	1,000	3,6441
160	1,000	3,6441
161	0,947	8,1644
162	0,950	1,9808
163	0,973	43,1342
164	1,000	7,5056
165	0,940	5,2833
166	0,938	3,3463
167	0,940	4,9678
168	0,980	1,6628
169	1,000	91,3887
170	0,981	33,9868
171	1,001	49,1264
172	1,000	15,3023
173	1,000	15,3023
174	1,000	17,3066
175	1,000	12,3810
176	1,000	12,2912
177	1,000	12,2125
178	1,000	12,9323
179	1,000	14,5155
180	1,000	13,6221
181	0,980	33,2842
182	0,955	7,4333
183	0,955	7,3993
184	0,956	7,5221
185	1,000	91,0147
186	1,014	27,2195
187	1,000	27,3283
188	1,000	27,3283
189	1,040	100,6237
190	1,021	58,4405
191	1,021	58,4239
192	1,007	7,5977

BULANIK ORTAMDA GENETİK ALGORİTMA İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER	
Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp} (MW)$	$\Sigma Q_{kayıp} (MVar)$
102,750	1.184,500

	Bara Gerilimi	Bara Anza Akımı
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
129	0,996	30,7282
130	0,999	9,4818
131	1,000	5,2856
132	1,004	31,3565
133	1,006	12,1574
134	1,006	10,3863
135	0,998	7,0679
136	1,000	5,8626
137	1,000	4,3546
138	1,000	4,3546
139	1,000	5,4687
140	1,000	6,0108
141	1,000	5,1019
142	1,000	5,1392
143	0,981	7,6625
144	0,964	2,4709
145	1,011	25,7055
146	1,005	9,7483
147	1,000	7,7656
148	1,001	41,1039
149	1,000	22,6984
150	1,000	4,9581
151	1,004	42,6812
152	1,004	17,3955
153	1,000	3,6442
154	1,000	3,6442
155	1,000	3,6442
156	1,000	3,6442
157	1,000	3,6442
158	1,000	3,6442
159	1,000	3,6442
160	1,000	3,6442
161	0,982	8,1149
162	0,985	1,9780
163	0,996	30,7286
164	1,000	7,2430
165	0,976	5,2624
166	0,974	3,3379
167	0,976	4,9493
168	1,014	1,6608
169	1,037	89,5906
170	0,990	33,9010
171	1,027	48,4647
172	1,000	15,2823
173	1,000	15,2823
174	1,000	17,2951
175	1,015	12,3823
176	0,968	12,2925
177	1,000	12,2139
178	1,000	12,8929
179	1,000	14,8185
180	1,000	13,6496
181	0,990	33,2036
182	0,965	7,4324
183	0,965	7,3984
184	0,965	7,5211
185	1,037	89,2302
186	1,037	27,1271
187	1,000	28,7692
188	1,047	28,0895
189	1,053	98,3385
190	1,036	57,8801
191	1,036	57,8640
192	1,022	7,5924

Çizelge C.2 (devam) : Trakya güç sisteminin GA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

TRAKYA			BULANIK ORTAMDA GENETİK ALGORİTMA İLE ENİYİLEME SONRASI		
TEMEL DURUMA AİT NETİCELER			NETİCELER		
5. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	
	125,426	1.439,810	102,750	1.184,500	
Bara No	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı	Bara No	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)		V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)
257	1,012	6,5300	257	1,032	6,5260
258	1,018	51,4030	258	1,033	50,9961
259	0,999	7,9398	259	1,014	7,9339
260	0,999	7,7200	260	1,014	7,7145
261	0,999	7,7200	261	1,014	7,7145
262	0,995	15,0774	262	1,012	15,0617
263	0,980	5,5754	263	0,998	5,5735
264	0,973	4,0301	264	0,991	4,0287
265	0,980	5,5448	265	0,998	5,5428
266	1,017	51,2000	266	1,032	50,7966
267	0,996	7,8899	267	1,011	7,8842
268	1,002	7,7637	268	1,017	7,7581
269	0,948	2,3867	269	0,965	2,3862
270	1,007	32,0172	270	1,023	31,9674
271	0,995	23,6237	271	1,022	23,3489
272	0,994	7,1983	272	1,010	7,1972
273	0,995	8,5462	273	1,012	8,5443
274	0,999	56,0630	274	1,024	55,4607
275	1,015	28,0989	275	1,038	28,0016
276	0,983	7,8770	276	1,008	7,8675
277	0,981	7,8770	277	1,007	7,8675
278	1,000	6,8716	278	1,024	6,8670
279	0,972	28,3455	279	0,981	28,2952
280	0,972	28,3394	280	0,981	28,2891
281	0,939	7,1078	281	0,949	7,1070
282	0,939	7,1572	282	0,949	7,1564
283	0,939	7,1487	283	0,949	7,1478
284	0,938	7,0243	284	0,948	7,0235
285	1,017	30,9959	285	1,036	30,8771
286	1,016	26,1607	286	1,035	26,0820
287	1,002	7,1376	287	1,022	7,1327
288	0,990	6,8418	288	1,010	6,8374
289	0,996	15,5930	289	1,013	15,5760
290	0,996	15,5908	290	1,013	15,5738
291	0,984	6,6307	291	1,001	6,6277
292	0,984	6,6311	292	1,001	6,6281
293	1,006	27,3593	293	1,021	27,3326
294	0,998	10,0649	294	1,009	10,0654
295	0,998	6,9294	295	1,013	6,9288
296	1,000	6,6714	296	1,000	6,6727
297	1,007	40,8440	297	1,020	40,7852
298	0,993	7,5954	298	1,007	7,5956
299	0,993	7,5954	299	1,007	7,5956
300	1,007	37,4431	300	1,019	37,4098
301	1,000	6,1293	301	1,000	6,1313
302	1,000	6,1293	302	1,000	6,1313
303	1,000	6,1293	303	1,000	6,1313
304	1,000	7,1040	304	1,000	7,1074
305	1,017	52,4385	305	1,032	52,0082
306	1,004	7,9666	306	1,019	7,9607
307	1,004	7,9666	307	1,019	7,9607
308	0,963	1,4987	308	0,980	1,4983
309	1,008	41,0374	309	1,024	40,9384
310	0,996	7,6333	310	1,012	7,6321
311	0,995	7,0093	311	1,011	7,0083
312	0,996	7,4798	312	1,012	7,4786
313	1,017	51,8080	313	1,032	51,3905
314	1,017	51,8054	314	1,032	51,3880
315	1,003	7,7846	315	1,018	7,7790
316	1,003	7,7846	316	1,018	7,7790
317	0,995	4,0975	317	1,010	4,0955

Çizelge C.3 : Trakya güç sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

Trakya

TEMEL DURUMA AİT NETİCELER

1. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kay/ij}$ (MW)	$\Sigma Q_{kay/ij}$ (MVar)
	125,426	1.439,810
Bara No	Bara Gerilimi	Bara Arıza Akımı
	V_{bus} (pu)	I_{fc} (pu)
1	1,050	30,1093
2	1,050	34,9149
3	1,050	93,6680
4	1,050	39,5574
5	1,019	104,2379
6	1,000	18,6014
7	1,000	18,6014
8	1,000	18,5896
9	1,018	113,6972
10	0,999	72,5191
11	1,000	10,9745
12	1,000	10,9745
13	1,000	10,8942
14	1,000	11,4568
15	1,000	11,4432
16	1,000	10,9558
17	1,000	11,4432
18	1,000	11,5463
19	1,000	11,5596
20	1,000	10,9010
21	1,000	10,8466
22	1,000	10,7251
23	1,018	96,8423
24	0,994	47,2536
25	0,970	4,3770
26	1,019	103,1782
27	1,015	8,6410
28	1,009	13,1860
29	1,015	8,6410
30	1,000	5,6338
31	1,000	4,1231
32	0,987	43,9834
33	1,000	12,6313
34	1,000	12,6313
35	1,000	14,3810
36	0,986	43,5312
37	0,974	7,5397
38	0,950	1,2815
39	0,950	1,2815
40	0,979	33,5276
41	0,955	7,1152
42	0,955	7,1062
43	0,977	54,4202
44	0,951	7,9099
45	0,982	18,6004
46	1,000	3,4969
47	1,000	3,5753
48	1,000	4,1637
49	1,000	4,1527
50	1,000	4,9998
51	1,000	4,3508
52	1,000	4,3508
53	1,000	4,2326
54	0,973	43,3618
55	0,941	7,5876
56	0,983	16,1737
57	0,941	7,4461
58	1,000	7,4568
59	1,000	5,9832
60	1,000	5,5599
61	0,974	56,8594
62	0,963	10,6135
63	0,947	7,6597
64	0,936	4,1283

**BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ
ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME SONRASI
NETİCELER**

1. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kay/ij}$ (MW)	$\Sigma Q_{kay/ij}$ (MVar)
	107,617	1.192,730
Bara No	Bara Gerilimi	Bara Arıza Akımı
	V_{bus} (pu)	I_{fc} (pu)
1	1,050	29,4372
2	1,028	33,9749
3	1,044	87,2121
4	1,029	38,6053
5	1,040	86,9572
6	1,014	18,3513
7	1,016	18,1282
8	1,013	18,2580
9	1,037	106,4201
10	1,029	69,2571
11	1,041	10,9391
12	1,009	10,9391
13	1,018	10,8516
14	1,042	11,4161
15	1,008	11,4026
16	0,980	10,9126
17	1,012	11,4026
18	1,030	11,5045
19	1,041	11,5093
20	1,020	10,8583
21	1,040	10,8163
22	1,054	10,6960
23	1,039	94,8945
24	1,017	46,8263
25	0,994	4,3736
26	1,036	40,1896
27	1,032	7,5652
28	1,018	12,0424
29	1,032	7,5652
30	1,000	5,5793
31	1,000	4,1134
32	1,034	42,0702
33	1,049	12,4857
34	1,052	12,4857
35	1,045	14,7976
36	1,034	41,6609
37	1,022	7,4810
38	0,999	1,2799
39	0,999	1,2799
40	1,006	33,0644
41	0,983	7,0960
42	0,983	7,0870
43	1,004	43,9944
44	0,979	7,6318
45	0,994	18,2671
46	1,000	3,4969
47	1,000	3,5753
48	1,000	4,1637
49	1,000	4,1527
50	1,000	4,9999
51	1,000	4,3503
52	1,000	4,3503
53	1,000	4,2320
54	1,001	40,7260
55	0,971	7,5029
56	0,996	16,0794
57	0,970	7,3646
58	1,000	7,4584
59	1,000	5,9820
60	1,000	5,5602
61	1,005	50,2771
62	0,987	10,4544
63	0,978	7,5254
64	0,968	4,0887

Çizelge C.3 (devam) : Trakya güç sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

Trakya

TEMEL DURUMA AİT NETİCELER

2. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
	125,426	1.439,810

	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
Bara No	V_{bar} (pu)	I_{fc} (pu)
65	1,000	4,8746
66	1,000	4,8746
67	1,000	4,8746
68	1,000	4,8746
69	1,000	4,8746
70	0,966	22,9780
71	0,984	7,1233
72	0,934	3,5754
73	1,000	5,5320
74	0,992	46,4882
75	0,980	7,7735
76	0,970	4,0817
77	0,978	36,3189
78	0,961	7,1571
79	0,977	46,3852
80	0,932	1,1843
81	0,932	1,8605
82	0,972	10,0710
83	0,965	3,0340
84	0,978	31,7960
85	0,959	4,0089
86	0,975	23,7277
87	0,963	6,3887
88	0,964	6,7714
89	0,961	14,8604
90	0,893	1,7639
91	0,883	1,7371
92	0,974	17,3232
93	0,894	1,7959
94	0,986	19,0764
95	0,943	1,7454
96	0,942	1,1276
97	0,947	12,6917
98	0,909	3,3515
99	0,939	8,2209
100	0,904	3,0714
101	0,860	1,6224
102	0,940	5,3905
103	0,889	1,7164
104	0,939	3,6202
105	0,892	0,9358
106	0,964	14,1953
107	0,917	3,2898
108	0,914	3,2898
109	0,969	14,0245
110	0,883	1,7493
111	0,988	22,1172
112	0,918	1,7997
113	0,918	1,7815
114	0,978	52,7833
115	0,999	9,9659
116	1,000	5,3253
117	1,000	6,3825
118	1,000	6,7906
119	0,994	22,6503
120	1,000	5,9728
121	1,000	5,9728
122	1,000	5,7468
123	1,000	6,8878
124	1,000	5,3016
125	0,940	5,2121
126	0,948	1,7416
127	0,980	44,1165
128	1,000	6,2773

BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER

Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
107,617	1.192,730

	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
Bara No	V_{bar} (pu)	I_{fc} (pu)
65	1,000	4,8746
66	1,000	4,8746
67	1,000	4,8746
68	1,000	4,8746
69	1,000	4,8746
70	1,000	22,4325
71	0,997	7,1057
72	0,969	3,5619
73	1,000	5,5276
74	1,021	45,8503
75	1,009	7,7563
76	0,999	4,0768
77	1,005	34,9465
78	0,988	7,1027
79	1,015	43,3431
80	0,971	1,1823
81	0,971	1,8556
82	1,000	9,9206
83	0,993	3,0202
84	1,006	31,3794
85	0,987	4,0025
86	1,013	23,4781
87	1,002	6,3708
88	1,002	6,7513
89	0,989	14,8099
90	0,923	1,7632
91	0,913	1,7364
92	0,995	17,2827
93	0,917	1,7954
94	1,002	19,0445
95	0,959	1,7451
96	0,959	1,1275
97	0,979	12,6119
98	0,943	3,3459
99	0,972	8,1872
100	0,939	3,0667
101	0,896	1,6212
102	0,974	5,3759
103	0,925	1,7150
104	0,972	3,6135
105	0,928	0,9354
106	0,982	14,1751
107	0,936	3,2888
108	0,934	3,2888
109	0,985	14,0091
110	0,901	1,7490
111	0,999	22,0964
112	0,929	1,7995
113	0,929	1,7814
114	1,005	43,5328
115	1,007	9,8874
116	1,000	5,3255
117	1,000	6,3701
118	1,000	6,7348
119	1,002	22,6374
120	1,000	5,9734
121	1,000	5,9734
122	1,000	5,7474
123	1,000	6,8884
124	1,000	5,3021
125	0,974	5,1984
126	0,981	1,7401
127	1,006	39,7134
128	1,000	6,2168

Çizelge C.3 (devam) : Trakya güç sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

Trakya	TEMEL DURUMA AİT NETİCELER	
3. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp} \text{ (MW)}$	$\Sigma Q_{kayıp} \text{ (MVar)}$
	125,426	1.439,810
	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
Bara No	$V_{\text{bar}} \text{ (pu)}$	$I_{FC} \text{ (pu)}$
129	0,973	43,1338
130	0,984	9,9696
131	1,000	5,3188
132	0,978	32,5928
133	0,998	12,1789
134	0,996	10,4075
135	0,972	7,1286
136	1,000	5,8625
137	1,000	4,3547
138	1,000	4,3547
139	1,000	5,4688
140	1,000	6,0109
141	1,000	5,1019
142	1,000	5,1392
143	0,985	12,9887
144	0,968	2,8378
145	0,978	25,7887
146	0,988	9,7515
147	1,000	7,7654
148	0,973	45,6129
149	1,000	22,8290
150	1,000	4,9570
151	0,979	45,9421
152	0,993	17,5014
153	1,000	3,6441
154	1,000	3,6441
155	1,000	3,6441
156	1,000	3,6441
157	1,000	3,6441
158	1,000	3,6441
159	1,000	3,6441
160	1,000	3,6441
161	0,947	8,1644
162	0,950	1,9808
163	0,973	43,1342
164	1,000	7,5056
165	0,940	5,2833
166	0,938	3,3463
167	0,940	4,9678
168	0,980	1,6628
169	1,000	91,3887
170	0,981	33,9868
171	1,001	49,1264
172	1,000	15,3023
173	1,000	15,3023
174	1,000	17,3066
175	1,000	12,3810
176	1,000	12,2912
177	1,000	12,2125
178	1,000	12,9323
179	1,000	14,5155
180	1,000	13,6221
181	0,980	33,2842
182	0,955	7,4333
183	0,955	7,3993
184	0,956	7,5221
185	1,000	91,0147
186	1,014	27,2195
187	1,000	27,3283
188	1,000	27,3283
189	1,040	100,6237
190	1,021	58,4405
191	1,021	58,4239
192	1,007	7,5977

	BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER	
	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
	107,617	1.192,730
	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
Bara No	V_{bana} (pu)	I_{FC} (pu)
129	1,001	40,5257
130	1,002	9,8857
131	1,000	5,3125
132	1,004	31,5366
133	1,006	12,1609
134	1,006	10,3896
135	0,998	7,0773
136	1,000	5,8626
137	1,000	4,3547
138	1,000	4,3547
139	1,000	5,4688
140	1,000	6,0109
141	1,000	5,1019
142	1,000	5,1392
143	1,001	12,9753
144	0,984	2,8372
145	1,009	25,5704
146	1,004	9,7419
147	1,000	7,7652
148	1,039	15,4736
149	1,000	12,8401
150	1,000	4,9819
151	1,006	41,6358
152	1,005	17,3510
153	1,000	3,6442
154	1,000	3,6442
155	1,000	3,6442
156	1,000	3,6442
157	1,000	3,6442
158	1,000	3,6442
159	1,000	3,6442
160	1,000	3,6442
161	0,980	8,1313
162	0,983	1,9789
163	1,001	40,5261
164	1,000	7,4596
165	0,973	5,2693
166	0,972	3,3407
167	0,974	4,9554
168	1,012	1,6615
169	1,023	84,1610
170	0,980	24,4837
171	1,015	43,1872
172	0,977	15,1537
173	1,020	15,1537
174	1,049	17,1910
175	0,996	11,4992
176	0,976	11,4287
177	1,005	11,3667
178	1,010	12,5880
179	0,991	14,2775
180	1,020	12,5648
181	0,979	24,1488
182	0,954	7,0121
183	0,954	6,9824
184	0,954	7,0896
185	1,022	83,8402
186	1,022	26,6611
187	0,996	27,0953
188	1,036	27,6772
189	1,038	93,1268
190	1,021	56,0563
191	1,021	56,0412
192	1,006	7,5652

Çizelge C.3 (devam) : Trakya güç sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

Trakya	TEMEL DURUMA AİT NETİCELER		BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER	
4. SAYFA	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
	125,426	1.439,810	107,617	1.192,730
	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı	Bara Gerilimi	Bara Anıza Akımı
Bara No	V_{bus} (pu)	I_{FC} (pu)	Bara No	V_{bus} (pu)
193	1,029	98,5024	193	1,033
194	1,016	30,4924	194	1,024
195	1,023	32,4353	195	1,027
196	1,015	7,1939	196	1,019
197	1,010	7,0553	197	1,014
198	1,029	104,0887	198	1,033
199	1,018	33,9574	199	1,022
200	1,016	27,4672	200	1,024
201	1,008	7,2554	201	1,013
202	1,004	8,9266	202	1,009
203	1,002	8,9266	203	1,006
204	1,023	109,9507	204	1,030
205	1,016	34,6548	205	1,024
206	1,000	66,2960	206	1,015
207	0,989	7,9636	207	1,003
208	0,981	8,0036	208	0,996
209	1,010	10,6565	209	1,018
210	1,010	10,6565	210	1,018
211	1,010	7,1651	211	1,017
212	1,024	98,9938	212	1,030
213	1,010	54,7264	213	1,015
214	1,000	7,8833	214	1,005
215	1,000	7,8833	215	1,005
216	1,034	101,3361	216	1,035
217	1,018	56,5280	217	1,017
218	1,003	7,9063	218	1,002
219	0,991	7,8895	219	0,991
220	1,025	78,5358	220	1,027
221	1,001	18,0653	221	1,003
222	1,022	6,8953	222	1,024
223	1,012	26,4783	223	1,020
224	1,012	26,4785	224	1,020
225	0,992	6,5992	225	1,000
226	0,992	6,6031	226	1,000
227	1,022	30,8641	227	1,026
228	1,005	7,1760	228	1,009
229	1,005	7,1760	229	1,009
230	1,004	7,0399	230	1,009
231	1,017	32,4277	231	1,021
232	1,022	28,2313	232	1,026
233	0,990	7,1187	233	0,994
234	0,986	6,7949	234	0,991
235	1,011	28,0019	235	1,010
236	1,016	30,1143	236	1,024
237	1,001	6,6938	237	1,000
238	0,996	6,8287	238	1,004
239	0,983	6,9872	239	0,982
240	1,017	53,4280	240	1,017
241	0,983	7,8260	241	0,983
242	1,026	93,4825	242	1,029
243	0,999	63,1776	243	1,012
244	0,971	8,1436	244	0,984
245	0,971	8,2034	245	0,984
246	1,018	8,7906	246	1,022
247	1,012	8,7906	247	1,016
248	0,973	11,6946	248	0,986
249	1,017	30,4609	249	1,021
250	0,945	5,0637	250	0,959
251	0,954	5,1175	251	0,968
252	1,010	4,1619	252	1,014
253	0,993	4,1619	253	0,997
254	1,016	26,4922	254	1,020
255	1,016	4,4283	255	1,020
256	1,012	6,5300	256	1,017

Çizelge C.3 (devam) : Trakya güç sisteminin AA ile eniyilemesi sonunda bulunan neticeler.

Trakya	TEMEL DURUMA AİT NETİCELER		BULANIK ORTAMDA ATEŞBÖCEĞİ ALGORİTMASI İLE ENİYİLEME SONRASI NETİCELER	
	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp	Toplam Aktif Kayıp	Toplam Reaktif Kayıp
	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)	$\Sigma P_{kayıp}$ (MW)	$\Sigma Q_{kayıp}$ (MVar)
5. SAYFA	125,426	1.439,810	107,617	1.192,730

Bara No	Bara Gerilimi V_{bus} (pu)	Bara Anıza Akımı I_{FC} (pu)
257	1,012	6,5300
258	1,018	51,4030
259	0,999	7,9398
260	0,999	7,7200
261	0,999	7,7200
262	0,995	15,0774
263	0,980	5,5754
264	0,973	4,0301
265	0,980	5,5448
266	1,017	51,2000
267	0,996	7,8899
268	1,002	7,7637
269	0,948	2,3867
270	1,007	32,0172
271	0,995	23,6237
272	0,994	7,1983
273	0,995	8,5462
274	0,999	56,0630
275	1,015	28,0989
276	0,983	7,8770
277	0,981	7,8770
278	1,000	6,8716
279	0,972	28,3455
280	0,972	28,3394
281	0,939	7,1078
282	0,939	7,1572
283	0,939	7,1487
284	0,938	7,0243
285	1,017	30,9959
286	1,016	26,1607
287	1,002	7,1376
288	0,990	6,8418
289	0,996	15,5930
290	0,996	15,5908
291	0,984	6,6307
292	0,984	6,6311
293	1,006	27,3593
294	0,998	10,0649
295	0,998	6,9294
296	1,000	6,6714
297	1,007	40,8440
298	0,993	7,5954
299	0,993	7,5954
300	1,007	37,4431
301	1,000	6,1293
302	1,000	6,1293
303	1,000	6,1293
304	1,000	7,1040
305	1,017	52,4385
306	1,004	7,9666
307	1,004	7,9666
308	0,963	1,4987
309	1,008	41,0374
310	0,996	7,6333
311	0,995	7,0093
312	0,996	7,4798
313	1,017	51,8080
314	1,017	51,8054
315	1,003	7,7846
316	1,003	7,7846
317	0,995	4,0975

Bara No	Bara Gerilimi V_{bus} (pu)	Bara Anıza Akımı I_{FC} (pu)
257	1,017	6,5029
258	1,017	49,5942
259	0,998	7,9038
260	0,998	7,6862
261	0,998	7,6862
262	0,997	14,9164
263	0,982	5,5539
264	0,975	4,0178
265	0,982	5,5235
266	1,016	49,4037
267	0,995	7,8544
268	1,001	7,7294
269	0,947	2,3835
270	1,011	31,4926
271	1,007	7,3455
272	0,999	7,1760
273	1,000	8,5134
274	1,011	51,9926
275	1,023	27,5064
276	0,996	7,8032
277	0,994	7,8032
278	1,008	6,8388
279	0,970	21,6322
280	0,970	21,6290
281	0,937	6,7242
282	0,937	6,7677
283	0,937	6,7601
284	0,937	6,6507
285	1,021	30,3228
286	1,020	25,6935
287	1,006	7,1050
288	0,994	6,8119
289	0,998	15,4205
290	0,998	15,4183
291	0,986	6,5995
292	0,986	6,5999
293	1,011	27,0314
294	1,001	10,0487
295	1,002	6,9118
296	1,000	6,6747
297	1,011	40,1772
298	0,997	7,5795
299	0,997	7,5795
300	1,010	36,9700
301	1,000	6,1342
302	1,000	6,1342
303	1,000	6,1342
304	1,000	7,1091
305	1,017	50,5404
306	1,003	7,9303
307	1,003	7,9303
308	0,963	1,4970
309	1,012	40,1306
310	1,001	7,6081
311	1,000	6,9885
312	1,000	7,4557
313	1,017	49,9591
314	1,017	49,9568
315	1,002	7,7501
316	1,002	7,7500
317	0,994	4,0870

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad	:	Doğan Recep GÜMELİ
Doğum Yeri ve Tarihi	:	İstanbul, 10.11.1966
Adres	:	Yakacık Caddesi No:111 Kartal / İSTANBUL
E-Posta	:	dgumeli@hotmail.com
Lisans	:	Yıldız Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü (1987)
Yüksek Lisans	:	İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Programı (1990)
Mesleki Deneyim ve Ödüller	:	Siemens Sanayi ve Ticaret A.Ş. (23 yıl) Proje Yönetim Ödülleri
Yayın ve Patent Listesi	:	

TEZDEN TÜRETİLEN YAYINLAR/SUNUMLAR

- **Gumeli, D.R.**, Bagriyanik, M., “*The effects of power system expansion on the fault current and reducing without investment*”, Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 2013 Volume (issues) 31(2): 901-910, March 2013

