

**KIRIKKALE ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ  
ANABİLİM DALI  
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**GÜÇ SİSTEMLERİNİN EKONOMİK VE ÇEVRESEL EKONOMİK YÜK  
DAĞITIMINDA YENİ OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN KULLANIMI**

**Özge Pınar ARSLAN**

**AĞUSTOS 2015**

**Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında** Özge Pınar ARSLAN tarafından hazırlanan GÜÇ SİSTEMLERİNİN EKONOMİK VE ÇEVRESEL EKONOMİK YÜK DAĞITIMINDA YENİ OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN KULLANIMI adlı Yüksek Lisans Tezinin Anabilim Dalı standartlarına uygun olduğunu onaylarım.

Prof. Dr. Ediz POLAT  
Anabilim Dalı Başkanı

Bu tezi okuduğumu ve tezin **Yüksek Lisans Tezi** olarak bütün gereklilikleri yerine getirdiğini onaylarım.

Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM  
Danışman

Jüri Üyeleri

Başkan : (Doç. Dr. İsa NAVRUZ)  
Üye (Danışman) : (Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM)  
Üye : (Yrd. Doç. Dr. İbrahim EKE)

Bu tez ile Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onaylamıştır.

Prof. Dr. Mustafa YİĞİTOĞLU  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## ÖZET

### GÜÇ SİSTEMLERİNİN EKONOMİK VE ÇEVRESEL EKONOMİK YÜK DAĞITIMINDA YENİ OPTİMİZASYON TEKNİKLERİNİN KULLANIMI

ARSLAN, Özge Pınar

Kırıkkale Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek lisans tezi

Danışman: Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM

Ağustos 2015, 88 sayfa

Elektrik enerjisi sistemlerinin üretim maliyetini minimuma indirecek şekilde çalıştırılması, önemi gün geçtikçe artan bir konu haline gelmiştir. Konuyla ilgili olarak, güç sisteminin ekonomik yük dağıtımını önemli hale gelmiştir. Ekonomik yük dağıtımını, güç sisteminin en uygun maliyet ile işletilmesi için, jeneratörlerin giriş-çıkış eğrilerine göre belirlenen maliyet fonksiyonu ile, her bir jeneratörün ne kadar üretim yapması gerektiğinin belirlenmesi işlemidir. Jeneratörler arasında ekonomik yük dağıtımının yapılması, ucuz elektrik üretimine yardımcı olması bakımından önemlidir. Ancak, üretim birimlerinde çoğunlukla kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil kaynaklı yakıtların kullanılması, karbondioksit, sülfür dioksit, ve nitrojen oksit içeren gaz ve kül parçacıkları oluşturarak çevre kirliliğine neden olmaktadır. Bu nedenle, ekonomik yük dağıtımına ilave olarak, çevresel yük dağıtımını da göz önünde bulundurmak gerekir.

Bu çalışmada, ekonomik yük dağıtımını ve çevresel ekonomik yük dağıtımını problemleri, sezgisel optimizasyon yöntemleri kullanılarak çeşitli güç sistemlerine uygulanmıştır. İlk olarak, ekonomik yük dağıtımını problemi, Türkiye'de bulunan 380 kV'luk 22 baralılık güç sistemi için, iletim kayıpları ihmal edilerek ve edilmeyerek, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması kullanılarak çözülmüştür. Sonrasında, çevresel ekonomik yük dağıtımını problemi, 6 jeneratörlü bir güç sistemi için, iletim kayıpları ihmal edilerek ve edilmeyerek, Genetik Algoritma

ve Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması kullanılarak çözülmüştür. Bu problemler için en iyi çözüm değerleri elde edilmeye çalışılmıştır. Elde edilen bu değerler, literatürdeki diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar görülmüştür.

**Anahtar kelimeler:** Ekonomik Yük Dağıtımı, Çevresel Ekonomik Yük Dağıtımı, Genetik Algoritma, Yapay Arı Kolonisi Algoritması, Optimizasyon, Güç Sistemleri.

## ABSTRACT

### USING OF NEW OPTIMIZATION TECHNIQUES IN ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL ECONOMIC LOAD DISPATCH OF POWER SYSTEMS

ARSLAN, Özge Pınar

Kırıkkale University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electrical and Electronics Eng., M. Sc. Thesis

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Ertuğrul ÇAM

August 2015, 88 pages

Operation of electrical energy systems so as to minimize the cost of production has become an issue that has an increasing importance. Related to the issue, economic load dispatch of power systems has become significant topic. Economic load dispatch is the process to determine how much should each generator generate for the most reasonable cost of power system operation with cost function that is determined by input-output curves of generators. Economic load dispatch among generators is important in helping to cheap electricity generation. However, the use of fossil fuels such as coal, oil, natural gas mostly causes environmental pollution by creating gas and ash particles containing carbon dioxide, sulfur dioxide, and nitrogen oxide. Therefore, environmental load dispatch must be taken into consideration in addition to the economic load dispatch.

In this study, economic load dispatch and environmental economic load dispatch problems have been applied to the various power systems by using heuristic optimization techniques. Firstly, economic load dispatch problem is solved by using Genetic Algorithm and Artificial Bee Colony optimization algorithm for 380 kV, 22 bar power system in Turkey with both neglecting and including transmission loss. Then, environmental economic load dispatch problem is solved by using Genetic Algorithm and Artificial Bee Colony optimization algorithm for 6 generators power system with both neglecting and including transmission loss. It is tried to get

optimum solutions for these problems. When obtained values are compared with the other studies in the literature, it is seen that the results are better than them.

**Key Words:** Economic Load Dispatch, Environmental Economic Load Dispatch, Genetic Algorithm, Artificial Bee Colony Algorithm, Optimization, Power Systems.

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim ve tez çalışmam süresince, hiçbir yardımını esirgemeyen ve biz genç araştırmacılara büyük destek olan, akademik ve kişisel gelişimime önemli katkılarda bulunan, tez yöneticisi hocam, Sayın Doç. Dr. Ertuğrul ÇAM' a, tez çalışmalarım esnasında, bilimsel konularda daima yardımını gördüğüm hocam, Sayın Yrd. Doç. Dr. İbrahim EKE' ye, bu süreçte yardımlarını esirgemeyen tüm hocalarıma ve çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Tüm eğitim hayatım boyunca bana inanan, beni destekleyen ve hep yanımda olan annem Sultan ARSLAN başta olmak üzere, babam Mustafa ARSLAN' a ve kardeşim Eren ARSLAN' a,

Hayatımın her anında varlığıyla bana destek veren ve yaşamımı güzelleştiren, beraber mutlu adımlar attığımız sevgili nişanlım Hakan AKKAŐ' a

Sevgi ve desteğini her zaman yanımda hissettiğim değerli arkadaşım Bilge KARAMAN' a teşekkür ederim.

# İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

<b>ÖZET</b> .....	i
<b>ABSTRACT</b> .....	iii
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	v
<b>İÇİNDEKİLER DİZİNİ</b> .....	vi
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ</b> .....	ix
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ</b> .....	xi
<b>1. GİRİŞ</b> .....	1
1.1. Literatür Taraması .....	8
1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı .....	11
<b>2. GÜÇ AKIŞI ANALİZİ</b> .....	13
2.1. Bara Admitans Matrisi .....	13
2.2. Güç Akışı Eşitliği.....	17
2.3. Gauss-Seidel ile Güç Akışı .....	18
2.4. Newton-Raphson ile Güç Akışı .....	19
2.4. Hızlı Ayrışık (Fast Decoupled) ile Güç Akışı.....	23
2.5. Hat Akışları ve Kayıplar .....	25
<b>3. PROBLEMLERİN FORMÜLASYONU</b> .....	27
3.1. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Formülasyonu .....	27
3.1.1. Kayıplar ve Jeneratör Sınırları İhmal Edildiğinde Ekonomik Dağıtım.....	29
3.1.2. Kayıplar İhmal ve Jeneratör Sınırları Dahil Edildiğinde Ekonomik Dağıtım.....	32
3.1.3. Kayıplar ve Jeneratör Sınırları Dahil Edildiğinde Ekonomik Dağıtım	33



3.1.4. Gradient Metoduyla Ekonomik Dağıtım.....	37
3.2. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Formülasyonu .....	38
<b>4. GENETİK ALGORİTMA .....</b>	<b>41</b>
4.1. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri .....	41
4.1.1. Kodlama .....	42
4.1.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması.....	43
4.1.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması .....	43
4.1.4. Elitizm .....	44
4.1.5. Seçim.....	44
4.1.6. Çaprazlama.....	45
4.1.7. Mutasyon.....	46
<b>5. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI.....</b>	<b>48</b>
5.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Temel Adımları .....	49
5.1.1. Başlangıç Yiyecek Kaynaklarının Üretilmesi.....	50
5.1.2. İşçi Arıların Yiyecek Kaynaklarına Gönderilmesi.....	52
5.1.3. Gözcü Arıların Yiyecek Kaynaklarına Gönderilmesi .....	53
5.1.4. Yiyecek Kaynağının Bırakılması ve Kaşif Arı Üretimi.....	53
<b>6. UYGULAMA VE ANALİZLER .....</b>	<b>55</b>
6.1. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü.....	55
6.1.1. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Uygulanacağı Güç Sisteminin Özellikleri.....	55
6.1.2. Genetik Algoritma ile Kayıpsız Ekonomik Dağıtım.....	61
6.1.3. Genetik Algoritma ile Kayıplı Ekonomik Dağıtım .....	63
6.1.4. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıpsız Ekonomik Dağıtım .....	64
6.1.5. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıplı Ekonomik Dağıtım .....	65
6.2. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü.....	66

6.2.1. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Uygulanacağı Güç Sisteminin Özellikleri.....	66
6.2.2. Genetik Algoritma ile Kayıpsız Çevresel Ekonomik Dağıtım.....	68
6.2.3. Genetik Algoritma ile Kayıplı Çevresel Ekonomik Dağıtım.....	71
6.2.4. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıpsız Çevresel Ekonomik Dağıtım .....	74
6.2.5. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıplı Çevresel Ekonomik Dağıtım .....	75
<b>7. SONUÇLAR .....</b>	<b>76</b>
7.1. Ekonomik Yük Dağıtım Sonuçları.....	76
7.2. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Sonuçları.....	78
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>83</b>

## ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>ŞEKİL</u>	<u>Sayfa</u>
1.1. Dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı-2012 (Toplam=12476,6 MTEP (Milyon-Ton Eşdeğer Petrol) )	2
1.2. Dünya elektrik üretiminde enerji kaynaklarının payları (2010-2035)	2
1.3. Enerji kullanımından doğan CO <sub>2</sub> salımlarının 1990-2010 sektörel gelişimi	6
1.4. Elektrik üretiminden doğan CO <sub>2</sub> salımlarının 1990-2010 kaynaklarına göre gelişimi	7
1.5. Türkiye’de elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonların yıllara göre dağılımı	7
2.1. Basit bir güç sistemi	14
2.2. Güç sisteminin admitans diyagramı	15
2.3. Güç sistemindeki bara gösterimi	17
2.4. İletim hattı modeli	26
3.1. Yakıt maliyet eğrisi	27
3.2. Artan yakıt maliyet eğrisi	28
4.1. Genetik algoritma akış diyagramı	42
5.1. Arılarla dans	49
5.2. Yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı	51
6.1. Türkiye’deki 380 kV’luk 22 baralı güç sistemi	56
6.2. Genetik algoritma ile kayıpsız ekonomik dağıtım sonucu en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	62
6.3. Genetik algoritma ile kayıplı ekonomik dağıtım sonucu en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	64
6.4. Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonucu 500 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	69
6.5. Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonucu 700 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	70

6.6.	Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonucu 900 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	70
6.7.	Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonucu 500 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	72
6.8.	Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonucu 700 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	73
6.9.	Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonucu 900 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri	73

## ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>ÇİZELGE</u>	<u>Sayfa</u>
4.1. İkili kodlama türüyle oluşturulan bireyler	43
4.2. Tek noktalı çaprazlama	45
4.3. Çift noktalı çaprazlama	46
4.4. Çok noktalı çaprazlama	46
4.5. Mutasyon	47
6.1. 22 baralı sistemin bara kodları ve isimleri	57
6.2. 22 baralı sistemin R, X, B/2 değerleri	58
6.3. 22 baralı sistemin özellikleri	59
6.4. 22 baralı sistemin B kayıp katsayıları	60
6.5. Üretim birimlerinin maliyet fonksiyonları ve limit değerleri	61
6.6. Genetik algoritma parametreleri ve değerleri	61
6.7. Genetik algoritma ile kayıpsız ekonomik dağıtım sonuçları	62
6.8. Genetik algoritma parametreleri ve değerleri	63
6.9. Genetik algoritma ile kayıplı ekonomik dağıtım sonuçları	63
6.10. Yapay arı kolonisi algoritması kontrol parametreleri ve değerleri	65
6.11. Yapay arı kolonisi ile kayıpsız ekonomik dağıtım sonuçları	65
6.12. Yapay arı kolonisi ile kayıplı ekonomik dağıtım sonuçları	66
6.13. 6 jeneratörlü test sistemindeki üretim birimlerinin maliyet katsayıları ve üretebileceği gücün limit değerleri	67
6.14. 6 jeneratörlü test sistemindeki üretim birimlerinin NO <sub>x</sub> emisyon katsayıları	67
6.15. 6 jeneratörlü test sisteminin kayıp katsayıları	67
6.16. Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonuçları	68
6.17. Genetik algoritma parametreleri ve değerleri	71
6.18. Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonuçları	71
6.19. Yapay arı kolonisi ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonuçları	74
6.20. Yapay arı kolonisi ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonuçları	75
7.1. Ekonomik yük dağıtım problemi, 22 baralı güç sistemi üzerinde, iletim hattı kayıpları ihmal ve dahil edilerek elde edilen sonuçları	78

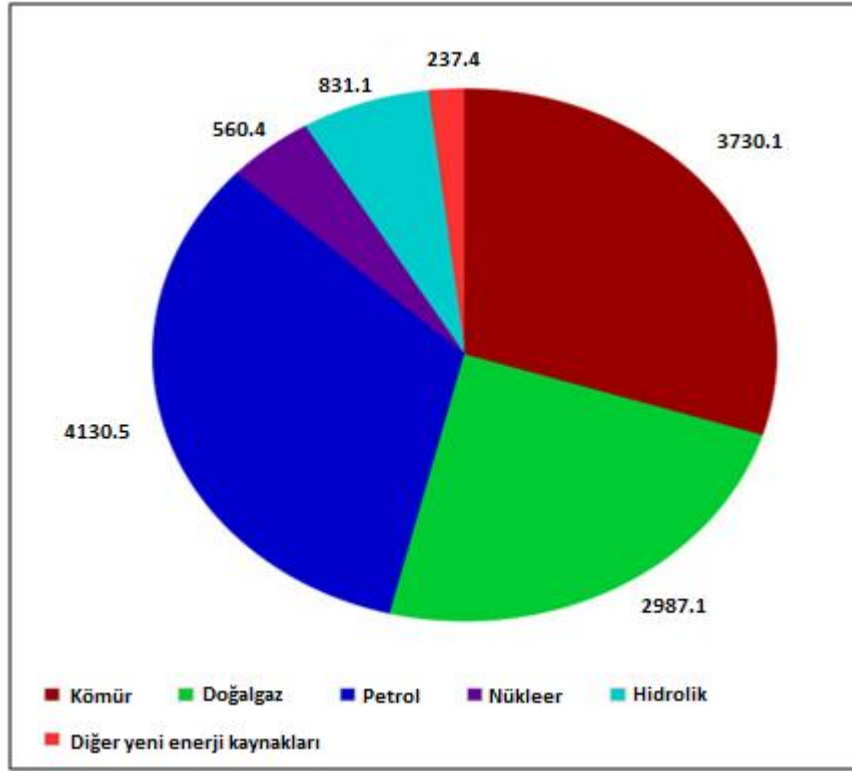
- 7.2. Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi, 6 jeneratörlü güç sistemi üzerinde, iletim hattı kayıpları ihmal edilerek, genetik algoritma ve yapay arı kolonisi algoritması ile elde edilen sonuçları 79
- 7.3. Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi, 6 jeneratörlü güç sistemi üzerinde, iletim hattı kayıpları dahil edilerek, genetik algoritma ve yapay arı kolonisi algoritması ile elde edilen sonuçları 80
- 7.4. Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi, 6 jeneratörlü güç sistemi üzerinde iletim hattı kayıpları dahil edilerek, literatürdeki diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması 81

## 1. GİRİŞ

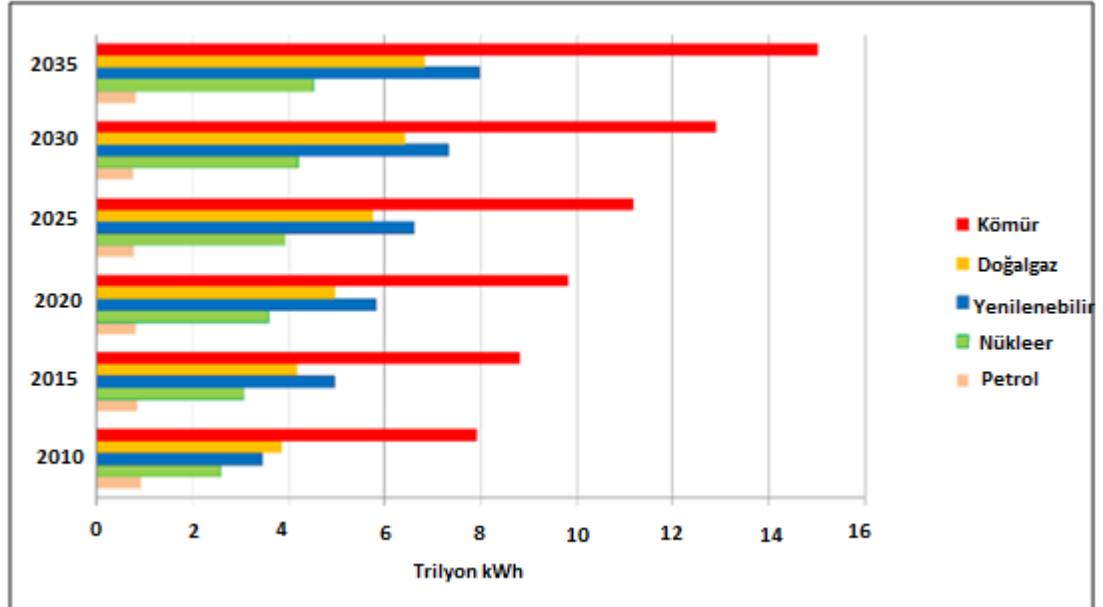
Sanayileşmenin alt yapısı ve günlük hayatın vazgeçilmez bir unsuru olan enerji, artan nüfus ve gelişen teknoloji ile birlikte daha da önemli hale gelmiştir. Kaynakların giderek azalması, dışa bağımlılık ve çevresel etkiler gibi nedenler, güvenli, ucuz, temiz ve yeterli miktarda enerji üretmenin ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle gelişmekte olan ülkemizde, hızlı nüfus artışı sonucu ortaya çıkan kentleşme ve sanayileşme elektrik enerjisine olan talebin yıllık ortalama %6-9 oranında artması ile karşımıza çıkmaktadır. Dolayısıyla, Türkiye’de hayat standardının yükselmesi, elektrik enerjisine olan talebin giderek büyümesine neden olmaktadır [1].

Bugünün enerji kaynakları yenilenemeyen enerji kaynakları (kömür, petrol, doğalgaz ve nükleer enerji) ve yenilenebilen enerji kaynakları (odun, bitki atıkları, jeotermal enerji, güneş, rüzgar, hidrojen, hidrolik, gelgit ve dalga enerjisi) şeklinde sınıflandırılmaktadır. Dünyada büyük ölçüde yenilenemeyen enerji kaynaklarının kullanılıyor olması, çevre sorunlarını büyük oranda arttırmıştır. Bu yüzden, çevresel etkileri daha az olan yenilenebilen enerji kaynaklarına yönelmek, her bakımdan avantajlı olmaktadır [2].

Günümüzde dünya enerji üretiminde öncelikli kaynaklar petrol, doğalgaz ve kömür gibi yenilenemeyen enerji kaynaklarıdır. Çevreyi daha az kirleten doğalgazın enerji üretimindeki payı ise gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 1.1’de dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı gösterilmektedir [3]. Şekil 1.2’de ise 2010-2035 yıllarına ait, dünya elektrik üretiminde enerji kaynaklarının payları gösterilmektedir [3].



Şekil 1.1. Dünyada birincil enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı-2012 (Toplam=12476,6 MTEP (Milyon-Ton Eşdeğer Petrol) ) [3]



Şekil 1.2. Dünya elektrik üretiminde enerji kaynaklarının payları (2010-2035) [3]



Şekil 1.1’de görüldüğü gibi, petrol, dünyada en çok kullanılan enerji kaynağıdır. İkinci sırada kullanımı gittikçe azalan maden kömürü ve üçüncü sırada üretimi ve tüketimi hızla artan doğalgaz bulunmaktadır. Önümüzdeki yıllarda alternatif enerji kaynakları değer kazanacaktır. Dünya üzerinde kullanılmakta olan alternatif enerji kaynakları aşağıda anlatılmaktadır.

**Nükleer Enerji:** Nükleer enerji, nükleer reaktörlerde atom çekirdeğinin parçalanması veya çekirdek kaynaşması esnasında açığa çıkan enerjidir [3]. Nükleer enerji, günümüzün ve geleceğin en önemli enerji kaynaklarından biri olarak kabul görmektedir. Petrol ve doğalgazın bazı ülkelerde geniş rezerv halinde bulunması ve bu kaynakların yenilenemez oluşu, birçok ülkeyi nükleer araştırmalara ve nükleer enerjiden faydalanmaya yönlendirmiştir. Bugün bakıldığında, dünya üzerinde 400’den fazla nükleer enerji santrali vardır ve bunlar dünyanın toplam elektrik ihtiyacının %15’ini sağlayacak kapasitede çalışmaktadır. Örneğin Fransa, elektrik ihtiyacının %77’sini nükleer reaktörlerinden sağlamaktadır [4]. Mart 2015 itibariyle, 31 ülkede 440 nükleer santral işletmede olup, 15 ülkede 68 adet nükleer santral de inşa halindedir. Nükleer enerjiden elektrik üretiminin ise 2010’da gerçekleşen 2,756 TWh değerinden 2035 yılında 3,908 TWh değerine yükseleceği, ancak nükleer enerjinin toplam enerji üretimindeki payının %12.9’dan %9.7’ye düşeceği hesaplanmaktadır. Dünyadaki nükleer santral kurulu gücünün ise 2010 yılındaki 394 GW değerinden, 2035’de 524 GW’a çıkması beklenirken, nükleer kapasitede Avrupa Birliği’nde %32’lik bir düşüş öngörülmektedir. Avrupa Birliği’nde 2010 itibariyle 138 GW olan nükleer kurulu gücün 2035’de 94 GW’a inmesi beklenmektedir [5].

**Güneş Enerjisi:** Güneş enerjisi, güneş ışığından enerji elde edilmesine dayalı bir teknolojidir. Temiz ve masrafsız bir enerji kaynağı olan güneşin en önemli özelliği bol ve sınırsız olmasıdır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğüne hazırlanan, Türkiye’nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına göre yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat, yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m<sup>2</sup>.yıl olduğu tespit edilmiştir [5].

**Biyoenjerji:** Biyokütle enerjisi olarak adlandırılan bu enerji türü organik maddelerden elde edilen enerjidir. Bitki ve hayvan atıklarından yararlanılır. Odun,

yağlı tohumlu bitkiler, elyaf bitkileri, karbonhidratlı bitkiler, bitkisel atıklar, sanayi atıkları, hayvansal atıklar başlıca biyokütle kaynaklarıdır [3].

**Rüzgar Enerjisi:** Temiz ve yenilenebilen bir enerji kaynağı olan rüzgardan günümüzde modern türbinler yardımıyla elektrik elde edilmektedir. Rüzgar gücünden elektrik elde eden ülkelerin başında Almanya gelmektedir. Almanya, dünya rüzgar enerjisi üretiminin %27'sine tek başına sahiptir. %25.5 ile Amerika Birleşik Devletleri ikinci sırada, %14.7 ile Danimarka üçüncü sırada yer almaktadır [3]. Türkiye'de 2013 yılı sonu yıllık rüzgar enerjisi üretim miktarı 7.518 GWh'dir. 2013 yılı sonu itibariyle işletmede olan rüzgar enerjisi santrallerinin kurulu gücü ise 2.760 MW'dır. World Energy tarafından yayınlanmış çalışmaya göre; 5.1 m/s üzeri rüzgar hızlarına sahip bölgelerin uygulamaya dönük ve toplumsal kısıtlar nedeni ile %4'ünün kullanılacağı kabul edilerek, dünya rüzgar enerjisi teknik potansiyeli 53.000 TWh/yıl olarak hesaplanmıştır. Dünyada 2012 yılı sonu yıllık rüzgar enerjisi üretimi 557 TWh/yıl olup enerji üretimindeki payı %2.6'dır. Aralık 2013 yılı sonu itibariyle işletmede olan rüzgar enerji santrallerinin kurulu gücü ise yaklaşık olarak 300 GW'dır [5].

**Jeotermal enerji:** Yer kabuğunun derinliklerindeki ısının fay hatlarından sıcak su veya buhar olarak kendiliğinden ya da sondajlarla çıkartılmasıyla elde edilen enerjiye jeotermal enerji denir [3]. Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal elektrik santrallerinde CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> gazlarının salınımı çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Dünyada jeotermal enerji kurulu gücü 2013 yılı Ağustos ayı itibariyle 11,766 MW'dır. Yıllık elektrik üretim miktarı yaklaşık 68,6 milyar kWh'dır. Amerika Birleşik Devletleri, Filipinler, Endonezya, Meksika ve İtalya, jeotermal enerjiden elektrik üretiminde ilk 5 ülke arasındadır. Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer alan Türkiye, oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip bir ülkedir. Ülkemizin jeotermal potansiyeli teorik olarak 31.500 MW'dır. Jeotermal kaynaklarımızın %94'ü ısıtma, termal turizm, mineral eldesi gibi doğrudan uygulamalar için uygun olup, %6'sı ise elektrik enerjisi üretimi gibi dolaylı uygulamalar için uygundur [5].

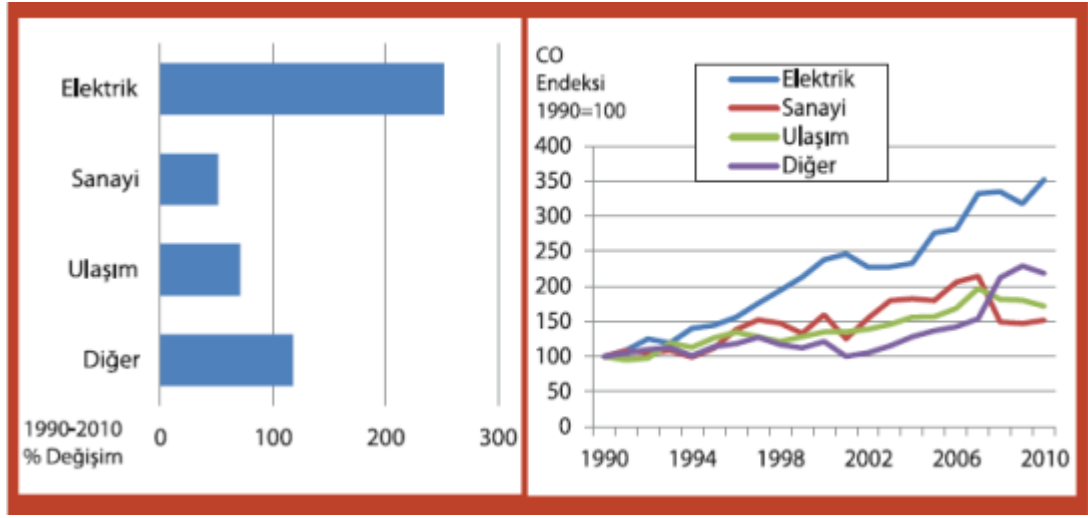
**Dalga Enerjisi:** Dalga enerjisi, denizlerde rüzgarların etkisiyle oluşan dalgalardan elde edilir. Bütün dünyada dalgalardan 200 milyon ton taşkömürünün vereceği enerjii karşılayacak enerji elde edilebilir. Okyanusların kıyı şeridi yaklaşık 100.000 km'dir ve bu kıyı şeridinin ortalama potansiyel gücü 4 milyar kWh'yi bulmaktadır [3].

**Hidroelektrik Enerjisi:** Hidroelektrik enerjisi, akan suyun kinetik enerjisinin türbinler ve jeneratörler sayesinde elektrik enerjisine dönüştürülmesiyle elde edilir. Dünya elektrik üretiminin %17'si hidroelektrik enerjisi tarafından karşılanmaktadır [3]. Ülkemiz teorik hidroelektrik potansiyeli dünya teorik potansiyelinin %1'i, ekonomik potansiyeli ise Avrupa ekonomik potansiyelinin %16'sıdır. Ülkemizin yenilenebilir enerji potansiyeli içinde en önemli yeri tutan hidrolik kaynaklarımızın teorik hidroelektrik potansiyeli 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyeli 216 milyar kWh ve ekonomik hidroelektrik enerji potansiyeli ise 140 milyar kWh/yıl'dır [5].

**Gel-git Enerjisi:** Gel-git enerjisi, okyanuslardaki suyun alçak ve yüksek olduğu zamanlar arasındaki farktan doğan enerjidir [3]. Günümüzde yaygın olarak kullanılmamakla beraber geleceğin enerji elde etme yöntemlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Gel-git enerjisinde, gel-git olayı için üretilmiş olan özel türbinler kullanılır. Gel-git enerjisi için özel türbinlerin yanında, gel-git barajı da gereklidir. Amerika Birleşik Devletleri, İngiltere, Fransa, Almanya gel-git enerjisi üzerinde çalışmalar yürütmektedir. Dünyadaki en büyük gel-git barajına Fransa sahiptir. Bu baraj, 750 metre uzunluğundadır ve 240 MW güç üretir [6].

Elektrik üretiminden kaynaklanan birincil enerji kaynaklarından ortaya çıkan CO<sub>2</sub> salımları 1990-2010 döneminde %252.3 oranında yükselerek salımları en hızlı büyüyen sektör olmuştur. Elektrik üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> salımlarındaki hızlı yükselme, artan elektrik talebini karşılamak için arz miktarlarının artması ile ilgili olmakla birlikte, esas belirleyici unsur elektrik üretiminin karbon yoğunluğu olmaktadır. Türkiye'de 1990-2010 döneminde hidroelektrik enerjinin toplam elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payı %40'dan %25'e düşerken, termik santrallerin payı %60'dan %74'e çıkmıştır. Rüzgar enerjisi de %1'lik bir pay elde etmiştir.

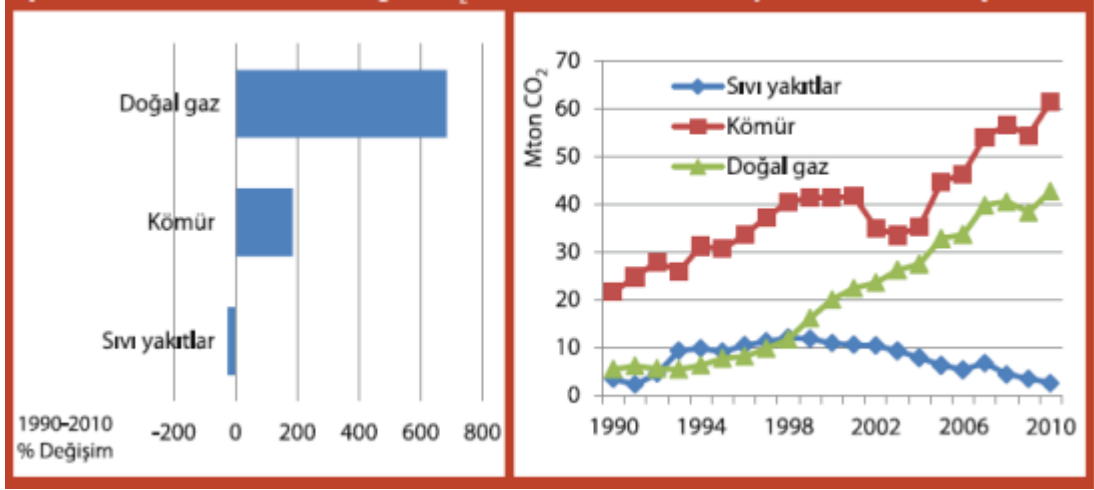
Hidroelektrik enerjinin payı düşerken 20 yıllık süre içerisinde kurulu gücü 2.3 kat artarak 6,764 MW'dan 15,831 MW kapasite değerine ulaşmıştır. Ancak aynı dönemde termik santrallerin kurulu gücü 3.4 kat artarak 9,536 MW'dan 32,279 MW kapasite değerine çıkmıştır. Bu gelişmeler elektrik üretiminden kaynaklanan CO<sub>2</sub> salımlarındaki artışların belirleyicisi olmuştur [7]. Şekil 1.3'de enerji kullanımından doğan CO<sub>2</sub> salımlarının 1990-2010 yılları arasındaki sektörel gelişimi gösterilmektedir [7].



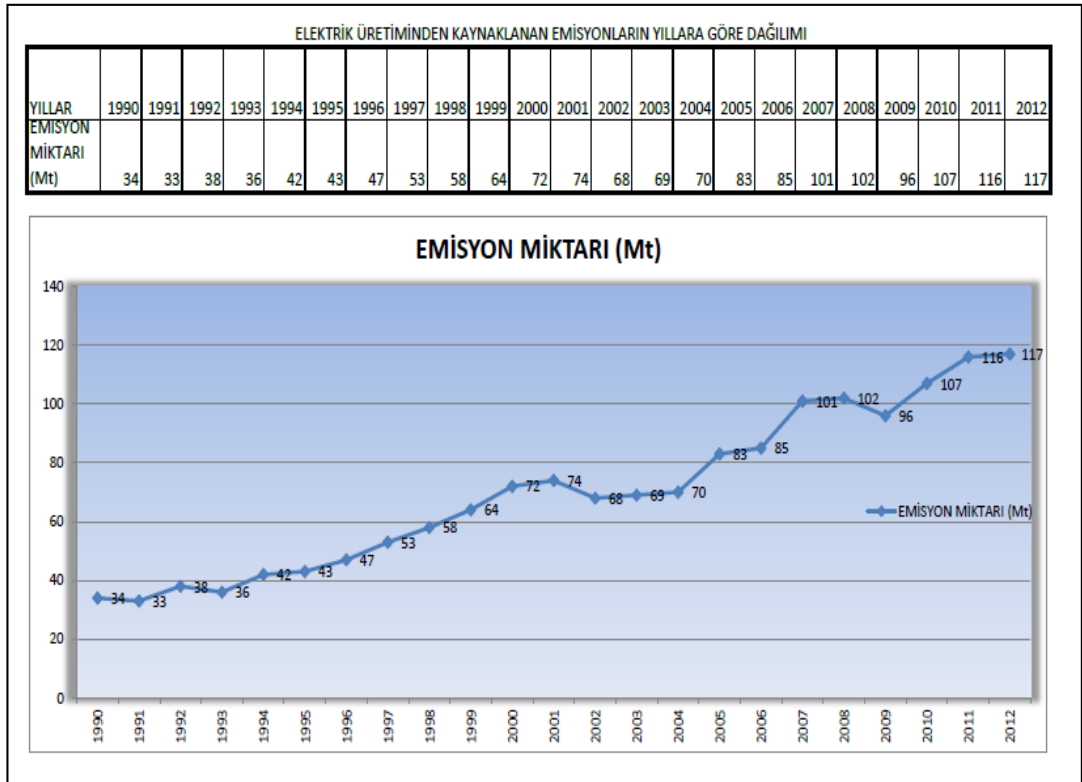
**Şekil 1.3.** Enerji kullanımından doğan CO<sub>2</sub> salımlarının 1990-2010 sektörel gelişimi [7]

Şekil 1.4'de elektrik üretiminden doğan CO<sub>2</sub> salımlarının kaynaklarına göre gelişimi gösterilmektedir [7].

Şekil 1.5'de Türkiye'de elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonların yıllara göre dağılımını gösterilmektedir [8].



Şekil 1.4. Elektrik üretiminden doğan CO<sub>2</sub> salımlarının 1990-2010 kaynaklarına göre gelişimi [7]



Şekil 1.5. Türkiye'de elektrik üretiminden kaynaklanan emisyonların yıllara göre dağılımı [8]

Elektrik enerjisinden en yüksek verimde faydalanabilmek için, güç üretim sistemlerinin ekonomik işletilmesi ve planlanması gerekmektedir. Böylece talep edilen elektrik enerjisi karşılanırken, hem yakıt maliyetini hem de çevre kirliliğini en aza indirerek güç üretilmesi sağlanabilecektir.

Ekonomik yük dağıtımı, güç sistemi işletiminde çözülmesi gereken en önemli problemlerden birisidir. Ekonomik yük dağıtımı probleminin amacı, talep edilen enerjinin mümkün olan en düşük maliyet ile karşılanacak şekilde üretim birimleri arasında paylaşılmasıdır. Bu paylaşım yapılırken, sınırlamalar da göz önünde bulundurulmalıdır.

Elektrik enerjisi üretiminde, genelde fosil yakıtlı kaynakların kullanılması, çevre kirliliğine neden olmaktadır. Fosil yakıtlı santraller havaya, CO<sub>2</sub>, SO, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> gibi atık gazları yaymaktadır. Çevre kirliliği etkilerinin artması, küresel ısınmaya ve insan sağlığı üzerinde olumsuz sonuçlara neden olacağından, çevreye verilen zararı azaltacak şekilde üretim yapılması önemlidir. Bu nedenle, ekonomik yük dağıtımının yanında, çevre kirliliğinin de dikkate alınması, önemli bir konu haline gelmiştir.

Çevresel ekonomik yük dağıtımı, yakıt maliyetinin yanında emisyon miktarının da en aza indirildiği çok amaçlı bir optimizasyon problemidir. Üretim birimleri tarafından üretilen emisyon miktarının azaltılarak, çevrenin temiz tutulması amaçlanmaktadır. Bunun için, az emisyon üreten birimler daha fazla kullanılmaktadır. Çevresel ekonomik yük dağıtımı probleminde, hem daha az emisyonlu ve hem de daha ekonomik olacak şekilde, üretim birimleri arasında talep edilen yükün dağıtımı yapılmaktadır.

### **1.1. Literatür Taraması**

Yapılan literatür taramasında, ekonomik yük dağıtımı ve çevresel ekonomik yük dağıtımı problemlerinin çözümünde bir çok çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda verilmiştir.

Ü. Başaran, 2004 yılında yaptığı çalışmasında, Türkiye'deki 380 kV'luk enerji iletim hatlarıyla birbirine bağlı, 30 üretim ve 35 yük barasından oluşan, 65 baralı enterkonnekte güç sistemini ele alarak, sistemin en uygun çalışma noktalarını belirlemek ve kurulacak yeni sistemlerin planlanmasını yapmak amacıyla, güç akış analizi yapmıştır. Ayrıca, Elektrik Üretim Anonim Şirketi'ne bağlı 8 tane termik santral bulunan, 22 baralı 380 kV'luk yeni bir sistem için de güç akışı, optimal güç akışı analizlerini yapmış, ikinci derece gradient yöntemi ve kayıplı ekonomik dağıtım yöntemlerini kullanarak santrallerin en düşük maliyetle yük talebini karşılmasını sağlamıştır [9].

2009 yılında, S. Tosun ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, sezgisel bir optimizasyon yöntemi olan Benzetim Tavlama algoritması kullanarak, üç adet termik santralden beslenen yük için saat başına enerji maliyetinin minimum değerde olmasını sağlayacak santral güçlerini belirlemiştir [10].

2009 yılında, S. Özyön yaptığı çalışmasında, çevresel ekonomik güç dağıtım problemlerinin Genetik Algoritma yöntemiyle çözümünü incelemiştir. Çözüm için sadece normal termik üretim birimlerinden oluşan sistem, kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemi ve ham enerji kaynağı kısıtlı termik birim içeren kısa dönem hidrotermal koordinasyon problemlerini ele almıştır [11].

2010 yılında, C. Demir yaptığı çalışmasında, termik birimler ve pompayla doldurulmalı birimden oluşan sistemin, çevresel ekonomik güç dağıtımının çözümünü Genetik Algoritma ile incelemiştir. Çözüm için, ağırlıklı toplam skalerleştirme metodunu kullanmıştır [12].

2011 yılında, S. Özyön ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, IEEE 6 jeneratörden oluşan, 30 baralı test sistemi üzerinde, Parçacık Sürü Optimizasyon algoritması kullanarak, çevresel ekonomik güç dağıtım problemini hem hat kayıplarını ihmal ederek hem de hat kayıplarını dahil ederek çözmüştür [13].

2011 yılında, M. Basu yaptığı çalışmasında, ekonomik çevresel dağıtım problemini çözmek için, çok amaçlı diferansiyel gelişim algoritmasını öne sürmüştür. Bunun için, 6, 10 ve 40 üretim biriminden oluşan üç farklı test sistemi kullanmıştır [14].

2011 yılında, E. Çetin yaptığı çalışmada, ekonomik yük dağıtımını problemini, sezgisel optimizasyon metotlarından olan Parçacık Sürü Optimizasyonu, Yapay Arı Kolonisi Optimizasyonu ve Diferansiyel Gelişim Optimizasyonu algoritmalarını kullanarak, 6 jeneratörlü ve 40 jeneratörlü test sistemlerine ayrı ayrı uygulamıştır. Çalışmada, iletim hattı kayıplarının ve rüzgar enerji santrallerinin de dahil edildiği durumları da incelemiş ve sonuçları irdelemiştir [15].

2011 yılında, S. Özyön ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, çevresel ekonomik güç dağıtımını probleminin çözümü için Harmoni Arama algoritmasını IEEE 30 baralı 6 jeneratörlü test sistemi için uygulamışlardır. Test sistemini, iletim hattı kayıplarını ihmal ve dahil ederek çözmüşlerdir [16].

2012 yılında, X. Yang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, konveks olmayan ekonomik dağıtım problemlerini çözmek için, ateş böceği algoritmasına dayanan yeni bir yaklaşım öne sürmüşlerdir. Önerilen yöntemde, valf nokta etkisi, rampa oranı limitleri, yasak işletim bölgeleri gibi doğrusal olmayan bir çok özellik düşünülmüştür. Bunun için, dört test sistemi üzerinde çalışılmıştır ve yöntemin performans kalitesi literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılmıştır [17].

2012 yılında, S. Özyön ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, valf nokta etkili konveks olmayan ekonomik güç dağıtımını probleminin çözümü için Harmoni Arama algoritmasını kullanmışlardır. Algoritmayı 6 baralı 3 jeneratörlü, IEEE 14 baralı 5 jeneratörlü, IEEE 30 baralı 6 jeneratörlü üç farklı test sistemine uygulamışlardır [18].

2013 yılında, R. Zhang ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ekonomik çevresel dağıtım problemini, kısıtlı çok amaçlı optimizasyon problemi olarak çözmek için, gelişmiş çok amaçlı kültürel algoritmasını kullanmışlardır. Bu algoritmayı, 6 ve 10 üretim biriminden oluşan iki test sistemi üzerinde uygulamıştır [19].

2013 yılında, S. Özyön ve arkadaşları çalışmalarında, jeneratörlerin artırma ve azaltma sınırlarını dikkate alan yasak işletim bölgesi ekonomik güç dağıtımını problemini Diferansiyel Gelişim Algoritması kullanarak çözmüşlerdir. Algoritmayı 6 ve 15 jeneratörden oluşan iki farklı test sistemine uygulamışlardır [20].



2013 yılında, M. Basu çalışmasında, çok bölgeli ekonomik dağıtım problemini çözmek için Yapay Arı Koloni Optimizasyonunu üç farklı test sistemi üzerinde uygulamıştır. Çalışmasında hat kayıpları, çoklu yakıt kaynakları, valf noktası yüklemesi ve yasaklanmış işletme bölgesi kısıtlamalarını da göz önünde bulundurmıştır [21].

2013 yılında, L. Slimani ve T. Bouktir yaptıkları çalışmada, emisyon kontrollü ekonomik dağıtım probleminin çözümünde Yapay Arı Kolonisi algoritmasını kullanmışlardır. Algoritma, IEEE 30 baralı 6 jeneratörlü test sistemi ve Cezayir'de bulunan ve 59 baradan oluşan güç sistemi üzerinde uygulanmıştır [22].

2014 yılında, A. Kaur ve arkadaşları yaptıkları çalışmalarında, termal jeneratörlerin ekonomik yük dağıtımını problemini, hat kayıplarını ihmal ederek 3 jeneratörlü ve 6 jeneratörlü test sistemleri üzerinde Genetik Algoritma metodunu kullanarak çözmüştür [23].

2014 yılında, G. Sahu ve K. Swarnkar çalışmalarında, ekonomik yük dağıtımını problemini 2 farklı test sistemi üzerinde Genetik Algoritma kullanarak uygulamışlardır [24].

2015 yılında, Ehab E. Elattar çalışmasında, dinamik ekonomik dağıtım problemini çözmek için hibrit genetik algoritma ve bakteri yem arama algoritmasını kullanmıştır. Çalışmasında valf noktası etkileri, rampa oranı etkileri ve hat kayıpları göz önünde bulundurulmuştur [25].

## **1.2. Tezin Amacı ve Kapsamı**

Bu çalışmada, ekonomik yük dağıtımını ve çevresel ekonomik yük dağıtımını problemleri güç sistemleri üzerinde çözüldü. Ekonomik yük dağıtımını probleminin çözümü için Türkiye'de bulunan 380 kV'luk 8 jeneratörden oluşan 22 baralı güç sistemi kullanıldı. 8 jeneratörlü güç sistemi için ilk önce iletim hattı kayıpları ihmal edilerek, daha sonra iletim hattı kayıpları dahil edilerek Genetik Algoritma ve Yapay

Arı Kolonisi optimizasyon yöntemleri ile çözüm yapıldı. Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi için, 6 jeneratörden oluşan güç sistemi kullanıldı. Ekonomik yük dağıtım probleminde kullanılan sistemden farklı bir güç sistemi kullanılmasının sebebi, çevresel ekonomik yük dağıtım probleminin çözümü için gerekli olan, sisteme ait emisyon katsayıları bilgisinin, 22 baralı sistem için olmamasıdır. Bunun için, çevresel ekonomik yük dağıtım probleminin çözümü için, emisyon katsayıları bilgisine sahip olduğumuz 6 jeneratörlü güç sistemi kullanıldı. 6 jeneratörlü güç sistemi için de ilk önce iletim hattı kayıpları ihmal edilerek, daha sonra iletim hattı kayıpları dahil edilerek Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi optimizasyon yöntemleri ile çözüm yapıldı.

Tezin ikinci bölümünde, çevresel ve ekonomik çevresel yük dağıtım problemlerinde önemli bir yer tutan güç akışı analizi, metotlar ve formüllerle anlatıldı. Analiz için kullanılan ve klasik yöntemlerden olan Gauss-Seidel, Newton-Raphson ve Hızlı Ayrışık (Fast Decoupled) metotları açıklandı.

Tezin üçüncü bölümünde, ekonomik yük dağıtım ve çevresel ekonomik yük dağıtım problemleri, problemlerin formülasyonları ve çözüm yöntemleri anlatıldı.

Tezin dördüncü bölümünde, Genetik Algoritma hakkında temel bilgiler verildi, Genetik algoritmanın çalışma prensibi açıklandı.

Tezin beşinci bölümünde, Yapay Arı Kolonisi optimizasyon metodu hakkında temel bilgiler verildi ve yöntemin çalışma prensibi hakkında bilgi verildi.

Tezin altıncı bölümünde, ekonomik yük dağıtım ve çevresel ekonomik yük dağıtım problemlerinin uygulanacağı güç sistemlerinin özellikleri açıklandı. Ekonomik yük dağıtım ve çevresel ekonomik yük dağıtım problemleri kayıplı ve kayıpsız olarak Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması kullanılarak çözüldü ve sonuçlar verildi.

Tezin yedinci ve son bölümünde, analiz sonuçları literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılıp bu tezde yapılan çalışmaların verdiği katkılardan söz edildi.

## 2. GÜÇ AKIŞI ANALİZİ

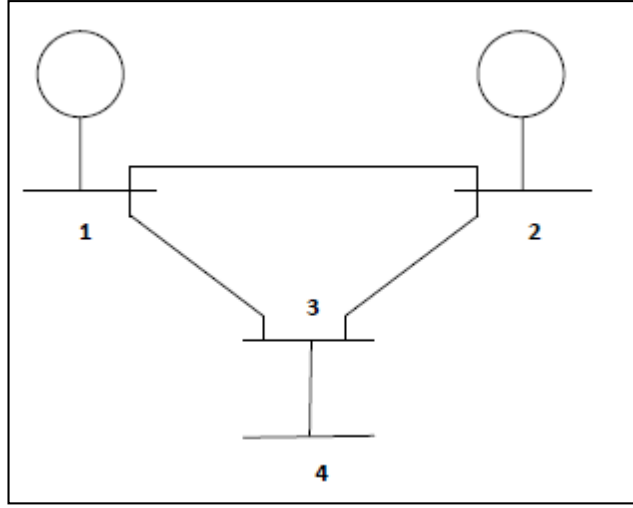
Ekonomik ve çevresel ekonomik yük dağıtımını probleminin çözümünde güç akışı analizi önemli bir yer tutmaktadır. Güç akışı çalışmaları, güç sistemindeki her bir baranın gerilim genliğinin ve faz açısının hesaplanmasıdır. Baralar ile ilgili bu bilgiler hesaplandıktan sonra sistemdeki iletim hatlarında meydana gelen aktif ve reaktif güç akışları ile kayıplar hesaplanabilir [26]. Bir güç akış problemi çözülürken, sistemin tek hat diyagramlarıyla, normal ve dengeli şartlar altında çalıştığı kabul edilir. Her bir barada ele alınması gereken değişkenler, gerilim genliği ( $|V|$ ), gerilim faz açısı ( $\delta$ ), aktif güç ( $P$ ) ve reaktif güçtür ( $Q$ ) [27].

Bir güç sistemindeki baralar, salınım barası, jeneratör barası ve yük barası olmak üzere üç gruba ayrılır. Salınım barası, referans bara olarak da adlandırılan, bara gerilim genliğinin ve faz açısının bilindiği, aktif ve reaktif gücün bulunduğu baradır. Güç sistemindeki kayıpların neden olduğu üretilen güç ile planlanan yük arasındaki fark bu bara üzerinden değerlendirilir. Jeneratör barası, jeneratör ile beslenen baralardır. Bu baralarda aktif güç ve bara gerilim genliği bilinir, reaktif güç ve faz açısı bulunur. Yük barası, jeneratöre bağlı olmayan diğer baralardır. Yük barasında aktif ve reaktif güç bilinir, bara gerilim genliği ve faz açısı bulunur [27].

Güç akışı için birden fazla, etkili ve güvenilir metotlar geliştirilmiştir. Güç akışı analizi için yaygın olarak kullanılan metotlar, Gauss-Seidel, Newton Raphson, Hızlı Ayrışık (Fast-Decoupled) klasik yöntemleridir.

### 2.1. Bara Admitans Matrisi

Basit bir güç sistemi gösterimi Şekil 2.1'de verilmektedir [28].



**Şekil 2.1.** Basit bir güç sistemi [28]

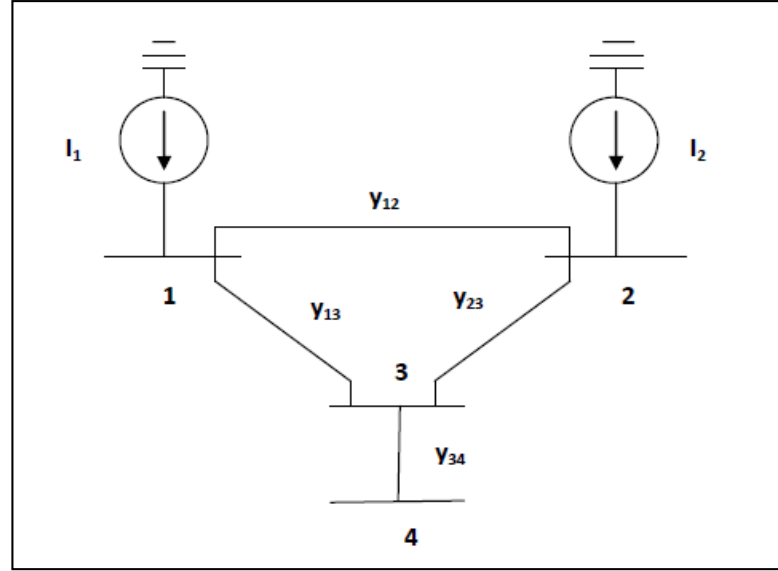
Düğüm çözümü Kirchoff akımlar kanununa dayandığından empedanslar admitansa Eşitlik 2.1’de verildiği gibi dönüştürülür [28].

$$y_{ij} = \frac{1}{z_{ij}} = \frac{1}{r_{ij} + jx_{ij}} \quad (2.1)$$

Şekil 2.1’deki güç sistemi admitans ve akım kaynakları ile birlikte gösterilecek olursa Şekil 2.2 elde edilir [28].

Şekil 2.2’deki sistemin 1’den 4’e kadar olan noktalarına Kirchoff akımlar kanunu uygulandığında Eşitlik 2.2’deki denklemler elde edilir [28].

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= y_{10}V_1 + y_{12}(V_1 - V_2) + y_{13}(V_1 - V_3) \\ I_2 &= y_{20}V_2 + y_{12}(V_2 - V_1) + y_{23}(V_2 - V_3) \\ 0 &= y_{23}(V_3 - V_2) + y_{13}(V_3 - V_1) + y_{34}(V_3 - V_4) \\ 0 &= y_{34}(V_4 - V_3) \end{aligned} \right\} \quad (2.2)$$



**Şekil 2.2.** Güç sisteminin admitans diyagramı [28]

Eşitlik 2.2'deki denklemler yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 2.3'deki denklemler elde edilir [28].

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= (y_{10} + y_{12} + y_{13})V_1 - y_{12}V_2 - y_{13}V_3 \\ I_2 &= -y_{12}V_1 + (y_{20} + y_{12} + y_{23})V_2 - y_{23}V_3 \\ 0 &= -y_{13}V_1 - y_{23}V_2 + (y_{13} + y_{23} + y_{34})V_3 - y_{34}V_4 \\ 0 &= -y_{34}V_3 + y_{34}V_4 \end{aligned} \right\} \quad (2.3)$$

Güç sisteminin admitans denklemleri Eşitlik 2.4'de verilmiştir [28].

$$\left. \begin{aligned} Y_{11} &= y_{10} + y_{12} + y_{13} \\ Y_{22} &= y_{20} + y_{12} + y_{23} \\ Y_{33} &= y_{13} + y_{23} + y_{34} \\ Y_{44} &= y_{34} \\ Y_{12} &= Y_{21} = -y_{12} \\ Y_{13} &= Y_{31} = -y_{13} \\ Y_{23} &= Y_{32} = -y_{23} \\ Y_{34} &= Y_{43} = -y_{34} \end{aligned} \right\} \quad (2.4)$$

Eşitlik 2.4 kullanılarak Eşitlik 2.3'deki denklemler Eşitlik 2.5'deki denklemlere dönüştürülür [28].

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= Y_{11}V_1 + Y_{12}V_2 + Y_{13}V_3 + Y_{14}V_4 \\ I_2 &= Y_{21}V_1 + Y_{22}V_2 + Y_{23}V_3 + Y_{24}V_4 \\ I_3 &= Y_{31}V_1 + Y_{32}V_2 + Y_{33}V_3 + Y_{34}V_4 \\ I_4 &= Y_{41}V_1 + Y_{42}V_2 + Y_{43}V_3 + Y_{44}V_4 \end{aligned} \right\} \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5, n baralı bir sisteme genişletilecek olursa, Eşitlik 2.6'daki matris formundaki eşitlik elde edilir [28].

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_i \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1i} & \dots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \dots & Y_{2i} & \dots & Y_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Y_{i1} & Y_{i2} & \dots & Y_{ii} & \dots & Y_{in} \\ \vdots & \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \dots & Y_{ni} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_i \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.6, sadeleştirilmiş şekilde Eşitlik 2.7'deki gibi ifade edilir [28].

$$I_{bus} = Y_{bus} V_{bus} \quad (2.7)$$

Eşitlik 2.7'de  $I_{bus}$ , bara içine giren akımların vektörünü göstermektedir. Eğer akım baraya giriyor ise pozitif, baradan çıkıyor ise negatiftir.  $V_{bus}$ , bara gerilimlerinin vektörüdür.  $Y_{bus}$  ise bara admitans matrisidir. Bara admitans matrisinin köşegen olan elemanları, bu baraya bağlanan baraların admitanslarının toplamına eşittir ve Eşitlik 2.8'deki gibi ifade edilir. Bara admitans matrisinin köşegen olmayan elemanları ise baranın, bu baraya bağlı bara arasındaki admitansın negatif değeridir ve Eşitlik 2.9'daki gibi ifade edilir [28].

$$Y_{ii} = \sum_{j=0}^n y_{ij} \quad j \neq i \quad (2.8)$$

$$Y_{ij} = Y_{ji} = -y_{ij} \quad (2.9)$$

Bara akımları bilindiği zaman Eşitlik 2.7, n baralı gerilimler için çözülebilir. Bu durumda Eşitlik 2.10 elde edilir [28].

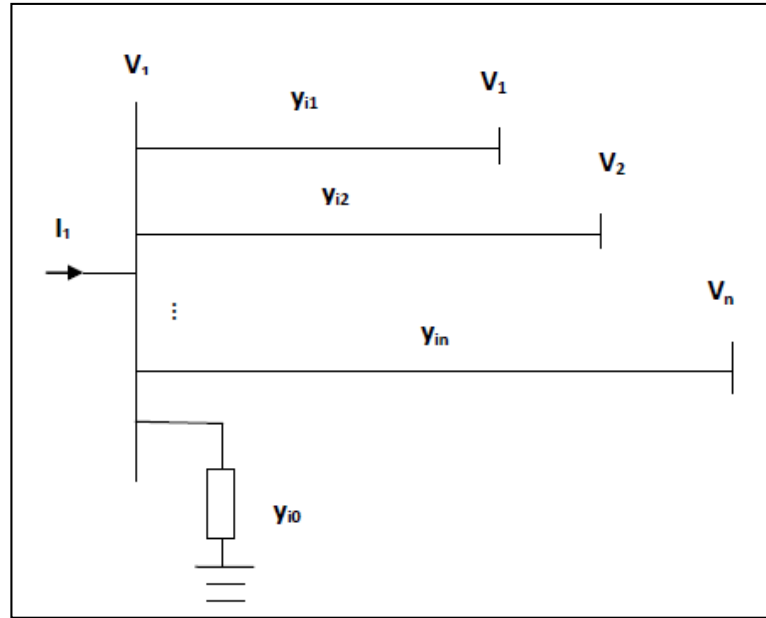
$$V_{bus} = Y_{bus}^{-1} I_{bus} \quad (2.10)$$

Bara admitans matrisinin tersi bara empedans matrisidir ve  $Z_{bus}$  ile gösterilir [28]. Eşitlik 2.10, Eşitlik 2.11 olarak da yazılabilir.

$$V_{bus} = Z_{bus} I_{bus} \quad (2.11)$$

## 2.2. Güç Akışı Eşitliği

Bir güç sistemindeki bara Şekil 2.3' de gösterilmektedir. Bu baraya Kirchoff akımlar kanunu uygularsak Eşitlik 2.12 ve diğer bir gösterişle Eşitlik 2.13 elde edilir [28].



Şekil 2.3. Güç sistemindeki bara gösterimi [28]

$$I_i = y_{i0}V_i + y_{i1}(V_i - V_1) + y_{i2}(V_i - V_2) + \dots + y_{in}(V_i - V_n) = (y_{i0} + y_{i1} + y_{i2} + \dots + y_{in})V_i - y_{i1}V_1 - y_{i2}V_2 - \dots - y_{in}V_n \quad (2.12)$$

veya

$$I_i = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij}V_j \quad j \neq i \quad (2.13)$$

i. baradaki aktif ve reaktif güç değerleri Eşitlik 2.14’de gösterildiği gibidir. Eşitlik 2.15’de ise akım formülü gösterilmektedir [28].

$$P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.14)$$

$$I_i = \frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} \quad (2.15)$$

Eşitlik 2.15’deki akım formülünü Eşitlik 2.13’de yerine koyduğumuzda Eşitlik 2.16 elde edilir [28].

$$\frac{P_i - jQ_i}{V_i^*} = V_i \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j \quad j \neq i \quad (2.16)$$

Eşitlik 2.16’den da görüldüğü gibi güç akışı problemlerinin matematiksel formülasyonu, iteratif tekniklerle çözülmeyi gerektiren cebirsel lineer olmayan denklemlerden oluşmaktadır.

### 2.3. Gauss-Seidel ile Güç Akışı

Güç akışı analizinde, Eşitlik 2.16’da gösterilen lineer olmayan denklem kümesini, her bir düğümdeki iki bilinmeyen değişkeni bulmak için çözmek gerekmektedir. Gauss-Seidel metodunda,  $V_i$  değerini bulmak Eşitlik 2.16 çözülür ve iteratif dizi olarak Eşitlik 2.17 elde edilir [28].

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} + \sum y_{ij} V_j^{(k)}}{\sum y_{ij}} \quad j \neq i \quad (2.17)$$

Eşitlik 2.17’de,  $y_{ij}$  gerçekte admitansı,  $P_i^{sch}$  ve  $Q_i^{sch}$  ise sırasıyla net aktif ve reaktif güçleri birim (per unit) cinsinden ifade etmektedir. Kirchoff akımlar kanuna göre, i. baraya giren akım pozitif olarak kabul edilir. Dolayısıyla, jeneratör baraları gibi baraya gerçekte ve reaktif güçlerin girdiği baralarda  $P_i^{sch}$  ve  $Q_i^{sch}$ , pozitif değerlere



sahip olur. Gerçek ve reaktif güçlerin baradan çıktığı yük baralarında ise  $P_i^{sch}$  ve  $Q_i^{sch}$ , negatif değerlere sahip olur. Eşitlik 2.16,  $P_i$  ve  $Q_i$  değerlerini bulmak için çözüldüğünde, Eşitlik 2.18 ve Eşitlik 2.19 elde edilir [28].

$$P_i^{(k+1)} = \Re \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (2.18)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\Im \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} \sum_{j=0}^n y_{ij} - \sum_{j=1}^n y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (2.19)$$

Güç akışı eşitliği genel olarak bara admitans matrisinin elemanları cinsinden ifade edilir.  $Y_{bus}$  bara admitans matrisinin köşegen olmayan elemanları  $Y_{ij} = -y_{ij}$ , köşegen olan elemanları ise  $Y_{ij} = \sum y_{ij}$  olacağından, Eşitlik 2.17, Eşitlik 2.20 olarak ifade edilir [28].

$$V_i^{(k+1)} = \frac{\frac{P_i^{sch} - jQ_i^{sch}}{V_i^{*(k)}} + \sum_{j \neq i} Y_{ij} V_j^{(k)}}{Y_{ii}} \quad j \neq i \quad (2.20)$$

Aktif ve reaktif güçler ise sırasıyla Eşitlik 2.21 ve Eşitlik 2.22’de ifade edilmektedir [28].

$$P_i^{(k+1)} = \Re \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (2.21)$$

$$Q_i^{(k+1)} = -\Im \left\{ V_i^{*(k)} \left[ V_i^{(k)} Y_{ii} + \sum_{j=1, j \neq i}^n Y_{ij} V_j^{(k)} \right] \right\} \quad j \neq i \quad (2.22)$$

#### 2.4. Newton-Raphson ile Güç Akışı

Newton-Raphson metodu, hızlı yakınsamasından ve zor problemlerde sapmaya daha az eğilimli olduğundan, matematiksel olarak Gauss-Seidel metoduna göre daha üstündür [28]. Newton-Raphson metodu, büyük güç sistemlerinde daha pratik ve verimli sonuçlar vermektedir. Çözüme ulaşmak için gereken iterasyon sayısı, sistemin büyüklüğünden bağımsızdır. Fakat her bir iterasyonda daha fazla

fonksiyonel değerlendirme gerekmektedir. Güç sistemi probleminde jeneratör baraları için aktif güç ve bara gerilim genliği belirtildiğinden, güç akışı eşitliği polar formda formüle edilmiştir. Eşitlik 2.13'de verilen  $i$ . baraya giren akım formülü, bara admitans matrisi cinsinden Eşitlik 2.23'deki gibi yeniden yazılabilir [28].

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (2.23)$$

Eşitlik 2.23'de  $j$ ,  $i$ . barayı içermektedir. Bu eşitliği polar formda yazacak olursak Eşitlik 2.24 elde edilir [28].

$$I_i = \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.24)$$

$i$ . baradaki kompleks güç formülü Eşitlik 2.25'de gösterilmektedir [28].

$$P_i - jQ_i = V_i^* I_i \quad (2.25)$$

Eşitlik 2.24, Eşitlik 2.25'de yerine konulduğunda Eşitlik 2.26 elde edilir [28].

$$P_i - jQ_i = |V_i| \angle -\delta_i \sum_{j=1}^n |Y_{ij}| |V_j| \angle \theta_{ij} + \delta_j \quad (2.26)$$

Gerçek ve sanal kısımları ayırdığımızda sırasıyla Eşitlik 2.27 ve Eşitlik 2.28 elde edilir [28].

$$P_i = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.27)$$

$$Q_i = - \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.28)$$

Eşitlik 2.27 ve Eşitlik 2.28, gerilim genliği ve faz açısı olmak üzere bağımsız değişkenlerden oluşan, lineer olmayan cebirsel denklemler içermektedir. Bu eşitlikleri ilk tahmini değer etrafında Taylor serisi ile genişletirsek ve yüksek dereceli terimleri ihmal edersek, lineer denklemlerden oluşan set, Eşitlik 2.29'da gösterildiği gibi elde edilir [28].

$$\begin{bmatrix} \Delta P_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta P_n^{(k)} \\ \hline \Delta Q_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta Q_n^{(k)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & | & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial P_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \hline \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_2^{(k)}}{\partial |V_n|} \\ \vdots & \ddots & \vdots & | & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_2} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial \delta_n} & | & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_2|} & \dots & \frac{\partial Q_n^{(k)}}{\partial |V_n|} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta_2^{(k)} \\ \vdots \\ \Delta \delta_n^{(k)} \\ \hline \Delta |V_2^{(k)}| \\ \vdots \\ \Delta |V_n^{(k)}| \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

Eşitlik 2.29'da bara 1, salınım barası yani referans bara olarak kabul edilir. Jacobian matrisi, gerilim açısı küçük değişikliği  $\Delta \delta_i^{(k)}$  ve gerilim genliği küçük değişikliği  $\Delta |V_i^{(k)}|$  arasında, aktif güç küçük değişikliği  $\Delta P_i^{(k)}$  ve reaktif güç küçük değişikliği  $\Delta Q_i^{(k)}$  ile doğrusallaştırılmış ilişkiyi verir. Jacobian matrisinin elemanları,  $\Delta \delta_i^{(k)}$  ve  $\Delta |V_i^{(k)}|$  üzerinde değerlendirilen, Eşitlik 2.27 ve Eşitlik 2.28'in kısmi türevlerinden oluşmaktadır. Kısa formda Eşitlik 2.30'daki gibi yazılır [28].

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |v| \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Jeneratör baralarında gerilim genlikleri bilinmektedir. Bu yüzden, n baralı bir sistemde m tane jeneratör barası varsa,  $\Delta P$  ve  $\Delta Q$  içeren m tane eşitlik ve Jacobian matrisin karşılık gelen sütunları çıkarılır. Buna göre, n-1 tane gerçek güç sınırlamaları, n-1-m tane reaktif güç sınırlamaları olur. Jacobian matrisi  $(2n-2-m) \times (2n-2-m)$  boyutunda, J1  $(n-1) \times (n-1)$  boyutunda, J2  $(n-1) \times (n-1-m)$  boyutunda, J3  $(n-1-m) \times (n-1)$  boyutunda, J4 ise  $(n-1-m) \times (n-1-m)$  boyutunda olur [28].

J<sub>1</sub>'in köşegen ve köşegen olmayan elemanları Eşitlik 2.31 ve Eşitlik 2.32'de gösterilmektedir [28].

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.31)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.32)$$

J<sub>2</sub>'nin köşegen ve köşegen olmayan elemanları Eşitlik 2.33 ve Eşitlik 2.34'de gösterilmektedir [28].

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_i|} = 2|V_i| |Y_{ii}| \cos\Theta_{ii} + \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \cos(\Theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.33)$$

$$\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} = |V_i| |Y_{ij}| \cos(\Theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.34)$$

J<sub>3</sub>'ün köşegen ve köşegen olmayan elemanları Eşitlik 2.35 ve Eşitlik 2.36'da gösterilmektedir [28].

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j \neq i} |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\Theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.35)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| |V_j| |Y_{ij}| \cos(\Theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.36)$$

J<sub>4</sub>'ün köşegen ve köşegen olmayan elemanları Eşitlik 2.37 ve Eşitlik 2.38'de gösterilmektedir [28].

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -2|V_i| |Y_{ii}| \sin\Theta_{ii} - \sum_{j \neq i} |V_j| |Y_{ij}| \sin(\Theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad (2.37)$$

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| |Y_{ij}| \sin(\Theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) \quad j \neq i \quad (2.38)$$

$\Delta P_i^{(k)}$  ve  $\Delta Q_i^{(k)}$  terimleri, planlanan ve hesaplanan değerler arasındaki farklardır ve güç kalanları olarak bilinir [28]. Eşitlik 2.39 ve Eşitlik 2.40'da formülleri gösterilmektedir [28].

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{sch} - P_i^{(k)} \quad (2.39)$$

$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{sch} - Q_i^{(k)} \quad (2.40)$$

Bara gerilimleri için yeni değerler ise Eşitlik 2.41 ve Eşitlik 2.42'de gösterildiği gibi bulunur [28].

$$\delta_i^{(k+1)} = \delta_i^{(k)} + \Delta\delta_i^{(k)} \quad (2.41)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| + \Delta|V_i^{(k)}| \quad (2.42)$$

#### 2.4. Hızlı Ayrışık (Fast Decoupled) ile Güç Akışı

Güç sistemi iletim hatları, çok yüksek X/R oranına sahiptir. Böyle bir sistem için, aktif güç değişimleri ( $\Delta P$ ), gerilim genliğindeki değişimlere karşı daha az, faz açısındaki değişimlere ( $\Delta\delta$ ) karşı daha çok hassas olurlar. Aynı şekilde, reaktif güç, açıdağı değişimlere karşı daha az hassas, gerilim genliği değişimlerine ise büyük oranda bağlı olur. Bu yüzden Jacobian matrisindeki  $J_2$  ve  $J_3$  elemanları sıfır olarak alınır ve Eşitlik 2.30, Eşitlik 2.43 olarak elde edilir [28].

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & 0 \\ 0 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta\delta \\ \Delta|v| \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

$$\Delta P = J_1 \Delta\delta = \left[ \frac{\partial P}{\partial \delta} \right] \Delta\delta \quad (2.44)$$

$$\Delta Q = J_4 \Delta|V| = \left[ \frac{\partial Q}{\partial |V|} \right] \Delta|V| \quad (2.45)$$

Matris eşitliği, Eşitlik 2.44 ve Eşitlik 2.45'de görüldüğü gibi iki ayrışık eşitliğe ayrılmıştır. Bu da, Eşitlik 2.30'u çözmek için gereken zamandan daha az zamana gerek duyulduğunu gösterir. Aynı zamanda, her bir iterasyonda  $J_1$  ve  $J_4$  elemanlarını yeniden hesaplama gereğini ortadan kaldırarak önemli bir basitleştirme yapılabilmektedir. Bu işlem, Stott ve Alsac tarafından geliştirilen ayrışık güç akışı eşitliklerini ortaya çıkarmaktadır [28]. Eşitlik 2.31'de belirtilen  $J_1$ 'in köşegen olan elemanları Eşitlik 2.46'daki gibi yeniden yazılabilir [28].

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| |Y_{ij}| \sin(\theta_{ij} - \delta_i + \delta_j) - |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin\theta_{ii} \quad (2.46)$$

Eşitlik 2.46'nın ilk terimini Eşitlik 2.28'de verildiği üzere  $-Q_i$  ile değiştirdiğimizde Eşitlik 2.47 elde edilir [28].

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -Q_i - |V_i|^2 |Y_{ii}| \sin\theta_{ii} = -Q_i |V_i|^2 B_{ii} \quad (2.47)$$

Eşitlik 2.47'de  $B_{ii} = |Y_{ii}| \sin\theta_{ii}$ 'dir ve bara admitans matrisinin köşegen olan elemanlarının sanal kısmını ifade eder.  $B_{ii} \gg Q_i$  olduğundan  $Q_i$  ihmal edilebilir.  $|V_i|^2 \approx |V_i|$  olarak alındığında, Eşitlik 2.47 basitleştirilerek Eşitlik 2.48 elde edilir [28].

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -|V_i| B_{ii} \quad (2.48)$$

Normal işletme koşulları altında  $\delta_j - \delta_i$  değeri çok küçüktür. Bu yüzden Eşitlik 2.32'de  $\theta_{ii} - \delta_i + \delta_j \approx \theta_{ii}$  olarak ve  $|V_j| \approx 1$  olarak alınırsa  $J_1$ 'in köşegen olmayan elemanları Eşitlik 2.49'da gösterildiği gibi olur [28].

$$\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} = -|V_i| B_{ij} \quad (2.49)$$

Aynı işlemler yapılacak olursa, Eşitlik 2.37'de belirtilen  $J_4$ 'ün köşegen olan elemanları Eşitlik 2.50'de gösterildiği gibi olur [28].

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_i|} = -|V_i| B_{ii} \quad (2.50)$$

Eşitlik 2.38'de belirtilen  $J_4$ 'ün köşegen olmayan elemanları ise Eşitlik 2.51'de gösterildiği gibi olur [28].

$$\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} = -|V_i| B_{ij} \quad (2.51)$$

Bu işlemlerle beraber, Eşitlik 2.44 ve Eşitlik 2.45, Eşitlik 2.52 ve Eşitlik 2.53'deki gibi şekillenir [28].

$$\frac{\Delta P}{|V_i|} = -B' \Delta \delta \quad (2.52)$$

$$\frac{\Delta Q}{|V_i|} = -B'' |V| \quad (2.53)$$

$B'$  ve  $B''$ , bara admitans matrisinin sanal kısımlarıdır. Hızlı ayrışık güç akışı algoritmasında, gerilim genliği ve faz açısı değişimleri Eşitlik 2.54 ve Eşitlik 2.55'de gösterilmektedir [28].

$$\Delta \delta = -[B']^{-1} \frac{\Delta P}{|V|} \quad (2.54)$$

$$\Delta |V| = -[B'']^{-1} \frac{\Delta Q}{|V|} \quad (2.55)$$

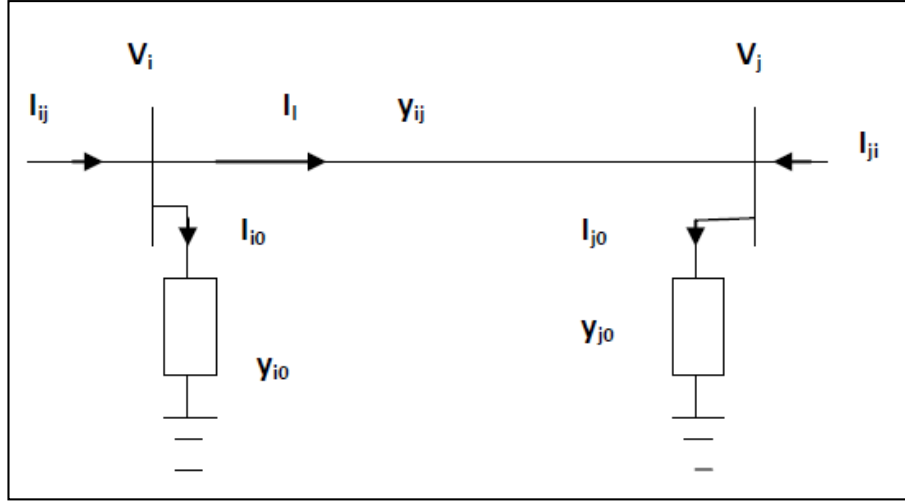
Hızlı ayrışık güç akışı çözümünde Newton-Raphson metoduna kıyasla iterasyon sayısı fazladır. Fakat her bir iterasyonda daha az zaman gerektirir ve güç akış çözümü daha hızlıdır [28].

## 2.5. Hat Akışları ve Kayıplar

Bara gerilimlerinin iteratif çözümünden sonra diğer bir adım hat akışlarının ve kayıpların hesaplanmasıdır [28]. Şekil 2.4'de bara i ve bara j'ye bağlanan bir iletim hattı modeli gösterilmektedir [28].

Bara i 'de ölçülen hat akımı  $I_{ij}$  Eşitlik 2.56'da gösterildiği gibi hesaplanır [28].

$$I_{ij} = I_l + I_{i0} = y_{ij}(V_i - V_j) + y_{i0}V_i \quad (2.56)$$



**Şekil 2.4.** İletim hattı modeli [28]

Bara j'de ölçülen hat akımı  $I_{ji}$  ise Eşitlik 2.57'de gösterildiği gibi hesaplanır [28].

$$I_{ji} = -I_l + I_{j0} = y_{ij}(V_j - V_i) + y_{j0}V_j \quad (2.57)$$

Bara i'den bara j'ye olan kompleks güç  $S_{ij}$  Eşitlik 2.58'de, bara j'den bara i'ye olan kompleks güç  $S_{ji}$  ise Eşitlik 2.59'da gösterilmektedir [28].

$$S_{ij} = V_i I_{ij}^* \quad (2.58)$$

$$S_{ji} = V_j I_{ji}^* \quad (2.59)$$

i ve j baraları arasındaki hat kaybı ( $S_{L,ij}$ ) Eşitlik 2.58 ve Eşitlik 2.59'da bulunan güç akışlarının cebirsel toplamıdır ve Eşitlik 2.60 ile gösterilir [28].

$$S_{L,ij} = S_{ij} + S_{ji} \quad (2.60)$$

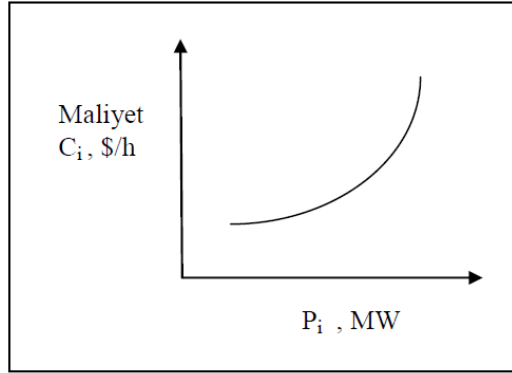


### 3. PROBLEMLERİN FORMÜLASYONU

Güç sistemlerinde genel olarak 2 temel problem bulunmaktadır. Bunlardan ilki ekonomik yük dağıtımı ve ikincisi de çevresel ekonomik yük dağıtımıdır. Bu problemler sırayla aşağıda anlatılacaktır.

#### 3.1. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Formülasyonu

Ekonomik yük dağıtım konusu, enerji sistemlerinin en önemli araştırma konularından biri haline gelmiştir. Ekonomik dağıtımın amacı üretilen enerjiyi, eşitlik ve eşitsizlik kısıtlamalarını sağlayacak şekilde, üretim birimleri arasında paylaşmaktır [29]. Bir üretim birimine ait, yakıt maliyet eğrisi olarak tanımlanan güç üretimi ile maliyet eğrisi arasındaki ilişki Şekil 3.1'de gösterildiği gibidir [28].



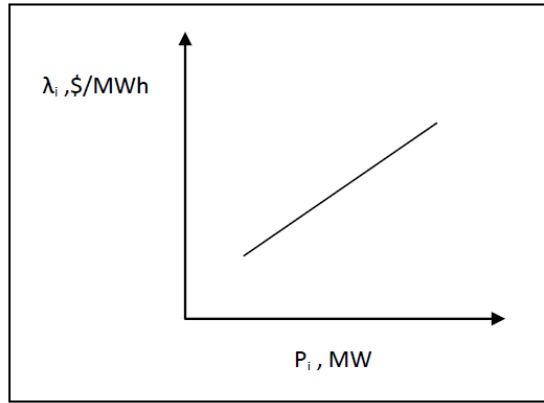
**Şekil 3.1.** Yakıt maliyet eğrisi [28]

Şekil 3.1'e göre elde edilecek olan, bir jeneratörün üreteceği güce göre maliyet fonksiyonu, ikinci dereceden bir fonksiyondur ve Eşitlik 3.1'de gösterilmiştir [28].

$$C_i = a_i + b_i P_i + c_i P_i^2 \quad (2.1)$$

Eşitlik 3.1'de  $C_i$ , i. jeneratörün üretim maliyetini, a,b ve c jeneratörün maliyet katsayılarını,  $P_i$  ise i. jeneratörün ürettiği aktif gücü ifade etmektedir. Dikkat edilirse,  $P_i=0$  için  $C_i=a_i$  olmaktadır. Bu duruma göre  $a_i$  santralin tesis masraflarıyla ve  $b_i$  ile  $c_i$  ise işletme esnasındaki masrafları ile orantılıdır.

Yakıt maliyet eğrisinin aktif güçlere karşı türevinin alınmasıyla, artan yakıt maliyet eğrisi elde edilir ve Şekil 3.2'deki gibi gösterilir ve Eşitlik 3.2'deki gibi ifade edilir [28].



**Şekil 3.2.** Artan yakıt maliyet eğrisi [28]

$$\frac{dC_i}{dP_i} = 2c_i P_i + b_i \quad (2.2)$$

Artan yakıt maliyet eğrisi, bir sonraki artan güç üretiminin ne kadar maliyete sahip olacağını ölçer. Toplam üretim maliyeti, yakıt maliyetinin yanında, iş gücü, kaynaklar ve bakım maliyetlerini de içerir. Bu maliyetler, yakıt maliyetinin sabit bir yüzdesi olarak kabul edilir ve artan yakıt maliyet eğrisinin içerisinde yer alırlar. Toplam üretim maliyeti, her bir jeneratörün ürettiği güce göre hesaplanan maliyetlerinin toplamına eşittir ve Eşitlik 3.3'de gösterilmiştir [28].

$$C_t = \sum_{i=1}^{n_g} C_i \quad (3.3)$$

Eşitlik 3.3'de ise  $C_t$  toplam maliyeti,  $n_g$  ise güç sistemindeki toplam jeneratör sayısını ifade etmektedir. Kayıplar ve jeneratör güç sınırlarının ihmal edilip edilmemesine göre ekonomik dağıtım, formüllerle aşağıda açıklanmıştır.

### 3.1.1. Kayıplar ve Jeneratör Sınırları İhmal Edildiğinde Ekonomik Dağıtım

En basit ekonomik yük dağıtım problemi, hatlardaki kayıpların ihmal edildiği durumda çözülür. Her bir jeneratörün üreteceği aktif güç bulunur. Hatlardaki kayıplar ihmal edildiğinden, üretilen toplam güç talep edilen toplam güce eşit olmaktadır. Bu durum Eşitlik 3.4' de gösterilmektedir [28].

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4'de  $P_i$ , i. jeneratörün üreteceği aktif gücü,  $P_D$  ise, talep edilen toplam gücü göstermektedir.

Amaç fonksiyonu içine sınırlama fonksiyonunun katılması, Lagrange çarpanı ile yapılır. Eşitlik 3.5'de Lagrange fonksiyonu belirtilmiştir [28].

$$L = C_t + \lambda(P_D - \sum_{i=1}^{n_g} P_i) \quad (3.5)$$

Bu fonksiyonun minimum değeri, her bir bağımsız değişkene göre Lagrange fonksiyonunun kısmi türevleri alınarak sıfıra eşitlendiği noktada bulunur. Bu ifadeler Eşitlik 3.6'da ve Eşitlik 3.7'de gösterilmiştir [28].

$$\frac{\partial L}{\partial P_i} = 0 \quad (3.6)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0 \quad (3.7)$$

İlk olarak Eşitlik 3.6 çözülürse;

$$\frac{\partial C_t}{\partial P_i} + \lambda (0 - 1) = 0 \quad (3.8)$$

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_{n_g} \quad (3.9)$$

$$\frac{\partial C_t}{\partial P_i} = \frac{dC_i}{dP_i} = \lambda \quad (3.10)$$

$$\frac{dC_i}{dP_i} = \lambda \quad i = 1, \dots, n_g \quad (3.11)$$

$$b_i + 2c_i P_i = \lambda \quad (3.12)$$

elde edilir.

İkinci olarak Eşitlik 3.7’de belirtilen Lagrange fonksiyonunun Lagrange çarpanına göre kısmi türevleri alındığında Eşitlik 3.13’de belirtilen denklem elde edilir [28].

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D \quad (3.13)$$

Özet olarak, hat kayıpları ve jeneratör limitleri ihmal edildiğinde, en ekonomik işletim için tüm jeneratörler Eşitlik 3.13’ü sağlayacak şekilde eşit artan üretim maliyeti ile çalışmalıdırlar.

Eşitlik 3.12,  $P_i$  için çekildiğinde Eşitlik 3.14’de belirtilen ve koordinasyon denklemi olarak bilinen denklem elde edilir [28].

$$P_i = \frac{\lambda - b_i}{2c_i} \quad (3.14)$$

Artan üretim maliyeti, yani  $\lambda$  değerinin denklemi ise, Eşitlik 3.15’deki ve Eşitlik 3.16’daki gibi bulunur [28].

$$\sum_{i=1}^{n_g} \frac{\lambda - b_i}{2c_i} = P_D \quad (3.15)$$

$$\lambda = \frac{P_D + \sum_{i=1}^{n_g} \frac{b_i}{2c_i}}{\sum_{i=1}^{n_g} \frac{1}{2c_i}} \quad (3.16)$$

Bulunan  $\lambda$  değeri Eşitlik 3.14'te kullanılarak jeneratörlerin optimum maliyet için üreteceği güçler hesaplanır.

Analitik olarak elde ettiğimiz çözümü, iteratif yöntemle çözmek istediğimizde ise başlangıçta  $\lambda$ 'nın iki değeri belirlenir.  $\lambda$ 'nın en iyi değeri ekstrapolasyon ile bulunur ve  $\Delta P_i$ , belirtilen doğruluğu sağlayana kadar iterasyona devam edilir. Eşitlik 3.15, Eşitlik 3.17'deki gibi yazılır [28].

$$f(\lambda) = P_D \quad (3.17)$$

Eşitlik 3.17'de eşitliğin sol tarafını  $\lambda^{(k)}$  etrafında Taylor serisi ile genişletip, yüksek dereceli terimleri ihmal ettiğimizde Eşitlik 3.18'i elde ederiz [28].

$$f(\lambda)^{(k)} \left( \frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right)^{(k)} \Delta\lambda^{(k)} = P_D \quad (3.18)$$

Eşitlik 3.19'daki ve Eşitlik 3.20'deki gibi de gösterilir [28].

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\left( \frac{df(\lambda)}{d\lambda} \right)^{(k)}} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\Sigma \left( \frac{dP_i}{d\lambda} \right)^{(k)}} \quad (3.19)$$

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\Sigma \frac{1}{2c_i}} \quad (3.20)$$

Bir sonraki iterasyonda elde edilen  $\lambda$ 'nın değeri Eşitlik 3.21'de gösterildiği gibidir [28].

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)} \quad (3.21)$$

Eşitlik 3.22’de belirtilen  $\Delta P^{(k)}$ , belirtilen doğruluktan az olduğu sürece işleme devam edilir [28].

$$\Delta P^{(k)} = P_D - \sum_{i=1}^{n_g} P_i^{(k)} \quad (3.22)$$

### 3.1.2. Kayıplar İhmal ve Jeneratör Sınırları Dahil Edildiğinde Ekonomik Dağıtım

Jeneratörlerin güç çıkışı belirli bir sınırın üstünde veya altında olmamalıdır. Bu yüzden jeneratörlerin üretimi, minimum ve maksimum güçler ile sınırlandırılmıştır. Problemden amacımız, her bir jeneratörün ürettiği gücün Eşitlik 3.3’de belirtilen maliyet fonksiyonunu minimum yapacak değerde olmasını sağlayan değeri bulmaktır. Bu amaçla, Eşitlik 3.4’de verilen eşitlik denklemi ve Eşitlik 3.23’de verilen eşitsizlik denklemi sağlanmalıdır [28].

$$P_{i(\min)} \leq P_i \leq P_{i(\max)} \quad i = 1, \dots, n_g \quad (3.23)$$

Eşitlik 3.23’de  $P_{i(\min)}$  ve  $P_{i(\max)}$  sırasıyla  $i$ . jeneratörün üretebileceği minimum ve maksimum güç sınır değerleridir.

Eşitsizlik kısıtlamaları hesaba katıldığında Lagrange şartları, Eşitlik 3.24’de verilen Kuhn-Tucker şartları ile tanımlanır [28].

$$\begin{aligned} \frac{dC_i}{dP_i} &= \lambda & P_{i(\min)} < P_i < P_{i(\max)} \\ \frac{dC_i}{dP_i} &\leq \lambda & P_i = P_{i(\max)} \\ \frac{dC_i}{dP_i} &\geq \lambda & P_i = P_{i(\min)} \end{aligned} \quad (3.24)$$

Belirlenen  $\lambda$  değeri için  $P_i$  değerleri Eşitlik 3.14 kullanılarak bulunur ve Eşitlik 3.13 sağlanana kadar iterasyona devam edilir. Herhangi bir jeneratörün güç çıkışı minimum veya maksimum değere ulaştığında bu limit değerde sabitlenir. Sonuç

olarak, jeneratör çıkışı sabit olur ve sadece limit değerler arasında güç çıkışı olan jeneratörler eşit artan maliyet değerinde çalışır [28].

### 3.1.3. Kayıplar ve Jeneratör Sınırları Dahil Edildiğinde Ekonomik Dağıtım

İletim uzaklığı küçük ve yük yoğunluğu yüksek olduğu zaman iletim hattı kayıpları önemsenebilir ve üretimin optimum dağıtımını bütün jeneratörlerin eşit artan üretim maliyetiyle başarılabilir. Fakat çok büyük enterkonekte sistemlerde güç, uzun mesafelerde ve düşük yük yoğunluğu alanlarına taşındığından hat kayıpları temel bir faktör olarak karşımıza çıkmaktadır ve optimum dağıtımını etkilemektedir. Toplam iletim hattı kayıpları jeneratör güç çıkışlarıyla ikinci dereceden bir denklem olarak Eşitlik 3.25’de gösterilmektedir [28].

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} P_i B_{ij} P_j \quad (3.25)$$

Daha genel bir formül olan, doğrusal ve sabit bir terim içeren Kron’un kayıp formülü ise Eşitlik 3.26’da gösterilmektedir [28].

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} \sum_{j=1}^{n_g} P_i B_{ij} P_j + \sum_{i=1}^{n_g} B_{0i} P_i + B_{00} \quad (3.26)$$

$B_{ij}$  katsayıları kayıp katsayıları veya B katsayıları diye adlandırılır. B katsayıları sabit olarak kabul edilir [28].

Hat kayıplarını dahil ettiğimizde ise üretilen toplam güç, talep edilen yük ve kayıpların toplamına eşit olmalıdır. Eşitlik 3.27’de bu sınırlama fonksiyonu gösterilmiştir [28].

$$\sum_{i=1}^{n_g} P_i = P_D + P_L \quad (3.27)$$

Eşitlik 3.23’deki sınırlama fonksiyonu da hesaba katıldığında Lagrange çarpanının denklemini Eşitlik 3.28’de gösterildiği gibi elde edilir [28].

$$L = C_t + \lambda(P_D + P_L - \sum_{i=1}^{n_g} P_i) + \sum_{i=1}^{n_g} \mu_{i(maks)}(P_i - P_{i(maks)}) + \sum_{i=1}^{n_g} \mu_{i(min)}(P_i - P_{i(min)}) \quad (3.28)$$

$P_i < P_{i(maks)}$  olduğunda  $\mu_{i(maks)}=0$ ,  $P_i > P_{i(min)}$  olduğunda ise  $\mu_{i(min)}=0$  olarak alınır. Bu demek oluyor ki, jeneratörün üreteceği güç maksimum veya minimum sınır değerlerine uyuyor ise,  $\mu$  değeri sıfır alınır ve buna karşılık gelen terim denklemde olmaz. Bu fonksiyonun minimum noktaları fonksiyonun kısmi türevleri alınıp sıfıra eşitlenerek bulunur. Eşitlik 3.6'ya ve Eşitlik 3.7'ye ek olarak Eşitlik 3.29 ve Eşitlik 3.30 elde edilir [28].

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_{i(maks)}} = (P_i - P_{i(maks)}) = 0 \quad (3.29)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \mu_{i(min)}} = (P_i - P_{i(min)}) = 0 \quad (3.30)$$

Eşitlik 3.28'de bulunan Lagrange çarpanı Eşitlik 3.6'ya uygulandığında Eşitlik 3.34 elde edilir [28].

$$\frac{\partial C_t}{\partial P_i} + \lambda \left( 0 + \frac{\partial P_L}{\partial P_i} - 1 \right) = 0 \quad (3.31)$$

$$C_t = C_1 + C_2 + \dots + C_{n_g} \quad (3.32)$$

$$\frac{\partial C_t}{\partial P_i} = \frac{dC_i}{dP_i} \quad (3.33)$$

$$\frac{dC_i}{dP_i} + \lambda \frac{\partial P_L}{\partial P_i} = \lambda \quad i = 1, \dots, n_g \quad (3.34)$$

$\frac{\partial P_L}{\partial P_i}$  terimi artan iletim kaybı olarak bilinir. Eşitlik 3.34 yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 3.35 ve Eşitlik 3.36 elde edilir [28].

$$\left( \frac{1}{1 - \frac{\partial P_L}{\partial P_i}} \right) \frac{dC_i}{dP_i} = \lambda \quad i = 1, \dots, n_g \quad (3.35)$$



$$L_i \frac{dC_i}{dP_i} = \lambda \quad i = 1, \dots, n_g \quad (3.36)$$

Eşitlik 3.36'da  $L_i$ ,  $i$ . jeneratörün ceza faktörü olarak bilinir ve Eşitlik 3.37'deki gibi gösterilir [28].

$$L_i = \frac{1}{1 - \frac{\partial PL}{\partial P_i}} \quad (3.37)$$

Eşitlik 3.36'da görüldüğü üzere her bir jeneratörün artan maliyetinin ceza faktörü ile çarpımı hepsi için aynı olduğunda minimum maliyet elde edilir.

Eşitlik 3.2'de belirtilen artan üretim maliyet fonksiyonu, Eşitlik 3.26 ile birlikte kullanıldığında Eşitlik 3.38 elde edilir [28].

$$\frac{\partial PL}{\partial P_i} = 2 \sum_{j=1}^{n_g} B_{ij} P_j + B_{0i} \quad (3.38)$$

Eşitlik 3.2'yi ve Eşitlik 3.38'i, Eşitlik 3.34'de yerine koyduğumuzda Eşitlik 3.39 veya Eşitlik 3.40 elde edilir [28].

$$b_i + 2c_i P_i + 2\lambda \sum_{j=1}^{n_g} B_{ij} P_j + B_{0i} \lambda = \lambda \quad (3.39)$$

veya

$$\left(\frac{c_i}{\lambda} + B_{ii}\right) P_i + \sum_{j=1, j \neq i}^{n_g} B_{ij} P_j = \frac{1}{2} \left(1 - B_{0i} - \frac{b_i}{\lambda}\right) \quad (3.40)$$

Eşitlik 3.40'ı bütün jeneratörlere genişlettiğimizde matris formundaki doğrusal denklemler Eşitlik 3.41'deki gibi elde edilir [28].

$$\begin{bmatrix} \frac{c_1}{\lambda} + B_{11} & B_{12} & \dots & B_{1n_g} \\ B_{21} & \frac{c_2}{\lambda} + B_{22} & \dots & B_{2n_g} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{n_g 1} & B_{n_g 2} & \dots & \frac{c_{n_g}}{\lambda} + B_{n_g n_g} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ P_4 \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 1 - B_{01} - \frac{b_1}{\lambda} \\ 1 - B_{02} - \frac{b_2}{\lambda} \\ \vdots \\ 1 - B_{0n_g} - \frac{b_{n_g}}{\lambda} \end{bmatrix} \quad (3.41)$$

Kısa formda ise Eşitlik 3.42'deki gibi gösterilir [28].

$$EP = D \quad (3.42)$$

$\lambda^{(1)}$ 'in belirlenmiş değeri için optimum dağıtımı bulmak için Eşitlik 3.42'deki eş zamanlı doğrusal denklem çözülür. Daha sonra iterasyon işlemine devam edilir. Bunu yapmak için Eşitlik 3.40'daki  $P_i$ , k. iterasyonda Eşitlik 3.43'deki gibi ifade edilir [28].

$$P_i^{(k)} = \frac{\lambda^{(k)}(1-B_{0i})-b_i-2\lambda^{(k)}\sum_{j \neq i} B_{ij}P_j^{(k)}}{2(c_i+\lambda^{(k)}B_{ii})} \quad (3.43)$$

Eşitlik 3.43'deki  $P_i$ 'yi Eşitlik 3.27'de yerine koyduğumuzda Eşitlik 3.44 elde edilir [28].

$$\sum_{i=1}^{n_g} \frac{\lambda^{(k)}(1-B_{0i})-b_i-2\lambda^{(k)}\sum_{j \neq i} B_{ij}P_j^{(k)}}{2(c_i+\lambda^{(k)}B_{ii})} = P_D + P_L^{(k)} \quad (3.44)$$

Eşitlik 3.44, Eşitlik 3.45'deki gibi de ifade edilir [28].

$$f(\lambda)^{(k)} = P_D + P_L^{(k)} \quad (3.45)$$

Eşitlik 3.45'in sol kısmını Taylor dizisinde  $\lambda^{(k)}$  işletim noktası etrafında genişletirsek ve yüksek dereceli terimleri ihmal edersek Eşitlik 3.46 elde edilir [28].

$$f(\lambda)^{(k)} + \left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda}\right)^{(k)} \Delta\lambda^{(k)} = P_D + P_L^{(k)} \quad (3.46)$$

$$\Delta\lambda^{(k)} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\left(\frac{df(\lambda)}{d\lambda}\right)^{(k)}} = \frac{\Delta P^{(k)}}{\sum \left(\frac{dP_i}{d\lambda}\right)^{(k)}} \quad (3.47)$$

$$\sum_{i=1}^{n_g} \left(\frac{\partial P_i}{\partial \lambda}\right)^{(k)} = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{c_i(1-B_{0i})+B_{ii}b_i-2c_i\sum_{j \neq i} B_{ij}P_j^{(k)}}{2(c_i+\lambda^{(k)}B_{ii})^2} \quad (3.48)$$

$$\lambda^{(k+1)} = \lambda^{(k)} + \Delta\lambda^{(k)} \quad (3.49)$$

$$\Delta P^{(k)} = P_D + P_L^{(k)} - \sum_{i=1}^{n_g} P_i^{(k)} \quad (3.50)$$

$\Delta P^{(k)}$  belirtilen değerden küçük olana kadar iterasyona devam edilir. Kayıp formülü ise Eşitlik 3.51'deki gibi ifade edilir [28].

$$P_L = \sum_{i=1}^{n_g} B_{ii} P_i^2 \quad (3.51)$$

$B_{ij} = 0$ ,  $B_{00} = 0$  olarak alındığında, Eşitlik 3.43'ün basitleştirilmiş hali Eşitlik 3.52'deki gibi olur [28].

$$P_i^{(k)} = \frac{\lambda^{(k)} - b_i}{2(c_i + \lambda^{(k)} B_{ii})} \quad (3.52)$$

Eşitlik 3.48'in basitleştirilmiş hali Eşitlik 3.53'deki gibi olur [28].

$$\sum_{i=1}^{n_g} \left( \frac{\partial P_i}{\partial \lambda} \right)^{(k)} = \sum_{i=1}^{n_g} \frac{c_i + B_{ii} b_i}{2(c_i + \lambda^{(k)} B_{ii})^2} \quad (3.53)$$

### 3.1.4. Gradient Metoduyla Ekonomik Dağıtım

Gradient metodu, kısıtlı veya kısıtsız fonksiyonlarda türevleri kullanarak optimum doğrultuda ve adım büyüklüğünde ilerleyerek minimum veya maksimum değere en hızlı biçimde ulaşmayı amaçlar.

Gradient metodunu Eşitlik 3.5'deki Lagrange fonksiyonuna uyguladığımızda Eşitlik 3.54'de gösterilen gradient fonksiyonu elde edilir [26].

$$\nabla L = \begin{bmatrix} \frac{\partial L}{\partial P_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial L}{\partial P_{n_g}} \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{d}{dP_1} C_1(P_1) - \lambda \\ \vdots \\ \frac{d}{dP_2} C_{n_g}(P_{n_g}) - \lambda \\ P_D - \sum_{i=1}^{n_g} P_i \end{bmatrix} \quad (3.54)$$

Artan yakıt maliyeti  $\lambda$  'ya ve üretim birimlerinin üreteceği aktif güç değerlerine, başlangıç değeri verilerek  $\nabla L$  hesaplanır. Yeni artan yakıt maliyeti  $\lambda$  ve üretim birimlerinin güç değerleri, Eşitlik 3.55'de gösterildiği gibi bulunur [26].

$$x^1 = x^0 - (\nabla L)\alpha \quad (3.55)$$

Eşitlik 2.55'de  $\alpha$  skalar bir değerdir,  $x$  ise Eşitlik 3.56'da gösterilen vektördür [26].

$$x = \begin{bmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_{n_g} \\ \lambda \end{bmatrix} \quad (3.56)$$

### 3.2. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Formülasyonu

Çevresel yük dağıtım problemi, ekonomik yük dağıtım problemine emisyon parametrelerini ekleyerek formüle edilebilir. Ekonomik yük dağıtım formülü Eşitlik 3.57'de gösterilmiştir.

$$F(P_g) = \sum_{i=1}^n (a_i P_{gi}^2 + b_i P_{gi} + c_i) \quad (3.57)$$

Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi, Eşitlik 3.57'deki  $F(P_g)$ , sistemdeki güç üretiminin toplam yakıt maliyetidir (\$/h),  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $c_i$  i. jeneratörün yakıt maliyet katsayılarıdır,  $P_{gi}$  i. jeneratörün ürettiği güç miktarıdır,  $n$  toplam jeneratör sayısıdır.

Ekonomik yük dağıtım probleminde talep edilen yükü minimum maliyet ile karşılayan farklı birimlerin üreteceği aktif güç miktarı belirlenir. Salt bir ekonomik yük dağıtım probleminde emisyon veya emisyon maliyeti düşünülmez. Fosil

kaynaklı termal jeneratör birimlerinin neden olacağı emisyon miktarı, bu birim tarafından üretilen güç miktarına bağlıdır. Emisyon, jeneratörün aktif güç çıkışına bağlı olarak ikinci dereceden bir denklem ile ifade edilebilir. Emisyon miktarının formülü Eşitlik 3.58'de verilmiştir [30].

$$E(P_g) = \sum_{i=1}^n (d_i P_{gi}^2 + e_i P_{gi} + f_i) \quad (3.58)$$

Eşitlik 3.58'de  $E(P_g)$  toplam emisyon miktarıdır (lb/h veya kg/h),  $d_i$ ,  $e_i$ ,  $f_i$  i. jeneratörün emisyon katsayılarıdır.

Yakıt maliyeti ve emisyon miktarı kullanılarak tek optimizasyon problemine dönüştürülür ve çevresel ekonomik yük dağıtım formüle edilir. Eşitlik 3.59'da bu formül gösterilmiştir [30].

$$T = w_1 * F(P_g) + w_2 * h * E(P_g) \quad (3.59)$$

Eşitlik 3.59'da T sistemin toplam işletim maliyetidir,  $w_1$  ve  $w_2$  ağırlık faktörleridir, h fiyat ceza faktörüdür.

$w_1=1$  ve  $w_2=0$  olduğunda problemimiz salt ekonomik yük dağıtım problemi olmaktadır [30].

$w_1=0$  ve  $w_2=1$  olduğunda problemimiz salt çevresel yük dağıtım problemi olmaktadır [30].

$w_1=1$  ve  $w_2=1$  olduğunda problemimiz çevresel ekonomik yük dağıtım problemi olmaktadır [30].

Fiyat ceza faktörü h ise pratik bir yöntem ile bulunabilmektedir. Talep edilen belirli bir yük için h değerini bulabilmek için, [31] numaralı çalışmada ele alınan aşağıdaki adımlar yapılır.

i. Her bir jeneratörün maksimum güç değerindeki ortalama maliyeti Eşitlik 3.60'da gösterildiği gibi bulunur [31].

$$\frac{F_i(P_{i,maks})}{(P_{i,maks})} = \frac{a_i P_{i,maks}^2 + b_i P_{i,maks} + c_i}{(P_{i,maks})} \dots Rs/MWh \quad (3.60)$$

"Rs", Sırbistan'ın kullandığı para birimi olan Sırp dinarıdır.

ii. Her bir jeneratörün maksimum güç değerindeki ortalama emisyonu Eşitlik 3.61’de gösterildiği gibi bulunur [31].

$$\frac{E_i(P_{i,maks})}{(P_{i,maks})} = \frac{d_i P_{i,maks}^2 + e P_{i,maks} + f_i}{(P_{i,maks})} \dots kg/MWh \quad (3.61)$$

iii. Her bir jeneratörün ortalama maliyeti ortalama emisyon değerine bölünerek her bir jeneratöre ait  $h_i$  değerleri Eşitlik 3.62’de gösterildiği gibi bulunur [31].

$$\frac{F_i(P_{i,maks})/(P_{i,maks})}{E_i(P_{i,maks})/(P_{i,maks})} = \frac{(a_i P_{i,maks}^2 + b_i P_{i,maks} + c_i)}{(d_i P_{i,maks}^2 + e P_{i,maks} + f_i)} \dots Rs/kg \quad (3.62)$$

Eşitlik 3.62 yeniden düzenlendiğinde Eşitlik 3.63 elde edilir [31].

$$\frac{F_i(P_{i,maks})/(P_{i,maks})}{E_i(P_{i,maks})/(P_{i,maks})} = h_i, \quad i = 1, \dots, n \dots Rs/kg \quad (3.63)$$

iv. Her bir jeneratöre ait  $h_i$  değeri artan sırada sıralanır [31].

v. En küçük  $h_i$  değerinden başlanarak Eşitlik 3.64’de gösterildiği gibi jeneratörlerin maksimum güç değerlerinin toplamı talep edilen yüke eşit veya talep edilen yükten büyük olana kadar toplama işlemine devam edilir [31].

$$\sum_{i=1}^n P_{i,maks} \geq P_D \quad (3.64)$$

vi. Toplama işlemine dahil edilen en son birimin  $h_i$  değeri, fiyat ceza faktörü değeri  $h$  olarak alınır (Rs/kg) [31].

Hesaplanan  $h$  değeri, Eşitlik 3.59’da kullanılarak ve  $w_1$  ve  $w_2$  değerleri 1 olarak alınarak, çevresel ekonomik yük dağıtım formülü elde edilir.

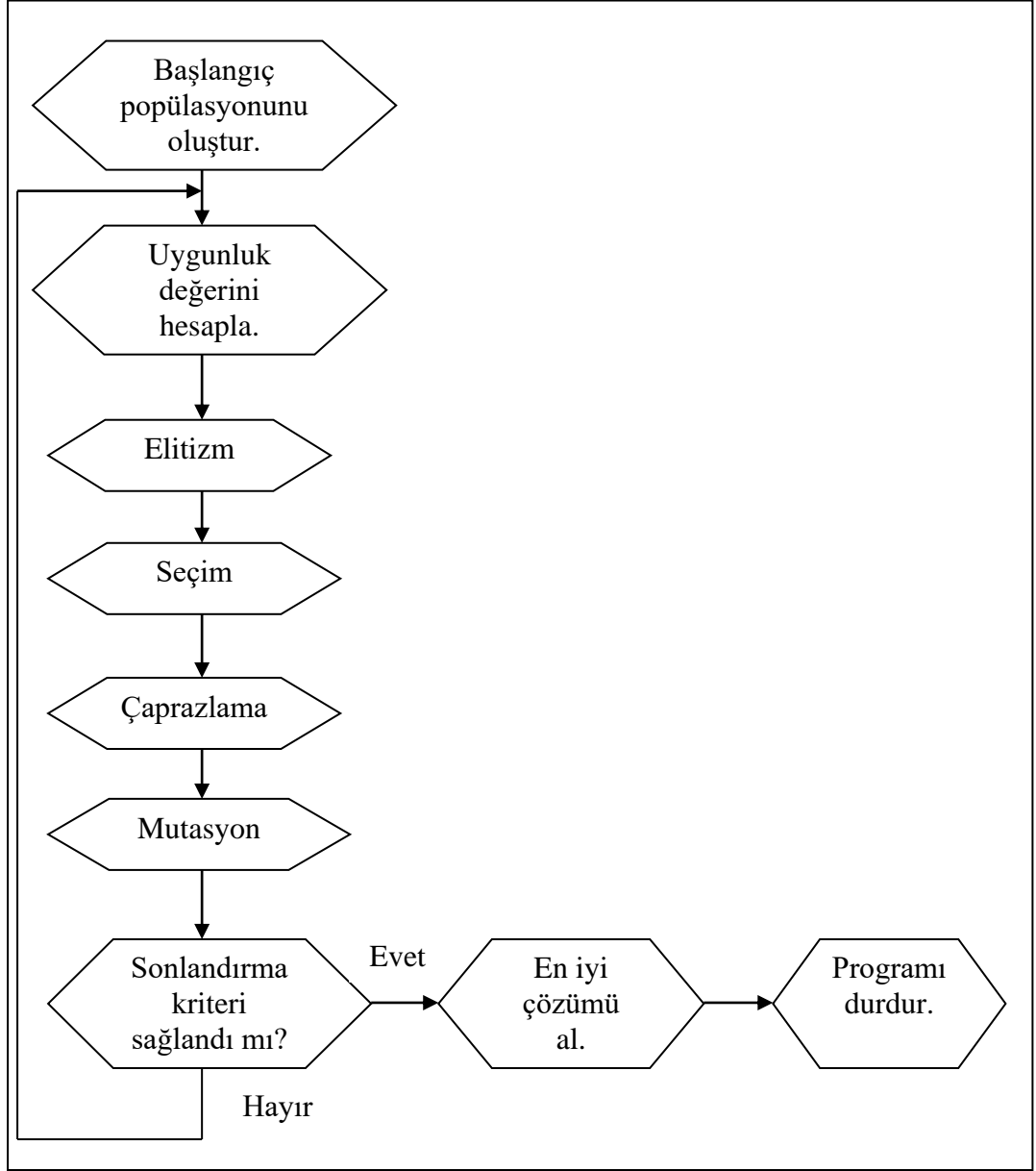
## 4. GENETİK ALGORİTMA

Genetik algoritmalar, karmaşık çok boyutlu arama uzayında en iyinin hayatta kalması ilkesine göre en iyi çözümü arayan, evrime dayalı bir algoritma türüdür. Geleneksel yöntemlerle çözümü zor veya hemen hemen imkansız olan problemlerin çözümünde yaygın olarak kullanılmaktadır ve giderek önemli bir yer tutmaya başlamıştır. Genetik algoritmalar probleme tek bir çözüm üretmeyerek, her biri çok boyutlu uzay üzerinde bir vektör olan, birbirinden bağımsız çözümlerden oluşan çözüm kümesi meydana getirirler. Bu sayede tek bir nokta değerlendirilmeyerek çözüme ulaşma olasılığı artmaktadır.

Genetik algoritma fikri Michigan Üniversitesi'nde psikoloji ve bilgisayar bilimleri uzmanı olan John Holland tarafından 1975 yılında ortaya atılmıştır. Holland'ın arkadaşları ile birlikte yaptığı çalışmalar sonucunda oluşturulan "Adaptation in Natural and Artificial Systems" isimli kitabı bu yılda yayınlanmıştır [32]. 1985 yılında Holland'ın öğrencisi, aynı zamanda inşaat mühendisi olan David E. Goldberg, doktorasını vererek, genetik algoritmalara dayalı 83 uygulamaya yer veren ve genetik algoritmanın dünyanın her yerinde çeşitli konularda kullanılmakta olduğunu gösteren "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning " isimli kitabını çıkarmıştır [33].

### 4.1. Genetik Algoritmaların Çalışma Prensipleri

Genetik algoritmaların çalışma prensibi, Şekil 4.1'deki akış diyagramında gösterilmektedir. Öncelikle kromozomlarla rastgele bir başlangıç popülasyonu oluşturulur. Her bir bireyin uygunluk değeri ayrı ayrı hesaplanır. Durdurma kriteri sağlanıyor ise algoritma sona erdirilir. Yoksa, elitizm, seçim, çaprazlama, mutasyon operatörleri uygulanarak gelecek jenerasyona yeni çözümler üretilir. Uygunluk değerleri tekrar hesaplanarak durdurma kriteri sağlanıncaya ve optimal bir çözüm bulununcaya kadar algoritma araştırmasına devam eder. Şart sağlandığında program durdurulur ve popülasyondaki en iyi çözüm alınır.



**Şekil 4.1.** Genetik algoritma akış diyagramı

#### 4.1.1. Kodlama

Probleme özgü bilgilerin genetik algoritmanın kullanacağı şekle çevrilerek çözümlerin kodlanması gerekmektedir. Genetik algortmada en çok kullanılan kodlama ikili (binary) kodlamadır. Bu kodlamada popülasyonu oluşturan



kromozomların (birey) her biri 0 ve 1'ler ile ikili sayı sisteminde kodlanırlar. Çizelge 4.1'de ikili kodlama türüyle oluşturulan ve 15 bitten oluşan bireyler gösterilmiştir.

**Çizelge 4.1.** İkili kodlama türüyle oluşturulan bireyler

Birey X	101010010101010
Birey Y	011110100011101

#### **4.1.2. Başlangıç Popülasyonunun Oluşturulması**

Genetik algoritmaların başlangıç popülasyonu genellikle rastgele sayı üreticisi kullanılarak oluşturulur. Fakat problemlerle ilgili başlangıçta bazı çözümler kabaca biliniyor ise, bu çözümler kullanılarak da başlangıç popülasyonu oluşturulabilir [34]. Ayrıca popülasyon büyüklüğünün belirlenmesi gerekmektedir. Büyük bir popülasyon büyüklüğü olur ise genetik algoritma yerel minimuma takılma şansını azaltarak daha geniş çözüm alanı arar. Fakat popülasyon büyüklüğünün çok büyük olması algoritmanın daha yavaş çalışmasına neden olur. Küçük popülasyonlarda ise algoritmanın çalışma süresi hızlı olmasına rağmen arama uzayındaki çözüm alanı daralacağından verimli sonuç elde etme şansı azalır.

#### **4.1.3. Uygunluk Değerinin Hesaplanması**

Çözümü aranan her problem için bir uygunluk fonksiyonu vardır. Uygunluk değeri, uygunluk fonksiyonu kullanılarak popülasyondaki her bir birey için hesaplanır ve çözümün kalitesini belirler. Bir çözümün uygunluk değeri ne kadar yüksek ise yaşama ve çoğalma şansı o kadar fazladır ve bir sonraki popülasyonda temsil edilme oranı da o kadar yüksektir [35, 36].

#### 4.1.4. Elitizm

Elitizm, belirli sayıdaki en iyi bireylerin hiçbir işleme tabi tutulmadan doğrudan bir sonraki popülasyona aktarılması işlemidir. Popülasyona aktarılan bu elit bireyler sayesinde yeni jenerasyona iyi bireyler girerek bunların oluşturacağı bireylerden de daha iyi sonuçlar elde edilebilecektir [37, 38].

#### 4.1.5. Seçim

Seçim genetik algoritmada, kalitesi yüksek bireylerin hayatta kalmalarını sağlamak ve sayılarını artırmak, kalitesi düşük bireylerin ise sayılarının azalarak kaybolmasını sağlamak amacıyla yapılan işlemdir. Genetik algoritmada değişik seçim yöntemleri vardır.

**Rulet tekeri seçim yöntemi:** Rulet tekeri seçim yönteminde seçilme işlemi, bireylerin uygunluk değerlerine göre yapılmaktadır. Uygunluk değeri fazla olan bireyde, seçilme kesin olmamakla birlikte şansı yüksek olmaktadır. Bu yöntemde, ilk olarak popülasyondaki bireylerin uygunluk değerleri ayrı ayrı bulunur. Bu uygunluk değerlerinin her biri toplam uygunluk değerine bölünerek, her bir birey için yüzde olarak seçilme olasılıkları hesaplanır. Bireyler sahip oldukları yüzdelerine göre rulet tekeri üzerine yerleştirilir. Tekerlek, elitizm kullanılmıyor ise popülasyonu oluşturan birey sayısı kadar çevrilir, kullanılıyor ise elit birey sayısının eksiği kadar seçim yapılır [39, 40].

**Turnuva seçim yöntemi:** Turnuva seçim yönteminde rastgele iki birey seçilir. Seçilen bu iki bireyden uygunluk derecesi yüksek olan bir sonraki jenerasyona katılır. Diğer birey ise eski jenerasyona geri bırakılır. Popülasyon büyüklüğüne ulaşıncaya kadar bu işleme devam edilir.

**Sıralama seçim yöntemi:** Sıralama seçim yönteminde popülasyondaki bireyler uygunluk değerlerine göre iyiden kötüye doğru sıralanır. En kötü birey 1 uygunlukta, en kötü bireyden bir önceki birey 2 uygunlukta, en iyi birey ise birey sayısı

uygunlukta olacak şekilde seçim yapılır. Böylece bütün bireylere seçim şansı doğacaktır.

#### 4.1.6. Çaprazlama

Çaprazlama, çoğalma işlemi sonucunda elde edilen yeni popülasyondan seçilen iki bireyden yeni bireyler üretme işlemidir. Bir önceki jenerasyondan daha iyi nitelikte yeni bireyler oluşturmak için kullanılır. Çaprazlama yöntemleri aşağıda açıklanmıştır.

**Tek noktalı çaprazlama:** Seçilen iki birey için ilk ve son gen dışında aradaki genlerden rastgele bir çaprazlama noktası seçilir. Bu noktadan sonraki genler iki birey arasında değiştirilerek tek noktalı çaprazlama işlemi tamamlanır ve iki yeni (yavru) birey oluşturulur. Çizelge 4.2’de tek noktalı çaprazlama örneği gösterilmiştir. Bu örnekte onuncu genden sonraki genler iki birey arasında karşılıklı değiştirilmiştir.

**Çizelge 4.2.** Tek noktalı çaprazlama

Birey 1	1101000101 <b>01001</b>
Birey 2	0010111101 <b>01100</b>
Aday Birey 1	1101000101 <b>01100</b>
Aday Birey 2	0010111101 <b>01001</b>

**Çift noktalı çaprazlama:** Seçilen iki birey için iki tane çaprazlama noktası seçilir. Birinci noktadan ikinci noktaya kadar olan genler iki birey arasında değiştirilerek tek noktalı çaprazlama işlemi tamamlanır ve iki yeni birey oluşturulur. Çizelge 4.3’de çift noktalı çaprazlama örneği gösterilmiştir.

**Çizelge 4.3.** Çift noktalı çaprazlama

Birey 1	00101 <b>100111</b> 10100
Birey 2	10101 <b>10011</b> 00010
Aday Birey 1	00101 <b>10011</b> 10100
Aday Birey 2	10101 <b>10011</b> 100010

**Çok noktalı çaprazlama:** Çok noktalı çaprazlamada ikiden fazla çaprazlama noktası seçilir. Bu noktalar arasında iki birey için gen alış verişi yapılarak çok noktalı çaprazlama işlemi tamamlanır ve iki yeni birey oluşturulur. Çizelge 4.4’de çok noktalı çaprazlama örneği gösterilmiştir.

**Çizelge 4.4.** Çok noktalı çaprazlama

Birey 1	10 <b>000</b> 110010 <b>1111</b>
Birey 2	01 <b>011</b> 101000 <b>1010</b>
Aday Birey 1	10 <b>011</b> 110010 <b>1011</b>
Aday Birey 2	01 <b>000</b> 101000 <b>1110</b>

#### 4.1.7. Mutasyon

Kromozomdaki bitlerin değiştirilmesi işlemidir. Mutasyon oranına göre bitler tersine döndürülür, yani 1 ise 0’a, 0 ise 1’e çevrilir. Yeniden ve sürekli yeni nesil üretimi sonucunda belirli bir süre sonra nesildeki kromozomlar birbirini tekrarlama konumuna gelebilir ve bunun sonucunda kromozom üretimi durabilir veya çok azalabilir. Bu yüzden kromozomların çeşitliliğini arttırmak için kromozomlardan bazıları mutasyona uğrattılır [41]. Mutasyon popülasyona çeşitlilik kazandırır. Çizelge 4.5’de mutasyona uğrayan iki birey örneği verilmiştir. Birinci bireyin baştan beşinci biti, ikinci bireyin ise baştan dokuzuncu biti mutasyona uğrayarak yeni bireyler oluşturulmuştur.

**Çizelge 4.5. Mutasyon**

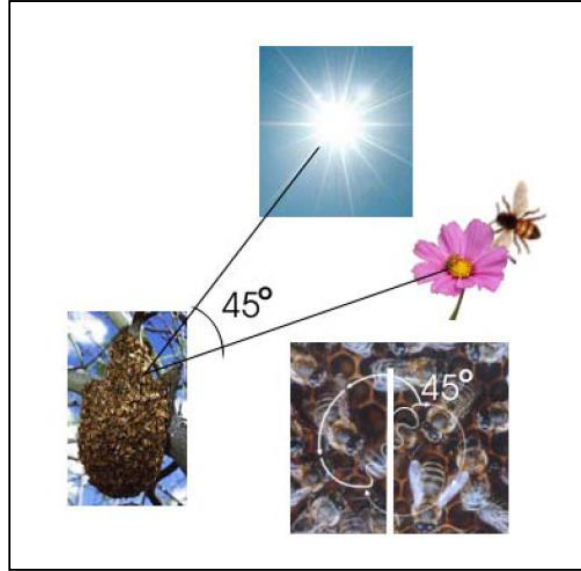
Mutasyon öncesi	Birey 1	0101 <b>0</b> 0011010111
	Birey 2	11101011 <b>0</b> 010100
Mutasyon sonrası	Birey 1	0101 <b>1</b> 0011010111
	Birey 2	11101011 <b>1</b> 010100

## 5. YAPAY ARI KOLONİSİ ALGORİTMASI

Yapay arı kolonisi algoritması, doğada sürü halinde hareket eden arıların besin ararken sergilemiş oldukları davranışlardan esinlenerek oluşturulmuş, sürü zekasına dayanan bir optimizasyon algoritmasıdır. Yapay arı kolonisi algoritması, 2005 yılında Derviş Karaboğa tarafından geliştirilmiştir [34].

Reaktif difüzyon denklemlerine dayalı olarak Tereshko'nun önerdiği kolektif zekanın ortaya çıkmasını sağlayan arama modelinde; yiyecek kaynakları, görevli işçi arılar ve görevsiz işçi arılar olmak üzere 3 bileşen vardır [42]. Yiyecek kaynakları, arıların nektar elde etmek için gittiği kaynaklardır. Kaynağın değeri, çeşidi, kovana yakınlığı, nektar konsantrasyonu ve nektarın çıkarılma kolaylığı gibi birçok faktöre bağlı olmasına rağmen, kaynağın zenginliği tek bir kriter olarak alınabilir. Görevli işçi arılar, daha önceden keşfedilen belli kaynaklara ait nektarın kovana getirilmesinden sorumlu arılardır. Aynı zamanda ziyaret ettikleri kaynağın kalitesi ve yeriyle ilgili bilgiyi kovanda bekleyen diğer arılarla paylaşırlar. Görevsiz işçi arılar ise rastgele kaynak arayan kaşif arılarla kovanda bekleyen ve görevli işçi arıların verdiği bilgiyi izleyerek yeni bir kaynağa yönelen gözcü arılardan oluşur [43, 44].

Arılar arasındaki bilginin iletilmesi ve paylaşımı kolektif yapının ve ortak bilginin oluşmasındaki en önemli husustur ve kovanda yapılan dans ile olur. Kaynağın kovana olan mesafesine göre çeşitli danslar mevcuttur. Daire dansı (round dance), farklı uzaklıktaki bölgelerin ayırımında kullanılan, belirtilen yiyecek kaynağının kovana olan uzaklığının maksimum 50-100 metre civarında olduğu dans türüdür. Yön ve uzaklık bilgisi vermemektedir. Titreme dansı (tremble dance), arının zengin bir nektar kaynağı bulduğunu, ancak kovana işlenebileceğinden fazla nektar geldiğini ve bundan dolayı nektarı işleme görevine geçmek istediğini belirten dans türüdür. Kovan kapasitesi ve yiyecek getirme aktivitesi arasında dengeyi sağlar. Kuyruk dansı (waggle dance), 100 metreden 10 kilometreye kadar olan geniş bir alan içerisinde bulunan kaynaklarla ilgili bilgi aktarımında kullanılan dans türüdür. Yön bilgisi, Şekil 5.1'deki 8 rakamı şeklinde açı bilgisinden elde edilir. Arılar dansı seyrederek güneş ile yiyecek arasındaki açının  $45^{\circ}$  olduğunu anlamaktadırlar [44].



**Şekil 5.1.** Arılarla dans [44]

### 5.1. Yapay Arı Kolonisi Algoritmasının Temel Adımları

Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması en fazla nektara sahip kaynağın yerini bulmaya çalışarak uzaydaki çözümlerden problemin minimumunu yada maksimumunu veren çözümü bulmaya çalışmaktadır [34]. Algoritmanın süreç adımları aşağıdaki gibi verilebilir [45].

**Adım 1.** Rastgele besin kaynakları oluşturularak işçi sayısı ve gözcü arı sayısı oluşturulur. Ayrıca limit değeri de tespit edilir ve kontrol amaçlı sayaç değişkeni oluşturulur.

**Adım 2.** Oluşturulan bu besin kaynaklarına ait her bir besinin çözüm değerleri amaç fonksiyonunun türüne göre hesaplanır.

**Adım 3.** Maksimum döngü sayısı belirlenir ve işçi arılar besin kaynaklarına gönderilir. İşçi arılar rastgele bir besine yönelirler ve bu besini işlemeye başlarlar. Besin işlendikten sonra bu besine ait yeni çözüm değeri hesaplanır. Elde edilen çözüm değeri bir önceki çözüm değerinden daha iyi ise bu besin ve besinle ilgili

bilgiler hafızaya alınır. Eğer çözüm değerinde bir iyileşme sağlanırsa limit değeri sıfırlanır yoksa limit değeri bir artırılır.

**Adım 4.** İşçi arılardan sonra gözcü arılar devreye girerler. Gözcü arılar besinlerin uygunluk değerine göre seçilen bir besin kaynağı üzerinde çalışmaya başlarlar. Besin işlendikten sonra bu besine ait yeni çözüm değeri hesaplanır. İşçi arılardan farklı olarak uygunluk değerine göre seçim yaparlar. Elde edilen çözüm değeri bir önceki çözüm değerinden daha iyi ise bu besin ve besinle ilgili bilgiler hafızaya alınır. Eğer çözüm değerinde bir iyileşme sağlanırsa limit değeri sıfırlanır yoksa limit değeri bir artırılır.

**Adım 5.** Bu aşamada algoritmanın yerel minimumda ya da maksimumda takılmasına engel olan kaşif arı devreye girer. Elde edilen çözümü tamamen bozarak yani limit değerleri sıfırlayarak yeni bir çözüm değeri üretilmesini sağlar. Elde edilen çözüm değeri ile önceden hafızaya alınmış çözüm değeri karşılaştırılır. Bu iki çözüm değerinden en iyi olanı hafızada tutulur.

**Adım 6.** Maksimum döngü sayısına ulaşıncaya kadar algoritma çalışmaya devam eder, durdurma kriteri sağlanınca algoritma sonlandırılır.

Yapay arı kolonisi algoritmasının akış diyagramı Şekil 5.2’de verilmiştir [46].

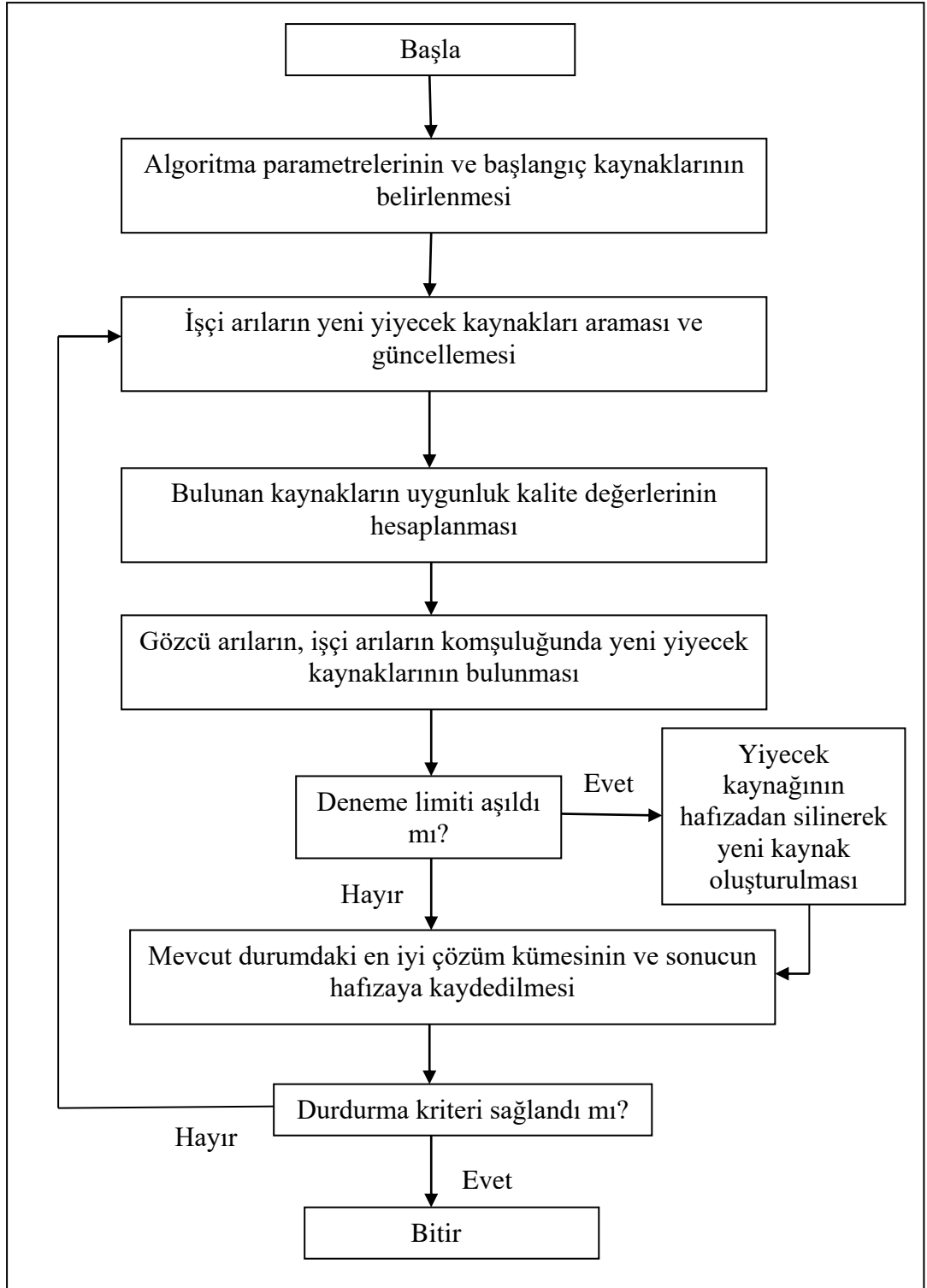
### 5.1.1. Başlangıç Yiyecek Kaynaklarının Üretilmesi

Her parametrenin alt ve üst sınırları arasında rastgele değer üreterek, çözümlere karşılık gelen yiyecek kaynağı yerleri, Eşitlik 5.1 kullanılarak belirlenmiş olur.

$$x_{ij} = x_j^{min} + rand(0,1)(x_j^{maks} - x_j^{min}) \quad i = 1, \dots, SN, \quad j = 1, \dots, D \quad (5.1)$$

Eşitlik 5.1’de SN yiyecek kaynağı sayısıdır, D optimize edilecek parametre sayısıdır.  $x_j^{min}$ , j. parametrenin alt sınırı,  $x_j^{maks}$ , j. parametrenin üst sınırıdır [34].





Şekil 5.2. Yapay arı kolonisi algoritması akış diyagramı [46]

### 5.1.2. İşçi Arıların Yiyecek Kaynaklarına Gönderilmesi

İşçi arı çalıştığı yiyecek kaynağı komşuluğunda yeni bir yiyecek kaynağı belirler ve bunun kalitesini değerlendirir. Yeni kaynak daha iyi ise, bu yeni kaynağı hafızasına alır. Yeni kaynağın mevcut kaynak komşuluğunda belirlenmesinin benzetimi, Eşitlik 5.2 ile tanımlanmaktadır [34].

$$v_{ij} = x_{ij} + \emptyset_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (5.2)$$

$x_i$  ile gösterilen her bir kaynak için bu kaynağın yani çözümün tek bir parametresi  $j$  değiştirilerek  $x_i$  komşuluğunda  $v_i$  kaynağı bulunur.  $j$ ,  $[1,D]$  aralığında rastgele üretilen bir tamsayıdır. Rastgele seçilen  $j$  parametresi değiştirilirken, yine rastgele  $x_k$  komşu çözümünün ( $k \in \{1,2,\dots,SN\}$ )  $j$ .parametresi ile mevcut kaynağın  $j$ . parametresinin farkları alınıp  $[-1,1]$  arasında rastgele değer alan  $\emptyset_{ij}$  sayısı ile ağırlandırıldıktan sonra mevcut kaynağın  $j$ . parametresine eklenmektedir [34].

Üretilen  $v_{ij}$ 'nin daha önceden belli olan parametre sınırlarını aşması durumunda,  $j$ . parametreye ait olan alt veya üst sınır değerlerine Eşitlik 5.3'de gösterildiği gibi ötelenmektedir [34].

$$v_{ij} = \begin{cases} x_j^{min}, & v_{ij} < x_j^{min} \\ v_{ij}, & x_j^{min} \leq v_{ij} \leq x_j^{maks} \\ x_j^{maks}, & v_{ij} \geq x_j^{maks} \end{cases} \quad (5.3)$$

$v_i$  yeni bir kaynağı temsil etmektedir ve bunun kalitesi Eşitlik 5.4'de gösterildiği gibi hesaplanarak, bir uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk hesaplaması problemin maksimizasyon ya da minimizasyon olması durumuna göre değişir [34].

$$fitness_i = f(x) \begin{cases} \frac{1}{1+f_i} & f_i \geq 0 \\ 1 + |f_i| & f_i < 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

Eşitlik 5.4'de  $f_i$ ,  $v_i$  çözümünün maliyet değeridir. Eğer elde edilen çözüm önceki çözümden daha kötü ise sayaç bir arttırılarak önceden belirlenmiş olan limit değeri

ile karşılaştırılır. Aksi halde, önceki çözüm değerinden daha iyi bir çözüm değeri elde edilmesi durumunda ise sayaç sıfırlanır.

İşçi arılar araştırmalarını yapıp kovana döndükten sonra, kaynakların nektar miktarları ve yerleri ile ilgili bilgiyi dans alanında gözcü arılara aktarırlar. Gözcü arı, nektar miktarı ile orantılı bir olasılıkla bir bölge seçer. Uygunluk değerine bağlı olarak yapılan olasılıksal seçme işlemi, rulet tekerleği ile yapılır. Yani Eşitlik 5.5’de gösterildiği gibi, bir kaynağın uygunluk değerinin tüm kaynakların uygunluk değerlerinin toplamına oranı, o kaynağın diğer kaynaklara göre seçilme oranını verir [34].

$$p_i = \frac{fitness_i}{\sum_{j=1}^{SN} fitness_j} \quad (5.5)$$

Eşitlik 5.5’de fitness<sub>i</sub>, i. kaynağın kalitesini, SN görevli arı sayısını gösterir. Kaynağın nektar miktarı artıkça seçilme olasılığı da artmaktadır [34].

### 5.1.3. Gözcü Arıların Yiyecek Kaynaklarına Gönderilmesi

Gözcü arılar kovandan ayrıldıktan sonra hesaplanan uygunluk değerine göre ilgili yiyecek kaynaklarına yönelerek yeni bir çözüm değeri hesaplarlar. Bu çözüm değeri eski çözüm değeri ile karşılaştırılarak daha iyi olması durumunda sayaç sıfırlanır aksi halde bir artırılır. Bu süreç bütün gözcü arılar yiyecek kaynağına gidene kadar devam eder.

### 5.1.4. Yiyecek Kaynağının Bırakılması ve Kaşif Arı Üretimi

Bu aşamada, çözüm değeri daha fazla iyileştirilemiyor, yani arının nektar aldığı kaynağın bitip bitmediğini gösteren sayaç, limit değerini aşmış ise kaşif arılar görevi devralırlar. Kaşif arılar yardımıyla yeni bir yiyecek kaynağı oluşturulur ve bu kaynağın çözüm değeri hesaplanır. Bu çözüm değeri eski çözüm değeri ile karşılaştırılarak daha iyi olması durumunda hafızaya alınır yoksa ihmal edilir. Bütün

bu durumlar, durdurma kriteri sağlanıncaya kadar devam eder. Sağlanınca algoritma çalışmasını durdurarak döngüden çıkar.

## 6. UYGULAMA VE ANALİZLER

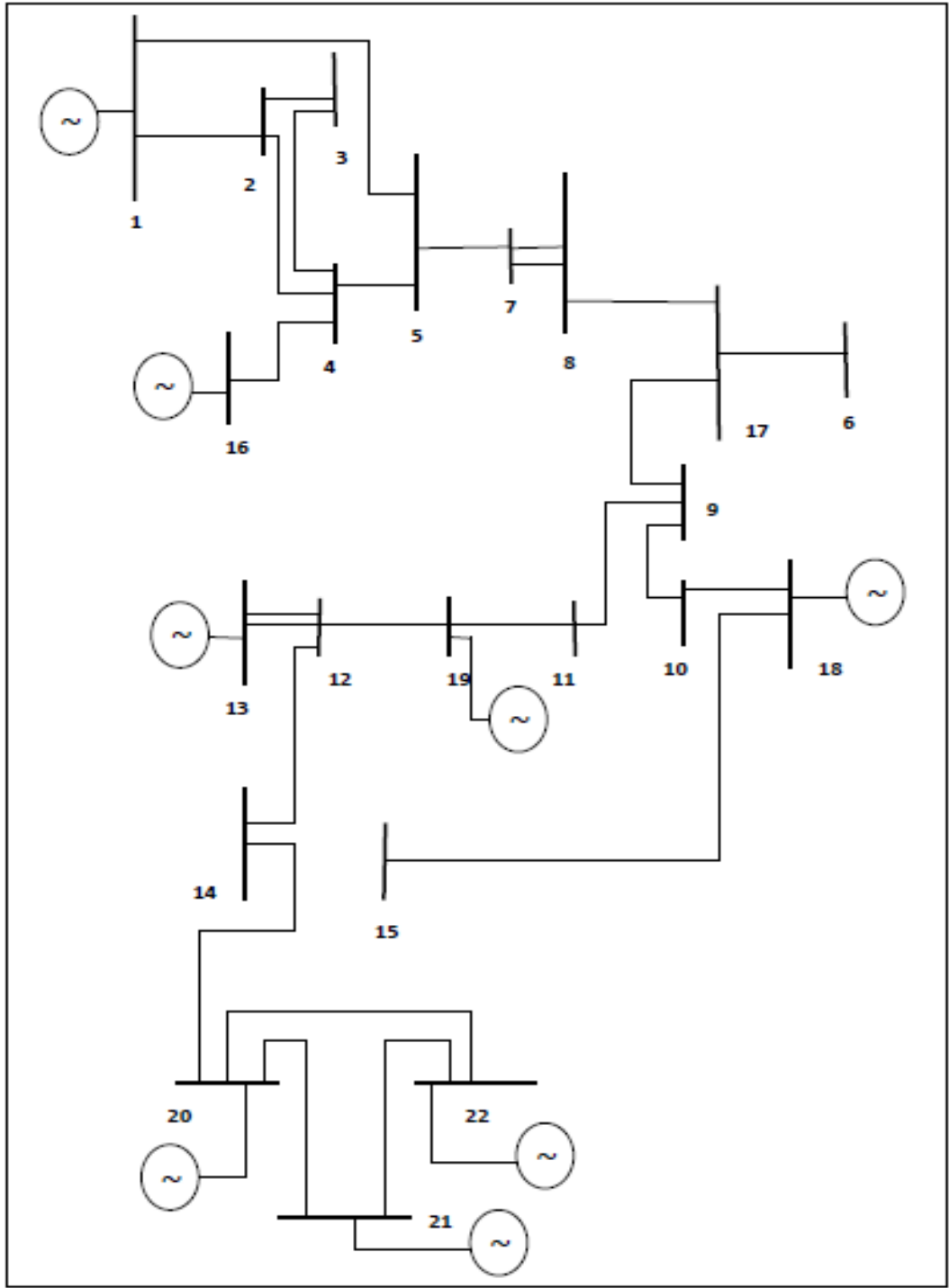
Bu tez çalışmasında, ekonomik yük dağıtımı ve çevresel ekonomik yük dağıtımı problemlerinin çözümü, örnek alınan çeşitli güç sistemleri üzerinde uygulandı. İlk olarak, ekonomik yük dağıtımı problemi için Türkiye’de bulunan 380 kV’luk, 8 jeneratörden oluşan, 22 baralı enterkonnekte güç sistemi üzerinde, sonrasında, çevresel ekonomik yük dağıtımı problemi, 6 jeneratörlü bir test sistemi üzerinde çözüldü. İki problemin çözümü, hem iletim kayıpları ihmal edilerek hem de iletim kayıpları ihmal edilmeyerek yapıldı.

### 6.1. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü

#### 6.1.1. Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Uygulanacağı Güç Sisteminin Özellikleri

Bu sistemin özellikleri, [9] numaralı çalışmadan alındı. Türkiye’de bulunan bu güç sistemi, Elektrik Üretim Anonim Şirketi’ne bağlı 8 tane gerilim barası ve 14 tane yük barası olmak üzere toplam 22 baradan oluşmaktadır. Bu güç sistemi, Hamitabat, Ambarlı, Bursa Doğalgaz, Seyitömer, SomaB, Yeniköy, Kemerköy ve Yatağan termik santrallerinin enterkonnekte olarak birbirine bağlanması ile oluşmaktadır. Sistemde 4000 MW yük durumu için ekonomik dağıtım yapıldı. Sistemin şeması Şekil 6.1’de bara kodları ile birlikte gösterilmiştir. [9].

Sistemde yer alan baraların isimleri kodlarıyla birlikte Çizelge 6.1’de verilmiştir. [9].



**Şekil 6.1.** Türkiye'deki 380 kV'luk 22 baralı güç sistemi [9]

**Çizelge 6.1.** 22 baralı sistemin bara kodları ve isimleri [9]

Bara kodu	Bara ismi	Bara kodu	Bara ismi
1	Hamitabat	12	AliğaII
2	Unimar	13	İzmir DGKÇ
3	Habibler	14	Uzundere
4	İkitelli	15	Işıklar
5	Alibeyköy	16	Ambarlı
6	Karabiga	17	Bursa D.Gaz
7	Ümraniye	18	Seyit Ömer
8	T.Ören	19	Soma B
9	Bursa San	20	Yeniköy
10	T. Şalt	21	Kemerköy
11	BalıkesirII	22	Yatağan

Sistemin R (direnç), X (endüktans) ve B/2 (kapasitans) değerleri Çizelge 6.2’de verilmiştir. [9].

Sisteme ait veriler, 4000 MW yük durumu için, Çizelge 6.3’de gösterilmiştir [9].

**Çizelge 6.2.** 22 baralı sistemin R, X, B/2 değerleri [9]

Baradan Baraya	R (p.u)	X (p.u)	B/2 (p.u)
(1-2)	0.002165	0.020001	0.222098
(1-5)	0.002444	0.028082	0.4612905
(2-4)	0.002080	0.019221	0.213437
(4-16)	0.000528	0.004860	0.1752395
(4-5)	0.000351	0.004182	0.0639695
(5-7)	0.000620	0.007384	0.1129485
(7-8)	0.000769	0.007119	0.078705
(8-17)	0.004125	0.038120	0.4322905
(6-17)	0.002790	0.033208	0.507974
(9-17)	0.000389	0.003592	0.0398905
(9-10)	0.002112	0.019471	0.2216565
(9-11)	0.002630	0.024305	0.2698815
(10-18)	0.001010	0.009314	0.1060295
(11-19)	0.001564	0.014450	0.1604605
(12-19)	0.001979	0.018287	0.203061
(12-13)	0.000019	0.000288	0.0049555
(12-14)	0.001108	0.012733	0.2091535
(12-15)	0.001145	0.010580	0.1174845
(15-22)	0.002357	0.027081	0.444846
(15-18)	0.006840	0.063202	0.7018005
(14-20)	0.002591	0.029764	0.3619415
(20-22)	0.001007	0.009266	0.1059455
(21-22)	0.001143	0.010518	0.120261
(20-21)	0.000309	0.002839	0.0324665
(3-4)	0.000417	0.004962	0.075904
(2-3)	0.001364	0.016234	0.2483265



**Çizelge 6.3.** 22 baralı sistemin özellikleri [9]

Bara Adı	Bara Tipi	Gerilim genliği (V)	Açı	Yük		Üretim	
				P <sub>yük</sub> (MW)	Q <sub>yük</sub> (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	Salınım barası	1.015	0	0	0	0	0
2	Yük barası	1	0	0	0	0	0
3	Yük barası	1	0	236	146.25	0	0
4	Yük barası	1	0	433	268.34	0	0
5	Yük barası	1	0	236	146.259	0	0
6	Yük barası	1	0	0	0	0	0
7	Yük barası	1	0	172.8	107.2	0	0
8	Yük barası	1	0	264.63	163.6	0	0
9	Yük barası	1	0	304	188.4	0	0
10	Yük barası	1	0	141	87.38	0	0
11	Yük barası	1	0	205	127.04	0	0
12	Yük barası	1	0	277.2	171.66	0	0
13	Yük barası	1	0	248.7	153.69	0	0
14	Yük barası	1	0	292	180.96	0	0
15	Yük barası	1	0	229	141.92	0	0
16	Jeneratör barası	1.015	0	0	0	680	0
17	Jeneratör barası	1.0172	0	0	0	601	0
18	Jeneratör barası	1.011166	0	204	126.4	430	0
19	Jeneratör barası	1.017	0	178.1	110.3	530	0
20	Jeneratör barası	1.012	0	215.9	133	390	0
21	Jeneratör barası	1.012	0	18	11.15	520	0
22	Jeneratör barası	1.0251	0	344.7	231.2	490	0

İletim hatlarındaki toplam kayıp miktarı B kayıp katsayıları matrisi ile hesaplanabilir. Kayıplı ekonomik dağıtımın yapılabilmesi için bu matrisin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için öncelikle Çizelge 6.2'deki R, X, B/2 değerleri kullanılarak sistemin bara admitans matrisi oluşturuldu. Daha sonra Çizelge 6.3'de yer alan aktif güç, reaktif güç, bara gerilim genlikleri yardımıyla, Newton-Raphson güç akışı metodu kullanılarak yük baralarının akımları hesaplandı [9]. Sistemin hesaplanan B kayıp katsayıları matrisi Çizelge 6.4'de verildi.

**Çizelge 6.4.** 22 baralı sistemin B kayıp katsayıları

B	0.0067	0.0057	-0.0002	-0.0016	-0.0025	-0.0035	-0.0030	-0.0042
	0.0057	0.0077	-0.0002	-0.0018	-0.0032	-0.0039	-0.0025	-0.0057
	-0.0002	-0.0002	0.0019	0.0009	0.0002	-0.0007	-0.0007	-0.0007
	-0.0016	-0.0018	0.0009	0.0031	0.0005	0.0002	0.0001	0.0004
	-0.0025	-0.0032	0.0002	0.0005	0.0034	0.0012	0.0006	0.0020
	-0.0035	-0.0039	-0.0007	0.0002	0.0012	0.0039	0.0032	0.0043
	-0.0030	-0.0025	-0.0007	0.0001	0.0006	0.0032	0.0042	0.0018
	-0.0042	-0.0057	-0.0007	0.0004	0.0020	0.0043	0.0018	0.0083
B0	0.0057	0.0079	0.0008	-0.0008	-0.0042	-0.0044	-0.0003	-0.0102
B00	0.0101							

Üretim birimlerinin ekonomik yük dağıtımını gerçekleştirmek için gerekli olan üretim birimlerinin ikinci dereceden bir fonksiyon olarak tanımlanan maliyet fonksiyonları ve üretebileceği güçlerin limit değerleri Çizelge 6.5'de verilmiştir [9].

**Çizelge 6.5.** Üretim birimlerinin maliyet fonksiyonları ve limit değerleri [9]

Santraller	Maliyet fonksiyonu (\$/h)	Santrallerin Limit Değerleri(MW)
Hamitabat	$0.0168P_1^2+7.0663P_1+6595.5$	$190 \leq P_1 \leq 1120$
Ambarlı	$0.0127P_2^2+7.2592P_2+7290.6$	$245 \leq P_2 \leq 1350$
Bursa DG	$0.0106 P_3^2+5.682P_3+6780.5$	$318 \leq P_3 \leq 1432$
Seyitömer	$0.0139 P_4^2+3.1288P_4+1564.4$	$150 \leq P_4 \leq 600$
SomaB	$0.0168 P_5^2+6.2232P_5+5134.1$	$210 \leq P_5 \leq 990$
Yeniköy	$0.021P_6^2+3.3128P_6+1159.5$	$110 \leq P_6 \leq 420$
Kemerköy	$0.0137P_7^2+3.2324P_7+1697$	$140 \leq P_7 \leq 630$
Yatağan	$0.0147P_8^2+3.472P_8+1822.8$	$140 \leq P_8 \leq 630$

### 6.1.2. Genetik Algoritma ile Kayıpsız Ekonomik Dağıtım

Ekonomik yük dağıtımını problemi MATLAB’da hazırlanan program yardımıyla Genetik Algoritma metodu kullanılarak çözüldü. Genetik algortmada kullanılan parametrelere verilen değerler Çizelge 6.6’da verildi.

**Çizelge 6.6.** Genetik algoritma parametreleri ve değerleri

Genetik algoritma parametreleri	Değerler
Popülasyon büyüklüğü	100
Elit birey sayısı	10
Çaprazlama oranı	0.4
Durdurma kriteri jenerasyon sayısı	55

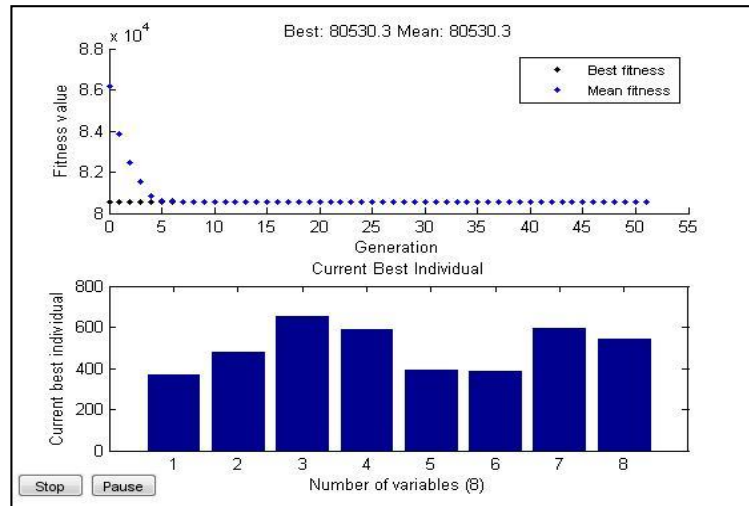
Sistemde iletim hattı kayıplarının ihmal edildiği ve 4000 MW yük durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 6.7’de gösterildi.

**Çizelge 6.7.** Genetik algoritma ile kayıpsız ekonomik dağıtım sonuçları

Santraller	P <sub>gmin</sub>	P <sub>g</sub>	P <sub>gmaks</sub>
Hamitabat	190	368.771	1120
Ambarlı	245	480.198	1350
Bursa DG	318	649.699	1432
Seyitömer	150	587.312	600
SomaB	210	393.893	990
Yeniköy	110	384.342	420
Kemerköy	140	592.043	630
Yatağan	140	543.742	630

Genetik Algoritma ile elde edilen dağıtım sonuçlarına göre toplam maliyet 80530 \$ olarak hesaplandı.

Genetik algoritma ile kayıpsız ekonomik dağıtım sonucu her bir iterasyona karşılık gelen en iyi ve ortalama uygunluk değerlerini ve değişkenlerin en iyi uygunluk değerini aldığı noktanın koordinatları Şekil 6.2’de gösterildi.



**Şekil 6.2.** Genetik algoritma ile kayıpsız ekonomik dağıtım sonucu en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri

### 6.1.3. Genetik Algoritma ile Kayıplı Ekonomik Dağıtım

Sistemin iletim hattı kayıplarının dahil edildiği 4000 MW yük durumundaki ekonomik dağıtım problemi Çizelge 6.4'deki B kayıp katsayıları matrisi ile Genetik Algoritma metodu kullanılarak çözüldü. Genetik algoritmada kullanılan parametrelere verilen değerler Çizelge 6.8'de verildi.

**Çizelge 6.8.** Genetik algoritma parametreleri ve değerleri

Genetik algoritma parametreleri	Değerler
Popülasyon büyüklüğü	100
Elit birey sayısı	10
Çaprazlama oranı	0.4
Durdurma kriteri jenerasyon sayısı	15

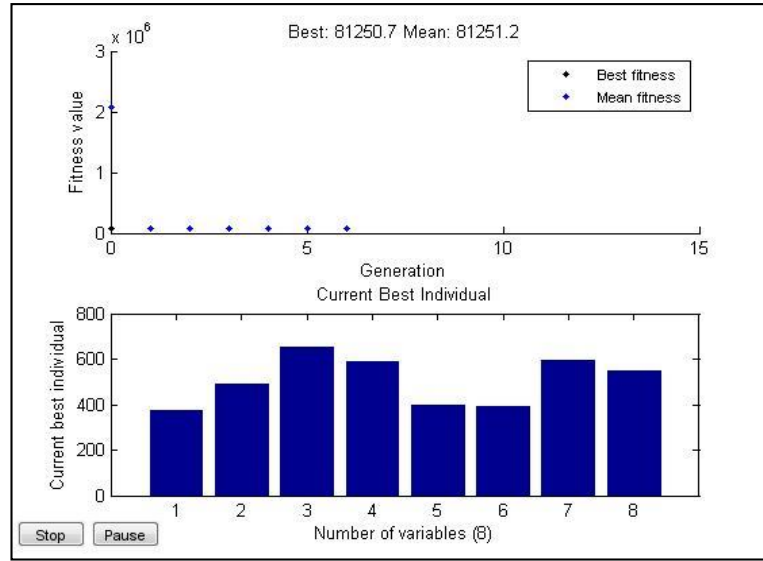
Hat kayıpları da düşünüldüğünde elde edilen ekonomik dağıtım sonuçları Çizelge 6.9'da gösterildi.

**Çizelge 6.9.** Genetik algoritma ile kayıplı ekonomik dağıtım sonuçları

Santraller	$P_{gmin}$	$P_g$	$P_{gmaks}$
Hamitabat	190	375.1641	1120
Ambarlı	245	487.1260	1350
Bursa DG	318	653.0469	1432
Seyitömer	150	592.9844	600
SomaB	210	397.8867	990
Yeniköy	110	387.7988	420
Kemerköy	140	595.9004	630
Yatağan	140	547.0586	630

Problemimiz genetik algoritma ile çözüldüğünde elde edilen kayıplı ekonomik dağıtım sonuçlarına göre hesaplanan toplam maliyet 81252 \$, iletim hattı kayıpları ise 36.9658 W olarak bulundu.

Genetik algoritma ile kayıplı ekonomik dağıtım sonucu her bir iterasyona karşılık gelen en iyi ve ortalama uygunluk değerlerini ve değişkenlerin en iyi uygunluk değerini aldığı noktanın koordinatları Şekil 6.3’de gösterildi.



**Şekil 6.3.** Genetik algoritma ile kayıplı ekonomik dağıtım sonucu en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri

#### 6.1.4. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıpsız Ekonomik Dağıtım

Ekonomik yük dağıtımını problemi MATLAB’da hazırlanan program yardımıyla Yapay Arı Kolonisi optimizasyon yöntemi kullanılarak çözüldü. Yapay arı kolonisi algoritmasında kullanılan kontrol parametrelerine verilen değerler Çizelge 6.10’da verildi.

Sistemde iletim hattı kayıplarının ihmal edildiği ve 4000 MW yük durumunda elde edilen sonuçlar Çizelge 6.11’de gösterildi.

**Çizelge 6.10.** Yapay arı kolonisi algoritması kontrol parametreleri ve değerleri

Yapay arı kolonisi algoritması parametreleri	Değerler
Koloni büyüklüğü (işçi arılar+gözcü arılar)	20
Yiyecek sayısı (Koloni büyüklüğü/2)	10
Limit	100
Durdurma kriteri maksimum döngü	2500
Algoritma çalışma sayısı	3

**Çizelge 6.11.** Yapay arı kolonisi ile kayıpsız ekonomik dağıtım sonuçları

Santraller	$P_{gmin}$	$P_g$	$P_{gmaks}$
Hamitabat	190	368.5353	1120
Ambarlı	245	480.0591	1350
Bursa DG	318	649.0000	1432
Seyitömer	150	586.1135	600
SomaB	210	393.7376	990
Yeniköy	110	384.0000	420
Kemerköy	140	592.0738	630
Yatağan	140	544.4815	630

Kayıpsız ekonomik dağıtım problemimiz Yapay Arı Kolonisi ile çözüldüğünde maliyet 80530 \$ olarak hesaplandı.

#### **6.1.5. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıplı Ekonomik Dağıtım**

Sistemin iletim hattı kayıplarının dahil edildiği 4000 MW yük durumundaki ekonomik dağıtım problemi, Çizelge 6.4'deki B kayıp katsayıları kullanılarak MATLAB'da hazırlanan program yardımıyla Yapay Arı Kolonisi optimizasyon yöntemi ile çözüldüğünde elde edilen sonuçlar Çizelge 6.12'de verildi. Yapay arı

kolonisi algoritması kontrol parametreleri olarak Çizelge 6.10'daki değerler kullanıldı.

**Çizelge 6.12.** Yapay arı kolonisi ile kayıplı ekonomik dağıtım sonuçları

Santraller	$P_{gmin}$	$P_g$	$P_{gmaks}$
Hamitabat	190	379.1925	1120
Ambarlı	245	381.2689	1350
Bursa DG	318	644.7511	1432
Seyitömer	150	600.0000	600
SomaB	210	496.2273	990
Yeniköy	110	334.1048	420
Kemerköy	140	630.0000	630
Yatağan	140	581.3139	630

Elde edilen dağıtım sonuçlarına göre problemimize kayıplar dahil edildiğinde hesaplanan maliyet 81840 \$, iletim hattı kayıpları ise 46.6784 W olarak bulundu.

## **6.2. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü**

### **6.2.1. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Uygulanacağı Güç Sisteminin Özellikleri**

Çevresel ekonomik güç dağıtım problemi 6 jeneratörlü bir test sistemi üzerinde uygulandı. Bu sistemdeki üretim birimlerinin yakıt maliyeti katsayıları ve üretebileceği gücün limit değerleri Çizelge 6.13'de, NO<sub>x</sub> emisyon katsayıları Çizelge 6.14'de, kayıp katsayıları ise Çizelge 6.15'de verilmiştir. Bu veriler [47] numaralı kaynaktan alındı.



**Çizelge 6.13.** 6 jeneratörlü test sistemindeki üretim birimlerinin maliyet katsayıları ve üretebileceği gücün limit değerleri [47]

Birim i	$a_i$	$b_i$	$c_i$	$P_{gmin}$	$P_{gmaks}$
1	756.79886	38.53973	0.15247	10	125
2	451.32513	46.15916	0.10587	10	150
3	1049.99770	40.39655	0.02803	35	225
4	1243.53110	38.30553	0.03546	35	210
5	1658.56960	36.32782	0.02111	130	325
6	1356.65920	38.27041	0.01799	125	315

**Çizelge 6.14.** 6 jeneratörlü test sistemindeki üretim birimlerinin  $NO_x$  emisyon katsayıları [47]

Birim i	$d_i$	$e_i$	$f_i$
1	0.00419	0.32767	13.85932
2	0.00419	0.32767	13.85932
3	0.00683	-0.54551	40.26690
4	0.00683	-0.54551	40.26690
5	0.00461	-0.51116	42.89553
6	0.00461	-0.51116	42.89553

**Çizelge 6.15.** 6 jeneratörlü test sisteminin B kayıp katsayıları [47]

B	0.002022	-0.000286	-0.000534	-0.000565	-0.000454	-0.000103
	-0.000286	0.003243	0.000016	-0.000307	-0.000422	-0.000147
	-0.000533	0.000016	0.002085	0.000831	0.000023	-0.000270
	-0.000565	-0.000307	0.000831	0.001129	0.000113	-0.000295
	-0.000454	-0.000422	0.000023	0.000113	0.000460	-0.000153
	0.000103	-0.000147	-0.000270	-0.000295	-0.000153	0.000898

Çevresel ekonomik yük dağıtımını problemimizin çözümünde kullandığımız Eşitlik 2.59'daki  $h$  değeri 500 MW yük değeri için 43.8983, 700 MW yük değeri için 47.8222, 900 MW yük değeri için ise 43.1533 olarak bulundu ve hesaplamalarda bu değerler kullanıldı.

### 6.2.2. Genetik Algoritma ile Kayıpsız Çevresel Ekonomik Dağıtım

Çevresel ekonomik yük dağıtımını problemi MATLAB'da hazırlanan program yardımıyla Genetik Algoritma metodu kullanılarak çözüldü. Sistemde iletim hattı kayıplarının ihmal edildiği ve 500, 700 ve 900 MW yük durumları için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar Çizelge 6.16'da gösterildi. Genetik algoritma parametreleri olarak Çizelge 6.6'daki değerler kullanıldı.

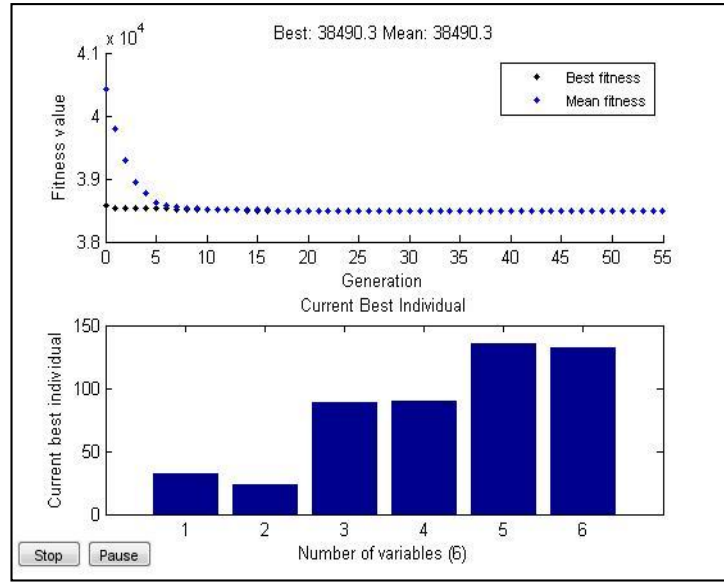
**Çizelge 6.16.** Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonuçları

Birim (MW)	Talep (MW)		
	500	700	900
P1 (MW)	31.6698	60.3724	86.7893
P2 (MW)	23.5859	56.9974	87.5472
P3 (MW)	88.0731	116.3096	144.9416
P4 (MW)	89.2352	116.7639	144.8265
P5 (MW)	134.9523	175.6730	218.6250
P6 (MW)	132.4828	173.8828	217.2704
Toplam üretim (MW)	499.9991	699.9991	900.0000
Yakıt maliyeti (Rs/h)	27187	36640	46714
Emisyon çıkışı (kg/h)	257.4943	422.7313	658.6673

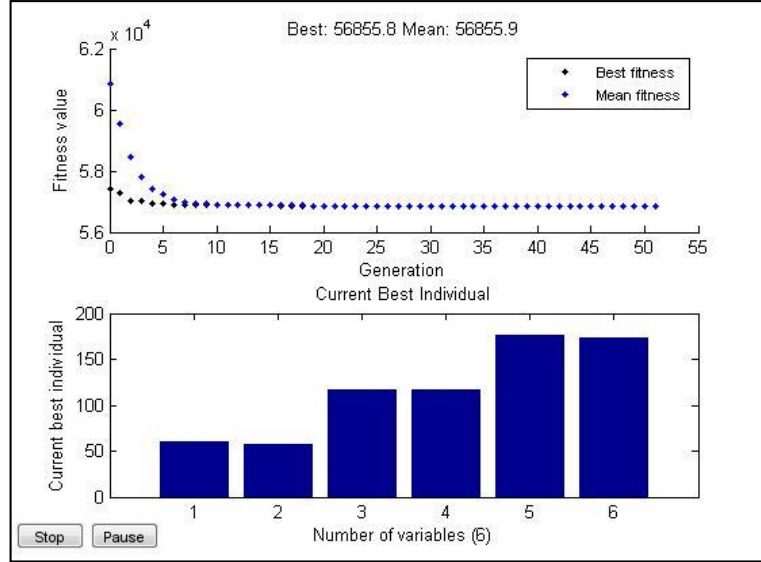
Genetik algoritma kullanılarak ve hatlardaki kayıplar ihmal edilerek çözülen çevresel ekonomik güç dağıtımını sonuçlarına göre; 500 MW yük durumunda yakıt maliyeti 27187 Rs/h, emisyon çıkışı 257.4943 kg/h, 700 MW yük durumunda yakıt maliyeti

36640 Rs/h, emisyon çıkışı 422.7313 kg/h, 900 MW yük durumunda yakıt maliyeti 46714 Rs/h, emisyon çıkışı 658.6673 kg/h olarak bulundu.

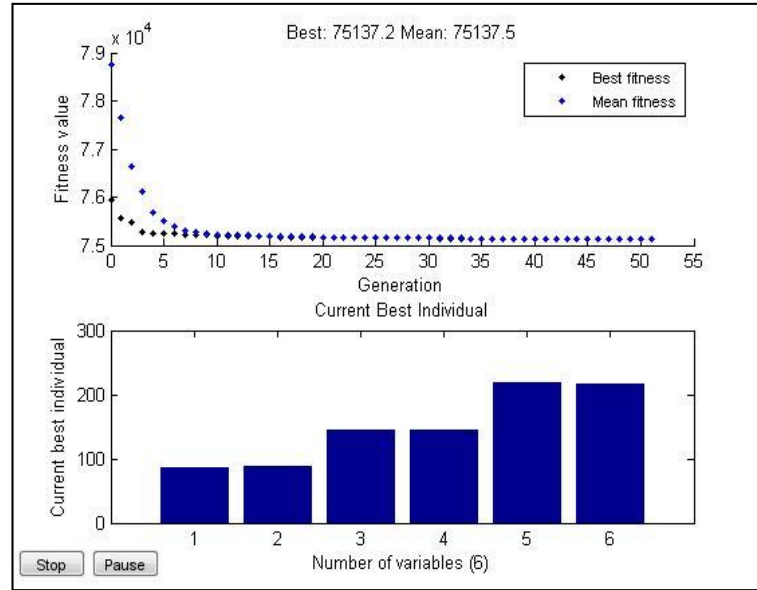
Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonucu her bir iterasyona karşılık gelen en iyi ve ortalama uygunluk değerlerini ve değişkenlerin en iyi uygunluk değerini aldığı noktanın koordinatları 500, 700, 900 MW yük durumları için sırasıyla Şekil 6.4, Şekil 6.5 ve Şekil 6.6'da gösterildi.



**Şekil 6.4.** Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonucu 500 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri



**Şekil 6.5.** Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonucu 700 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri



**Şekil 6.6.** Genetik algoritma ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonucu 900 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri

### 6.2.3. Genetik Algoritma ile Kayıplı Çevresel Ekonomik Dağıtım

Çevresel ekonomik yük dağıtımını problemi MATLAB’da hazırlanan program yardımıyla Genetik Algoritma metodu kullanılarak çözüldü. Genetik algoritma parametreleri olarak Çizelge 6.17’deki değerler kullanıldı.

**Çizelge 6.17.** Genetik algoritma parametreleri ve değerleri

Genetik algoritma parametreleri	Değerler
Popülasyon büyüklüğü	100
Elit birey sayısı	10
Çaprazlama oranı	0.4
Durdurma kriteri jenerasyon sayısı	10

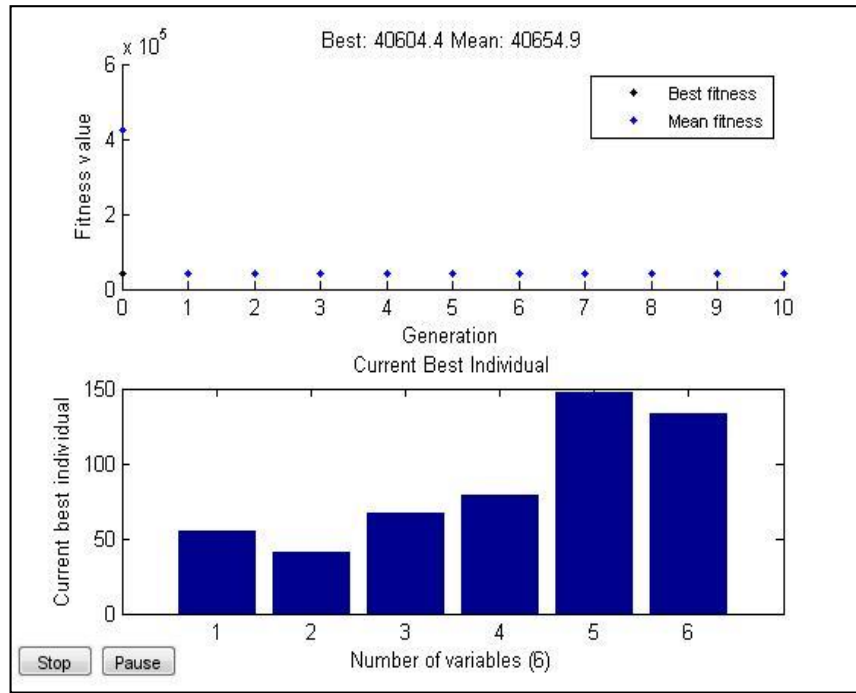
Sistemde iletim hattı kayıplarının dahil edildiği ve 500, 700 ve 900 MW yük durumları için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar Çizelge 6.18’de gösterildi.

**Çizelge 6.18.** Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonuçları

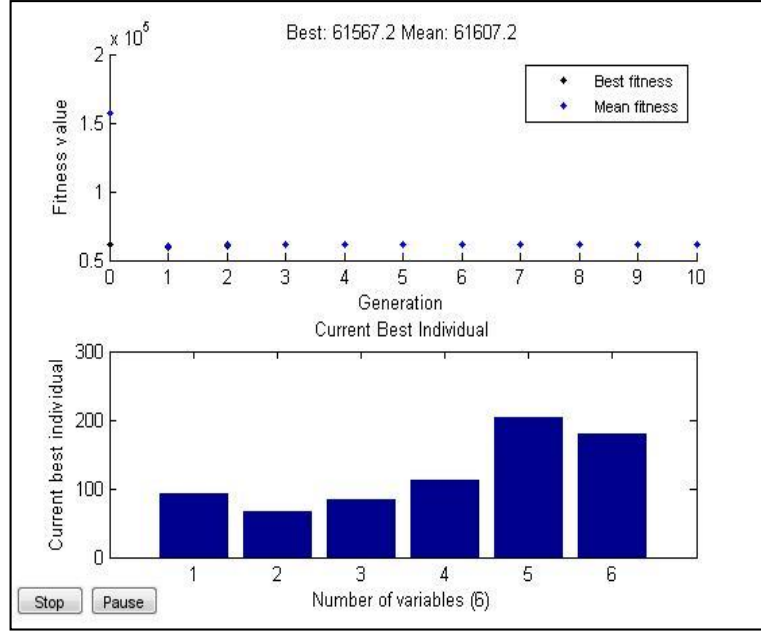
Birim (MW)	Talep (MW)		
	500	700	900
P1 (MW)	55.3071	93.4710	123.2889
P2 (MW)	40.1529	66.9713	116.2879
P3 (MW)	66.5698	82.9260	98.4371
P4 (MW)	80.2377	111.0801	134.9396
P5 (MW)	147.4310	204.1668	263.0380
P6 (MW)	132.9505	179.0884	228.3156
Toplam üretim (MW)	522.6490	738.7037	964.3011
Kayıplar (MW)	22.6491	38.7037	64.3011
Yakıt maliyeti (Rs/h)	28475	39025	51139
Emisyon çıkışı (kg/h)	277.4178	472.1334	764.2358

Genetik algoritma kullanılarak ve hatlardaki kayıplar dahil edilerek çözülen çevresel ekonomik güç dağıtım sonuçlarına göre; 500 MW yük durumuna iletim hattı kayıpları 22.6491 MW, yakıt maliyeti 28475 Rs/h, emisyon çıkışı 277.4178 kg/h, 700 MW yük durumunda iletim hattı kayıpları 38.7037 MW, yakıt maliyeti 39025 Rs/h, emisyon çıkışı 472.1334 kg/h, 900 MW yük durumunda iletim hattı kayıpları 64.3011 MW, yakıt maliyeti 51139 Rs/h, emisyon çıkışı 764.2358 kg/h olarak bulundu.

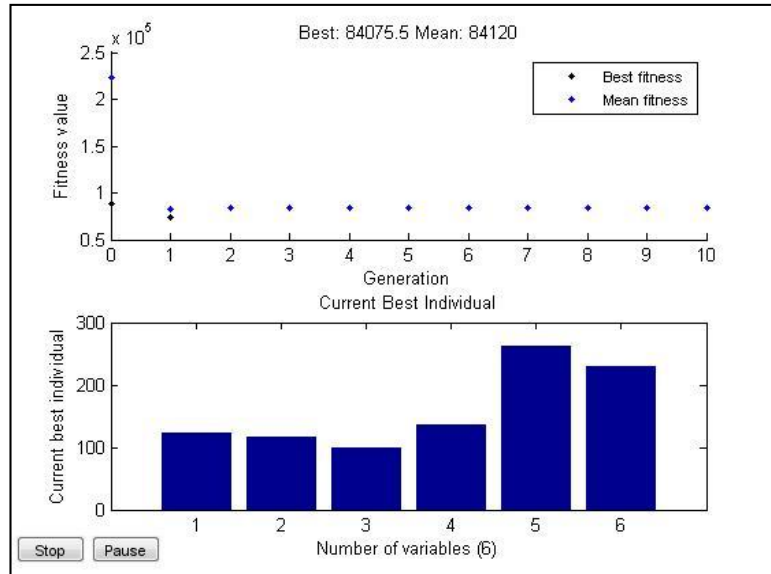
Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonucu her bir iterasyona karşılık gelen en iyi ve ortalama uygunluk değerlerini ve değişkenlerin en iyi uygunluk değerini aldığı noktanın koordinatları 500, 700, 900 MW yük durumları için sırasıyla Şekil 6.7, Şekil 6.8 ve Şekil 6.9'da gösterildi.



**Şekil 6.7.** Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonucu 500 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri



**Şekil 6.8.** Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonucu 700 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikler



**Şekil 6.9.** Genetik algoritma ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonucu 900 MW yük durumu için en iyi uygunluk değeri ve en iyi birey grafikleri

#### 6.2.4. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıpsız Çevresel Ekonomik Dağıtım

Çevresel ekonomik yük dağıtımını problemi MATLAB’da hazırlanan program yardımıyla Yapay Arı Kolonisi optimizasyon yöntemi kullanılarak çözüldü. Yapay arı kolonisi algoritması kontrol parametreleri olarak Çizelge 6.10’daki değerler kullanıldı. Sistemde iletim hattı kayıplarının ihmal edildiği ve 500, 700 ve 900 MW yük durumları için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar Çizelge 6.19’da gösterildi.

**Çizelge 6.19.** Yapay arı kolonisi ile kayıpsız çevresel ekonomik dağıtım sonuçları

Birim (MW)	Talep (MW)		
	500	700	900
P1 (MW)	30.9663	64.2736	81.7012
P2 (MW)	10.0732	72.5860	78.5976
P3 (MW)	89.7264	117.8066	154.5512
P4 (MW)	94.0041	93.8524	160.3463
P5 (MW)	130.0489	160.7638	234.1814
P6 (MW)	145.1785	190.7123	190.7659
Toplam üretim (MW)	499.9973	699.9947	900.1435
Yakıt maliyeti (Rs/h)	27113	36926	46552
Emisyon çıkışı (kg/h)	261.4958	424.9174	670.7550

Yapay arı kolonisi optimizasyon algoritması kullanılarak ve iletim hatlarındaki kayıplar ihmal edilerek çevresel ekonomik güç dağıtımını problemimiz çözüldüğünde; 500 MW yük durumu için yakıt maliyeti 27113 Rs/h, emisyon çıkışı 261.4958 kg/h, 700 MW yük durumu için yakıt maliyeti 36926 Rs/h, emisyon çıkışı 424.9174 kg/h, 900 MW yük durumu için yakıt maliyeti 46552 Rs/h, emisyon çıkışı 670.7550 kg/h olarak bulundu.



### 6.2.5. Yapay Arı Kolonisi ile Kayıplı Çevresel Ekonomik Dağıtım

Çevresel ekonomik yük dağıtımını problemi MATLAB’da hazırlanan program yardımıyla Yapay Arı Kolonisi Optimizasyon yöntemi kullanılarak çözüldü. Yapay arı kolonisi algoritması kontrol parametreleri olarak Çizelge 6.10’daki değerler kullanıldı. Sistemde iletim hattı kayıplarının dahil edildiği ve 500, 700 ve 900 MW yük durumları için ayrı ayrı elde edilen sonuçlar Çizelge 6.20’de gösterildi.

**Çizelge 6.20.** Yapay arı kolonisi ile kayıplı çevresel ekonomik dağıtım sonuçları

Birim (MW)	Talep (MW)		
	500	700	900
P1 (MW)	55.0800	95.0000	125.0000
P2 (MW)	37.4413	66.0000	96.4370
P3 (MW)	65.8217	81.9839	101.0206
P4 (MW)	83.5293	112.1805	138.7548
P5 (MW)	147.6928	203.0000	273.6493
P6 (MW)	133.4661	180.0000	226.0000
Toplam üretim (MW)	523.0313	738.1644	960.8617
Kayıplar (MW)	23.0300	38.1587	60.8636
Yakıt maliyeti (Rs/h)	28460	39022	50607
Emisyon çıkışı (kg/h)	277.6781	472.3681	766.7111

Çevresel ekonomik güç dağıtımını problemimiz yapay arı kolonisi optimizasyon algoritması kullanılarak ve iletim hattı kayıpları dahil edilerek çözüldüğünde, 500 MW yük durumu için iletim hattı kayıpları 23.0300 MW, yakıt maliyeti 28460 Rs/h, emisyon çıkışı 277.6781 kg/h, 700 MW yük durumu için iletim hattı kayıpları 38.1587 MW, yakıt maliyeti 39022 Rs/h, emisyon çıkışı 472.3681 kg/h, 900 MW yük durumu için iletim hattı kayıpları 60.8636 MW, yakıt maliyeti 50607 Rs/h, emisyon çıkışı 766.7111 kg/h olarak bulundu.

## 7. SONUÇLAR

Ekonomik yük dağıtım problemi, talep edilen yüke enerji sisteminin fiziksel limitlerine uygun olarak maliyeti minimize etme işleminden oluşur. Ekonomik yük dağıtımında belirli aralıklarda optimal şekilde yükü karşılayabilmek için her üretim birimine düşen gücün belirlenmesi gerekir. Bu tezde yapılan çalışmalarda, güç sistemindeki jeneratörlerin minimum maliyeti elde edecek şekilde işletilmesi için maliyet fonksiyonunun optimizasyonu yapıldı. Ekonomik dağıtım ile birlikte, günümüzde fosil yakıtlı santrallerin yol açtığı çevre kirliliğinin de göz önünde bulundurulması kaçınılmaz bir hal almıştır. Çevrenin temiz tutulabilmesi için üretim birimleri tarafından üretilen emisyon miktarı azaltılmalıdır. Bu yüzden bu tez çalışmasında hem daha ekonomik hem de daha az emisyon gazı üreten güç üretiminin yapıldığı, çevresel ekonomik yük dağıtım problemi yapıldı.

Ekonomik yük dağıtım probleminde, Türkiye’de bulunan 380 kV’luk, 8 jeneratörden oluşan, 22 baralı güç sistemi kullanıldı. İletim hattı kayıpları hem ihmal hem dahil edilerek, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması ile çözümler yapıldı. Çevresel ekonomik güç dağıtım probleminde ise, 6 jeneratörlü test sistemi kullanıldı. Bu problemin çözümünde de, iletim hattı kayıpları hem ihmal hem dahil edilerek, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritmaları kullanıldı. Elde edilen sonuçlar, literatürde bu sistemlere uygulanan çalışmalarla karşılaştırıldı.

### 7.1. Ekonomik Yük Dağıtım Sonuçları

Ekonomik yük dağıtım problemini, 8 jeneratörlü, 22 baralı güç sistemine, iletim hattı kayıplarını ihmal ederek, Genetik Algoritma kullanarak 4000 MW yük durumu için uyguladığımızda toplam maliyet 80530 \$ olarak bulundu. [9] numaralı çalışmada, sistemde kayıpların olmadığı durumda, santrallerin ekonomik olarak yüklenmesi için ikinci dereceden gradient yöntemini uygulayan program yazılmış ve santrallerin ekonomik olarak yüklenmesi sonucu, toplam üretim maliyeti 80533 \$

bulunmuştur. Genetik Algoritma ile bulunan sonuçlar, diğer çalışma ile kıyaslandığında, sistemin toplam maliyetinin 3 \$ azaldığı görüldü. Rakamın küçük olması sistemin küçük olmasındandır. Sistem büyüklüğü arttığında ve sürekli çalışan sistem düşünüldüğünde rakam büyüyecektir.

Ekonomik yük dağıtımını problemini, 8 jeneratörlü 22 baralı güç sistemine, iletim hattı kayıplarını dahil ederek, Genetik Algoritma kullanarak 4000 MW yük durumu için uyguladığımızda toplam maliyet 81252 \$, iletim hattı kayıpları ise 36.9658 MW olarak bulundu. Diğer çalışmada ise, iletim kayıpları göz önüne alındığında, toplam maliyet 83324 \$, hatlardaki toplam kayıp ise 123.3359 MW olarak bulunmuştur [9]. Sonuçlar kıyaslandığında maliyette 2072 \$, iletim hattı kaybında ise 86.3701 MW kadar azalma gözlemlendi.

Ekonomik yük dağıtımını problemini, 8 jeneratörlü, 22 baralı güç sistemine iletim hattı kayıplarını ihmal ederek, Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması kullanarak 4000 MW yük durumu için uyguladığımızda toplam maliyet 80530 \$ olarak hesaplandı. Genetik Algoritma ile çözüldüğünde elde edilen sonuçlara hemen hemen benzer sonuçlar elde edildi ve yine diğer çalışmadan daha iyi sonuç verdi.

Ekonomik yük dağıtımını problemini, 8 jeneratörlü, 22 baralı güç sistemine iletim hattı kayıplarını dahil ederek, Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması kullanarak 4000 MW yük durumu için uyguladığımızda toplam maliyet 81840 \$, iletim hattı kayıpları ise 46.6784 MW olarak hesaplandı. Yapay Arı Kolonisi algoritması ile bulunan sonuçlar, [9] numaralı çalışmanın sonuçları ile kıyaslandığında maliyette 1484 \$, iletim hattı kaybında ise 76.6575 MW kadar azalma gözlemlendi.

Çizelge 7.1’de ekonomik yük dağıtımını probleminin, 22 baralı sistemde iletim hattı kayıpları ihmal ve dahil edilerek elde edilen sonuçları, 3 farklı yöntem için gösterildi.

Sonuçları kıyasladığımızda ekonomik yük dağıtımını probleminde Genetik Algoritma ile elde edilen sonuçların daha iyi olduğu gözlemlendi.

**Çizelge 7.1.** Ekonomik yük dağıtım problemi için 22 baralı güç sisteminde iletim hattı kayıpları ihmal ve dahil edilerek elde edilen sonuçlar

	Genetik Algoritma		Yapay Arı Kolonisi		[9] numaralı çalışma	
	Kayıpsız	Kayıplı	Kayıpsız	Kayıplı	Kayıpsız	Kayıplı
Toplam maliyet (\$)	80530	81252	80530	81840	80533	83324
Kayıplar (MW)	-	36.9658	-	46.6784	-	123.3359

## 7.2. Çevresel Ekonomik Yük Dağıtım Sonuçları

Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi için, 6 jeneratörlü güç sistemine, iletim hattı kayıplarını ihmal ederek Genetik Algoritma kullanarak uyguladığımızda; 500 MW yük durumu için yakıt maliyeti 27187 Rs/h, emisyon çıkışı 257.4943 kg/h, 700 MW yük durumu için yakıt maliyeti 36640 Rs/h, emisyon çıkışı 422.7313 kg/h, 900 MW yük durumu için yakıt maliyeti 46714 Rs/h, emisyon çıkışı 658.6673 kg/h olarak bulundu.

Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi için, 6 jeneratörlü güç sistemine, iletim hattı kayıplarını ihmal ederek Yapay Arı Kolonisi optimizasyon algoritması kullanarak uyguladığımızda; 500 MW yük durumu için yakıt maliyeti 27113 Rs/h, emisyon çıkışı 261.4958 kg/h, 700 MW yük durumu için yakıt maliyeti 36926 Rs/h, emisyon çıkışı 424.9174 kg/h, 900 MW yük durumu için yakıt maliyeti 46552 Rs/h, emisyon çıkışı 670.7550 kg/h olarak bulundu.

Çizelge 7.2’de çevresel ekonomik yük dağıtım probleminin 6 jeneratörlü sistemde iletim hattı kayıpları ihmal edilerek Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi algoritması ile elde edilen sonuçlar gösterildi.

Sonuçları incelediğimizde, çevresel ekonomik yük dağıtım probleminin, 6 jeneratörlü test sistemi üzerinde çözümünde Genetik Algoritma metodunun kullanılması emisyon çıkışında daha fazla azalma sağlayıp, Yapay Arı Kolonisi algoritmasının sonuçlarına göre daha iyi sonuç verdi. Ancak, maliyetin bu durumda değişken olduğu da dikkati çekmelidir.

**Çizelge 7.2.** Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi, 6 jeneratörlü güç sistemi üzerinde, iletim hattı kayıpları ihmal edilerek, genetik algoritma ve yapay arı kolonisi algoritması ile elde edilen sonuçları

Yük (MW)	Yöntem	Yakıt maliyeti (Rs/h)	Emisyon çıkışı (kg/h)
500	Genetik Algoritma	27187	257.4943
	Yapay Arı Kolonisi	27113	261.4958
700	Genetik Algoritma	36640	422.7313
	Yapay Arı Kolonisi	36926	424.9174
900	Genetik Algoritma	46714	658.6673
	Yapay Arı Kolonisi	46552	670.7550

Sonuçları incelediğimizde, çevresel ekonomik yük dağıtım probleminin, 6 jeneratörlü test sistemi üzerinde çözümünde Genetik Algoritma metodunun kullanılması emisyon çıkışında daha fazla azalma sağlayıp, Yapay Arı Kolonisi algoritmasının sonuçlarına göre daha iyi sonuç verdi. Ancak, maliyetin bu durumda değişken olduğu da dikkati çekmelidir.

Çevresel ekonomik yük dağıtım problemini, 6 jeneratörlü güç sistemine, iletim hattı kayıplarını dahil ederek, Genetik Algoritma kullanarak uyguladığımızda; 500 MW yük durumu için yakıt maliyeti 28475 Rs/h, emisyon çıkışı 277.4178 kg/h, iletim hatlarındaki kayıp 22.6491 MW, 700 MW yük durumu için yakıt maliyeti 39025 Rs/h, emisyon çıkışı 472.1334 kg/h, iletim hatlarındaki kayıp 38.7037 MW, 900 MW yük durumu için yakıt maliyeti 51139 Rs/h, emisyon çıkışı 764.2358 kg/h, iletim hatlarındaki kayıp 64.3011 MW olarak bulundu.

Çevresel ekonomik yük dağıtım problemini, 6 jeneratörlü güç sistemine, iletim hattı kayıplarını dahil ederek, Yapay Arı kolonisi optimizasyon algoritmasını kullanarak uyguladığımızda; 500 MW yük durumu için yakıt maliyeti 28460 Rs/h, emisyon çıkışı 277.6781 kg/h, iletim hatlarındaki kayıp 23.0300 MW, 700 MW yük durumu için yakıt maliyeti 39022 Rs/h, emisyon çıkışı 472.3681 kg/h, iletim hatlarındaki kayıp 38.1587 MW, 900 MW yük durumu için yakıt maliyeti 50607 Rs/h, emisyon çıkışı 766.7111 kg/h, iletim hatlarındaki kayıp 60.8636 MW olarak bulundu.

Çizelge 7.3’de, çevresel ekonomik yük dağıtım problemi için 6 jeneratörlü sistemde, iletim hattı kayıpları dahil edilerek, Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi algoritması ile elde edilen sonuçlar gösterildi.

**Çizelge 7.3.** Çevresel ekonomik yük dağıtım probleminin, 6 jeneratörlü güç sistemi üzerinde iletim hattı kayıpları dahil edilerek, genetik algoritma ve yapay arı kolonisi algoritması ile elde edilen sonuçları

Yük (MW)	Yöntem	Yakıt maliyeti (Rs/h)	Emisyon çıkışı (kg/h)	Hatlardaki kayıp (MW)
500	Genetik Algoritma	28475	277.4178	22.6491
	Yapay Arı Kolonisi	28460	277.6781	23.0300
700	Genetik Algoritma	39025	472.1334	38.7037
	Yapay Arı Kolonisi	39022	472.3681	38.1587
900	Genetik Algoritma	51139	764.2358	64.3011
	Yapay Arı Kolonisi	50607	766.7111	60.8636

Çizelgeye göre Genetik Algoritmanın emisyon açısından Yapay Arı Kolonisi algoritmasından daha iyi olduğu ancak maliyetin değişken olduğu söylenebilir.

6 jeneratörlü güç sistemi üzerinde uygulanan çevresel ekonomik yük dağıtım probleminin, literatürdeki diğer çalışmalarla elde edilen sonuçları da karşılaştırmalı olarak Çizelge 7.4’de verildi. [47] numaralı çalışmada Newton-Raphson (NR) metodu, [48] numaralı çalışmada Bulanık Mantık Kontrollü Genetik Algoritma (Fuzzy Logic Controlled Genetic Algorithm-FCGA) yöntemi, [49] numaralı çalışmada Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) yöntemi, [50] numaralı çalışmada Biogeography-based optimization (BBO) yöntemi kullanılmıştır.

**Çizelge 7.4.** Çevresel ekonomik yük dağıtım problemi için, 6 jeneratörlü güç sistemi üzerinde iletim hattı kayıpları dahil edilerek, literatürdeki diğer çalışmalarda elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılması

Yük (MW)	Yöntem	Yakıt maliyeti (Rs/h)	Emisyon çıkışı (kg/h)	Hatlardaki kayıp (MW)
500	Genetik Algoritma	28475	277.4178	22.6491
	Yapay Arı Kolonisi	28460	277.6781	23.0300
	NR [47]	28550.15	312.513	17.162
	FCGA [48]	28231.06	304.90	17.41
	NSGA-II [49]	28291.119	284.362	20.508
	BBO [50]	28318.5060	279.3092	22.1073
700	Genetik Algoritma	39025	472.1334	38.7037
	Yapay Arı Kolonisi	39022	472.3681	38.1587
	NR [47]	39070.74	528.447	34.927
	FCGA [48]	38408.82	527.46	32.85
	NSGA-II [49]	38671.813	484.931	36.234
	BBO [50]	38828.266	476.408	39.262
900	Genetik Algoritma	51139	764.2358	64.3011
	Yapay Arı Kolonisi	50607	766.7111	60.8636
	NR [47]	50807.24	864.060	54.498
	FCGA [48]	49674.28	850.29	54.92
	NSGA-II [49]	50126.059	784.696	57.405
	BBO [50]	50297.271	765.087	57.400

Çizelgeye göre, bu tez çalışması boyunca güç sistemleri için önerilen Genetik Algoritma ve Yapay Arı Kolonisi algoritmalarının çevresel ekonomik yük dağıtım probleminde kullanılan Newton-Raphson, Bulanık Mantık Kontrollü Genetik Algoritma, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm, Biogeography-based optimization metotlarından daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Ancak çevresel etmenlerin düşürülmesinin maliyetinin de olduğu yine çalışmada görülmektedir. Dolayısıyla güç sistemlerinde ekonomik yük dağıtımının neden çevresel ekonomik yük dağıtımına dönüştüğü de daha açık görülecektir.

Bu tez çalışmasının sonuçlarına göre, ileride gelişmiş ülkeler arasına girmek isteyen ülkemizin, yaklaşık 70000 MW kurulu gücünü, yine yaklaşık 40000 MW anlık tepe değerinde, hem ekonomik hem de çevreci kullanması için paylaşımların doğru ve bilimsel yapılmasının gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Bu durum ekonomimize ciddi katkılar sağlarken, çevreyi de yaşanabilir kılacaktır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda, algoritmaların birleştirilerek kullanılması ile hem maliyet hem de emisyon etkin algoritmalar elde edilebileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- [1] Anonim, Polat Enerji, [http://www.polatenerji.com/b\\_enerjisektoru.php](http://www.polatenerji.com/b_enerjisektoru.php), (Erişim Tarihi: 19.08.2015).
- [2] Anonim, Trkasya Stratejik Araştırmalar Merkezi (TASAM), Enerji retimi ve evresel Etkileri Strateji Rapor, Nisan 2006. [http://www.tasam.org/files/pdf/raporlar/enerji\\_uretimi\\_ve\\_cevresel\\_etkileri\\_\\_cf9b7fbe-48ad-4126-9ee1-f4e93eb1202f.pdf](http://www.tasam.org/files/pdf/raporlar/enerji_uretimi_ve_cevresel_etkileri__cf9b7fbe-48ad-4126-9ee1-f4e93eb1202f.pdf), (Erişim Tarihi: 19.08.2015).
- [3] Anonim, Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Temiz-Enerji>, (Erişim Tarihi: 17.08.2015).
- [4] Anonim, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Nkleer\\_enerji](https://tr.wikipedia.org/wiki/Nkleer_enerji), (Erişim tarihi: 17.08.2015).
- [5] Anonim, Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Nukleer-Enerji>, (Erişim Tarihi: 17.08.2015).
- [6] Anonim, [https://tr.wikipedia.org/wiki/Gelgit\\_enerjisi](https://tr.wikipedia.org/wiki/Gelgit_enerjisi), (Erişim tarihi: 17.08.2015).
- [7] Anonim, EDAM (Ekonomi ve Dış Politika Araştırmalar Merkezi) Raporu, Nükleer Enerjiye Geçişte Türkiye Modeli-II, <http://www.edam.org.tr/IcerikFiles?id=8>, (Erişim tarihi: 17.08.2015).
- [8] Anonim, Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, <http://www.eigm.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Elektrik-Uretiminden-Kaynaklanan-Emisyon-Raporlari>, (Erişim Tarihi: 17.08.2015).

- [9] Ü. Başaran, Türkiye'deki 380 kV'luk Enterkonnekte Güç Sisteminde Çeşitli Güç Akışı ve Ekonomik Dağıtım Analizleri. Yüksek Lisans Tezi. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, Ağustos 2004.
- [10] Tosun S., Öztürk A., Erdoğan P., Biçen Y., Hasırcı U., Elektrik Güç Sisteminde Optimal Yakıt Maliyetinin Benzetim Tavlama (BT) Algoritması İle Belirlenmesi. 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 13-15 Mayıs 2009, Karabük, Türkiye.
- [11] S. Özyön, Genetik Algoritmanın Bazı Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması. Yüksek Lisans Tezi. Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya, Temmuz 2009.
- [12] C. Demir, Pompayla Doldurulmalı Hidrolik Birim İçeren Elektrik Enerji Sisteminde Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Probleminin Genetik Algoritma İle Çözümü. Yüksek Lisans Tezi. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Eskişehir, Eylül 2010.
- [13] Özyön S., Yaşar C., Temurtaş H., Parçacık Sürü Optimizasyon Algoritmasının Termik Birimlerden Oluşan Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması. 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), Elazığ, Turkey, 16-18 May 2011.
- [14] Basu M., Economic environmental dispatch using multi-objective differential evolution. Applied Soft Computing 11, 2845-2853, 2011.
- [15] E. Çetin, Rüzgar Enerjisi Dahil Olan Güç Sistemlerinde Ekonomik Yük Dağıtım Probleminin Çözümü. Yüksek Lisans Tezi. Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Aralık 2011.
- [16] Özyön S., Yaşar C., Temurtaş H., Harmoni Arama Algoritmasının Çevresel Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerine Uygulanması. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 26(2), ss. 65-76, Aralık 2011.

- [17] Yang X., Hosseini S. S. S., Gandomi A. H., Firefly Algorithm for solving non-convex economic dispatch problems with valve loading effect. *Applied Soft Computing* 12,1180-1186, 2012.
- [18] Özyön S., Yaşar C., Temurtaş H., Valf Nokta Etkili Konveks Olmayan Ekonomik Güç Dağıtım Problemlerinin Harmoni Arama Algoritmasıyla Çözümü. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*. Sayı 28, ISSN-1302-3055, Ağustos 2012.
- [19] Zhang R., Zhou J., Mo L., Ouyang S., Liao X., Economic environmental dispatch using an enhanced multi-objective cultural algorithm. *Electric Power Systems Research* 99 (2013) 18-29.
- [20] Özyön S., Yaşar C., Temurtaş H., Özcan G., Diferansiyel Gelişim Algoritmasının Yasak İşletim Bölgesi Ekonomik Güç Dağıtım Problemine Uygulanması. *Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 29(1):61-69, Ocak 2013.
- [21] Basu M., Artificial bee colony optimization for multi-area economic dispatch. *Electrical Power and Energy Systems* 49, 181-187, 2013.
- [22] Slimani L., Bouktir T., Economic power dispatch of power systems with pollution control using artificial bee colony optimization. *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, 21: 1515-1527, 2013.
- [23] Kaur A., Singh H. P., Bhardwaj A., Analysis of Economic Load Dispatch Using Genetic Algorithm. *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management (IJAIEM)*, Volume 3, Issue 3, ISSN 2319-4847, March 2014.

- [24] Sahu G., Swarnkar K., Economic Load Dispatch by Genetic Algorithm in Power System. International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR), Volume 3, Issue 8, August 2014.
- [25] Elattar E. E., A hybrid genetic algorithm and bacterial foraging for dynamic economic dispatch problem. Electrical Power and Energy Systems 69, 18-26, 2015.
- [26] Wood A. J., Wollenberg B. F., Power Generation Operation and Control, A wiley interscience publication, USA, 1996.
- [27] M. Esen, Bulanık Mantık Destekli Güç Akış Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2006.
- [28] Saadat H., Power Systems Analysis, McGraw Hill, Boston, 1999.
- [29] Kurban M., Başaran Ü., Türkiye'deki 380 kV'luk Güç Sisteminde Ekonomik Yükleme Analizi. Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı, İstanbul, 2005.
- [30] Mandal K. K., Mandal S., Bhattacharya B., Chakraborty N., Non-convex emission constrained economic dispatch using a new self-adaptive particle swarm optimization technique. Applied Soft Computing 28, 188-195, 2015.
- [31] Kulkarni P. S., Kothari A. G., Kothari D. P., Combined economic and emission dispatch using improved backpropagation neural network. Electr. Power Compon. Syst. 28, 31-44, 2000.
- [32] Holland J.H., Adaptation in Natural and Artificial System. The University of Michigan Press, Ann Arbor, 345 p, 1975.
- [33] Goldberg, D. E., Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning. Addison-Wesley Publishing Company, Inc., 412 p., 1989.

- [34] Karaboğa, D., Yapay Zeka Optimizasyon Algoritmaları, Nobel Yayın Dağıtım, ISBN: 975-6574-37-2, 2004.
- [35] Yeniay Ö., An Overview of Genetic Algorithms. Anadolu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, Cilt: 2, Sayı: 1, s. 37-49, 2001.
- [36] Emel G. G., Taşkın Ç., Genetik Algoritmalar ve Uygulama Alanları. Uludağ Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, Cilt XXI, Sayı 1, s. 129-152, 2002.
- [37] Öztürk A., Duman S., Genetik Algoritma Kullanarak Güç Sistemlerinde Optimal Çalışma Şartlarının Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi, vol.24, no.3, s:539-548, 2009.
- [38] N. Sarma, Genetik Algoritma Yardımıyla Güç Akışı. Yüksek Lisans Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, Nisan 2012.
- [39] A. Öztürk, Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Genetik Algoritma ile İncelenmesi. Doktora Tezi. Sakarya Üniversitesi, Sakarya, 2007.
- [40] R. Bilir, Genetik Algoritma ile Rüzgar Tribünü Rotor Hız Kontrol PI Parametrelerinin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Düzce Üniversitesi, Düzce, Ocak 2012.
- [41] İşçi Ö., Korukoğlu S., Genetik Algoritma Yaklaşımı ve Yöneylem Araştırmasında Bir Uygulama. Yönetim ve Ekonomi, Cilt 10, Sayı 2, Celal Bayar Üniversitesi İ.İ.B.F, Manisa, 2003.
- [42] Tereshko V., Reaction-Diffusion Model of a Honeybee Colony's Foraging Behaviour. PPSN VI: 6th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature, 807-816, Springer Verlag, London, UK., 2000.

- [43] A. A. Şeker, Dağıtım Sistemlerine Yapay Arı Kolonisi Algoritması ile Yerel Elektrik Santrallerinin Yerleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi. Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze, 2013.
- [44] B. Akay, Nümerik Optimizasyon Problemlerinde Yapay Arı Kolonisi (Artificial Bee Colony) Algoritmasının Performans Analizi. Doktora Tezi. Erciyes Üniversitesi, Kayseri, Kasım 2009.
- [45] Özdemir M., <http://www.muhtisozdemir.com/blog/yapay-ari-kolonisi-algoritmasi/>, (Erişim tarihi: 16 Haziran 2015).
- [46] Yamaçlı V., Abacı K., Güç sistemlerinde aktif güç kaybının optimizasyonu. Eleco 2014 Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği Sempozyumu, 27-29 Kasım 2014, Bursa.
- [47] Dhillon J. S., Parti S. C., Kothari D. P., Stochastic economic emission load dispatch. Electric Power Systems Research, 26, 179-186, 1993.
- [48] Song Y. H., Wang G. S., Wang P. Y., Johns A. T., Environmental/economic dispatch using fuzzy logic controlled genetic algorithms. IEE Proc.-Gener. Transm. Distrib., Vol. 144, No. 4, July 1997.
- [49] Rughooputh H. C. S., Ah King R. T. F., Environmental/Economic Dispatch of Thermal Units using an Elitist Multiobjective Evolutionary Algorithm. ICIT Maribor, Slovenia, IEEE conference, pp 48-53, 2003.
- [50] Roy P. K., Ghoshal S. P., Thakur S. S., Combined economic and emission dispatch problems using biogeography-based optimization. Elect Eng, 92:173-184, 2010.