

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIK GÜÇ SİSTEMLERİNİN UYGUN BAĞLANTI NOKTASI VE
İŞLETME KOŞULLARININ YAPAY SİNİR AĞI TABANLI BİR YÖNTEM İLE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Alperen ÇALIŞIR

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

ŞUBAT 2021

BURSA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ❖ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIK GÜÇ SİSTEMLERİNİN UYGUN BAĞLANTI NOKTASI VE
İŞLETME KOŞULLARININ YAPAY SİNİR AĞI TABANLI BİR YÖNTEM İLE
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Alperen ÇALIŞIR
(171082311)
ORCID:0000-0002-1449-1555**

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

**Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK
ORCID: 0000-0002-5136-0829**

ŞUBAT 2021

BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 171082311 numaralı Yüksek Lisans öğrencisi Alperen ÇALIŞIR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "Dağıtık Güç Sistemlerinin Uygun Bağlantı Noktası ve İşletme Koşullarının Yapay Sinir Ağı Tabanlı Bir Yöntem İle Belirlenmesi" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Gürsu TEKDEMİR**
Bursa Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Recep ÇAKMAK**
Gümüşhane Üniversitesi

Teslim Tarihi :
Savunma Tarihi : 19.02.2021



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, Bursa Teknik Üniversitesi’nin aboneliği olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Fen Bilimleri Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

İNTİHAL BEYANI

Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde kaynak göstererek belgelediğimi, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ederim.

Öğrencinin Adı Soyadı: Alperen ÇALIŞIR

İmzası :

X X X X



Aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca desteklerini esirgemeyen başta Dr. Öğr. Üyesi Gökay BAYRAK ve Arş. Gör. Alper YILMAZ olmak üzere tüm hocalarıma teşekkür ederim.

Beni her zaman destekleyen aileme, mesleki gelişimimde katkıları bulunan Türkiye Elektrik İletim A.Ş. bünyesindeki çalışma arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Şubat 2021

Alperen ÇALIŞIR
(Elektrik-Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
KISALTMALAR	viii
SEMBOLLER	ix
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xii
ÖZET.....	xiii
SUMMARY	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	4
1.2 Tezin Özgün Değeri	5
1.3 Literatür Araştırması	7
1.3.1 Geleneksel güç akış yöntemlerini kullanan çalışmalar	7
1.3.2 Optimizasyon yöntemlerini kullanan çalışmalar.....	8
1.3.3 Akıllı yöntemleri kullanan çalışmalar.....	10
2. DAĞITIK GÜÇ SİSTEMLERİNİN MEVCUT ŞEBEKEYE BAĞLANTISI 12	12
2.1 Dağıtık Güç Sistemleri	12
2.1.1 Rüzgar enerjisi santralleri	12
2.1.2 Hidroelektrik santraller	14
2.1.2 Jeotermal enerji santralleri	14
2.1.1 Biyokütle enerjisi santralleri	15
2.1.1 Güneş enerjisi santralleri.....	15
2.2 Dağıtık Güç Sistemlerinin Enterkonnekte Şebekelerde Oluşturacağı Elektriksel Etkiler.....	16
2.3 Dağıtık Güç Sistemlerinin Enerji Maliyetlerine Etkileri.....	16
2.4 Dağıtık Güç Sistemlerinin Optimizasyonu	17
2.5 İletim Sistemi Planlaması.....	18
2.6 İletim Sistemi Altyapısı.....	21
2.7 İletim Sistemlerinin İşletilmesi ve Kontrolü	21
2.8 Doğrusal Programlama.....	23
3. SİSTEM MODELLEMESİ VE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI	26
3.1 Güç Akışı Parametreleri Değerlendirme (GAPD) Yöntemi ile DGS Bağlantı Noktasının Tespiti	27
3.2 Bursa İlinin Türkiye İletim Sistemi İçerisindeki Konumu.....	29
3.3 Bursa İli İletim Sisteminin Modellenmesi	30
3.4 Optimal Güç Akış Analizleri.....	34
3.4.1 Simülasyon kriterleri.....	35
3.4.2 Optimal güç akış (OGA) sonuçları	36
4. DGS'LERİN BAĞLANTI NOKTALARI VE İŞLETME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ.....	41

4.1 DGS'lerin Bağlantı Noktalarının Önerilen GAPD Yöntemi ile Tespiti	41
4.2 DGS Üretim Kapasitelerinin Belirlenmesi.....	45
4.3 Önerilen YSA Modeli	49
4.3.1 Yapay sinir ağı kavramı	50
4.3.2 Yapay sinir ağları	51
4.3.3 Ölçekli eşlenik gradyan iniş (ÖEGİ) algoritması.....	54
4.3.4 Önerilen ÖEGİ-tabanlı çok katmanlı YSA modelinin oluşturulması	55
4.4 YSA-tabanlı GAPD Yöntemi ile DGS'lerin İşletme Koşullarının Belirlenmesi	56
4.4.1 Verilerin elde edilmesi	56
4.4.2 Önerilen YSA modelinin parametreleri	60
4.4.3 YSA-tabanlı GAPD yöntemi uygulama sonuçları	61
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	66
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ.....	73



KISALTMALAR

AA	: Alternatif Akım
BES	: Biyokütle Enerji Santrali
ÇBAG	: Çift Beslemeli Asenkron Generatör
DA	: Doğru Akım
DGKÇS	: Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali
DGS	: Dağıtık Güç Sistemi
DP	: Doğrusal Programlama
GA	: Genetik Algoritma
GAPD	: Güç Akışı Parametreleri Değerlendirme
GES	: Güneş Enerjisi Santrali
HES	: Hidroelektrik Enerji Santrali
IEEE	: Elektrik-Elektronik Mühendisliği Enstitüsü (The Institute of Electrical and Electronic Engineers)
JES	: Jeotermal Enerji Santrali
OBN	: Ortak Bağlantı Noktası
OGA	: Optimal Güç Akışı
ÖEGİ	: Ölçekli Eşlenik Gradyan İniş
FV	: Fotovoltaik
RES	: Rüzgâr Enerjisi Santrali
SMSG	: Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
TES	: Termik Santral
TM	: Transformatör Merkezi
YSA	: Yapay Sinir Ağı

SEMBOLLER

a_k	: Adım boyutu
c^T	: Maliyet fonksiyonu
g_i	: Hedef çıkış
r_i	: Değişim değeri
v_{ij}	: Çıkış katmanı ağırlık değeri
w_{ij}	: Ağırlık katsayıları
x_i	: Giriş değeri
y_i	: Çıkış değeri
y_{pq}	: Döndürme elementi
y_{t-1}	: Çıkışın geçmiş değeri
β_k	: ÖEGİ faktörü
Hz	: Frekans
MCM	: İletken kesit ölçüsü
pu	: Birim değer
b	: Doğrusal eşitlik kısıtı
b	: Eşik değer
g	: Gradyan
p	: Arama yönü
x	: Doğrusal programlama değişkeni

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Bursa iletim sistemine bağlı üretim tesisleri..	32
Çizelge 3.2 : Bursa iletim sistemine bağlı transformatör merkezleri.....	32
Çizelge 3.3 : Bursa iletim sisteminde bulunan iletim hatları.....	33
Çizelge 3.4 : Güç akış analizi yapılan durumlar	34
Çizelge 4.1 : Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda Karacabey TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	42
Çizelge 4.2 : Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda Akçalar TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	42
Çizelge 4.3 : Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda Görükle TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	42
Çizelge 4.4 : Senaryo 2'nin gerçekleşmesi durumunda Bosen TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	43
Çizelge 4.5 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Bosen TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	44
Çizelge 4.6 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Bursa Sanayi TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	44
Çizelge 4.7 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Görükle TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	44
Çizelge 4.8 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Bursa GIS TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	44
Çizelge 4.9 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Beşevler TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.....	44
Çizelge 4.10 : Farklı sistem koşullarında gerçekleştirilen arıza senaryolarından alınan güç akış verileri örnek sayıları.....	57
Çizelge 4.11 : Veri seti içeriği	57
Çizelge 4.12 : Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %0).....	57
Çizelge 4.13 : Senaryo 2'nin gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %0).....	58
Çizelge 4.14 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %0).....	58
Çizelge 4.15 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %20).....	58
Çizelge 4.16 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %50).....	58
Çizelge 4.17 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %80).....	58
Çizelge 4.18 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %100)...	58
Çizelge 4.19 : Çıkış verilerinin sınıflandırılmaları ve ağa sunulan örnek sayıları.....	59
Çizelge 4.20 : Eğitim verisindeki değişime göre doğruluk performansı-I.....	62

Çizelge 4.21 :Eğitim verisindeki değişime göre doğruluk performansı-II	63
Çizelge 4.22 : Eğitim verisindeki değişime göre doğruluk performansı-III.....	64



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çift Beslemeli Asenkron Generatör modeli	13
Şekil 2.2 : DGS optimizasyon kriterleri	18
Şekil 2.3 : Ülkemiz kurulu gücünün yıllar itibariyle değişimi	19
Şekil 2.4 : Ülkemiz ani puantının yıllar itibariyle değişimi.....	19
Şekil 2.5 : 2019 yılı Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı	20
Şekil 2.6 : 2019 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.	20
Şekil 2.7 : Ülkemiz iletim sistemi transformatör güçlerinin yıllara göre değişimi ...	21
Şekil 2.8 : Ülkemiz iletim hattı uzunluklarının yıllar itibariyle gelişimi.....	22
Şekil 3.1 : Önerilen yöntemle ait genel akış diyagramı.....	27
Şekil 3.2 : GAPD yöntemi ile DGS bağlantı noktası tespitine ait akış diyagramı	29
Şekil 3.3 : Powerworld Simulator programı ile modellenen Bursa iletim sistemi	31
Şekil 3.4 : Yenilenebilir enerji üretiminin olmadığı durumda Senaryo 1'in gerçekleşmesi	37
Şekil 3.5 : Tam kapasite yenilenebilir enerji üretimi durumunda Senaryo 1'in gerçekleşmesi	38
Şekil 3.6 : Senaryo 2'nin gerçekleşmesi.....	39
Şekil 3.7 : Yenilenebilir enerji üretimi yapılamadığı durumda Senaryo 3'ün gerçekleşmesi.....	40
Şekil 3.8 : Tam kapasite yenilenebilir enerji üretimi durumunda Senaryo 3'ün gerçekleşmesi	40
Şekil 4.1 : Senaryo 1'de DGS'lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu	45
Şekil 4.2 : Senaryo 2'de DGS'lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu	46
Şekil 4.3 : Senaryo 3'te (%0 RES/HES) DGS'lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu	46
Şekil 4.4 : Senaryo 3'te (%100 RES/HES) DGS'lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu	47
Şekil 4.5 : Arızasız durumda (%0 RES/HES) DGS'lerin tam kapasite çalışması halinde sistemin durumu	48
Şekil 4.6 : Arızasız durumda (%100 RES/HES) DGS'lerin tam kapasite çalışması halinde sistemin durumu	48
Şekil 4.7 : Yapay sinir ağı (nöron) yapısı	51
Şekil 4.8 : Çok katmanlı YSA modeli	52
Şekil 4.9 : ÖEGİ algoritması ile çok katmanlı ağ modeli geliştirme metodolojisi....	55
Şekil 4.10 : Veri setinin oluşturulmasına ilişkin akış diyagramı	60
Şekil 4.11 : Önerilen YSA modeli	60
Şekil 4.12 : Hata matrisi-I.....	62
Şekil 4.13 : Doğrulama performansının iterasyonlarla değişimi-I	63
Şekil 4.14 : Doğrulama performansının iterasyonlarla değişimi-II.....	64
Şekil 4.15 : Hata matrisi-III	65
Şekil 4.16 : Doğrulama performansının iterasyonlarla değişimi-III.....	65

DAĞITIK GÜÇ SİSTEMLERİNİN UYGUN BAĞLANTI NOKTASI VE İŞLETME KOŞULLARININ YAPAY SİNİR AĞI TABANLI BİR YÖNTEM İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Aşırı yük talebi veya arıza durumunda, güç sisteminde kısıtlar meydana gelir. Bu durumda, hızlı ve doğru kararlar vererek sistemi dengede tutmak ve aynı zamanda ekonomik dağıtımını sağlamak zorlaşmaktadır. Dağıtık güç sistemi (DGS), günümüz güç sistemlerinde olduğu gibi tüketim talebinin uzak ve büyük santrallerden karşılanması yerine, tüketim bölgelerine yakın üretim kaynaklarınca karşılanmasını öngörmektedir. DGS yaklaşımı, ile mevcut şebekeye bağlanacak çok sayıda üretim kaynağı, güç sisteminin işletilmesinde gerekli olan üretim seçeneklerini arttırmakta, güç sistemini dengede tutmak ve enerji maliyetlerini en aza indirmek adına farklı stratejiler geliştirebilmesine olanak sağlamaktadır. DGS'lerin mevcut şebekeye bağlanmasına yönelik yapılan çalışmaların hedefinde, güç sistemine bağlanacak DGS'lerin yerinin ve boyutunun uygun şekilde belirlenmesi bulunmaktadır.

Tez çalışmasında, mevcut bir iletim sistemine bağlantısı yapılacak DGS'lerin elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının önerilen güç akış parametreleri değerlendirme (GAPD) yöntemi ile tespit edildiği ve işletme koşullarının yapay sinir ağı (YSA)-tabanlı bir yöntem ile belirlendiği iki aşamalı bir metod önerilmiştir. Bu amaca uygun olarak ilk aşamada, Bursa ili iletim şebekesi Powerworld Simulator programı ile modellenmiş ve modellenen sistemde farklı yük ve arıza koşullarında enerji talebinin karşılanmasına engel durumlar, doğrusal programlama (DP) yöntemine dayalı güç akış analizleri kullanılarak tespit edilmiştir. DGS'lerin bağlantı noktalarının tespiti için güç akış yönleri referans alınarak iletim kapasitesinin aşılmasına neden olan tüketim bölgeleri belirlenmiştir. Önerilen yöntem ile sisteme bağlantısı yapılacak DGS'lerin bu koşullar esnasında devreye girerek kapasitesi aşılan iletim hatları üzerindeki yükü azaltması hedeflenmiştir. İkinci aşamada, sisteme eklenen DGS'lerin devreye girmesi gereken koşulların tespiti için güç akış verileri önerilen YSA modeli ile değerlendirilmiştir. DGS'lerin tespit edilen noktalara bağlantısının yapılması ile beraber simülasyonu gerçekleştirilen tüm koşullarda hiçbir iletim hattının kapasitesi aşılmadan enerji talebinin karşılandığı tespit edilmiştir. DGS'lerin devreye girmesi gereken uygun işletme koşullarının ve uygun bağlantı noktalarının tespiti için geliştirilen YSA modeli, test setinde %96,8 doğrulukla DGS'lerin işletme pozisyonlarını tespit edebilmektedir. Bu doğrultuda, DGS'lerin arıza ve/veya aşırı yük koşullarında sistemi destekleyecek şekilde bağlantısının yapılması ve devreye girmesi gereken uygun bağlantı noktası ve işletme koşullarının hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesini hedefleyen bütünsel bir yaklaşım geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Dağıtık Güç Sistemleri, Yapay Sinir Ağları, Güç Sistemleri, Enerji Yönetimi

DETERMINATION OF THE APPROPRIATE CONNECTION POINT AND OPERATING CONDITIONS OF DISTRIBUTED POWER SYSTEMS WITH AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK-BASED METHOD

SUMMARY

In the event of overload demand or faults, constraints occur in the power system. In this case, it becomes difficult to keep the system in balance by making fast and correct decisions and at the same time to ensure economic distribution. The distributed generation system (DGS) stipulates that the consumption demand will be met by generation sources close to the consumption areas, instead of meeting the consumption demand from remote and large power plants as in today's power systems. With the DGS approach, a large number of generation sources to be connected to the existing grid increase the production options required in the operation of the power system, allowing it to develop different strategies to keep the power system in balance and to minimize energy costs. The aim of the studies for connecting the DGS to the existing network is to determine the location and size of the DGSs to be connected to the power system.

In this thesis, a two-stage method is proposed where the electrically appropriate connection point of the DGSs to be connected to an existing transmission system is determined by the proposed power flow parameters evaluation (PFPE) method and the operating conditions are determined by an artificial neural network (ANN) -based method. In accordance with this purpose, in the first stage, Bursa province transmission network was modeled with Powerworld Simulator program and the situations that prevent energy demand in different load and fault conditions in the modeled system were determined by using power flow analysis based on linear programming (DP) method. For the determination of the connection points of the DGS, the consumption regions that cause the transmission capacity to be exceeded have been determined by taking the power flow directions as reference. With the proposed method, DGSs to be connected to the system are aimed to be activated during these conditions and reduce the load on the transmission lines whose capacity is exceeded. In the second stage, power flow data were evaluated with the proposed ANN model in order to determine the conditions in which the DGS added to the system should be activated. With the connection of the DGS to the determined points, it was determined that the energy demand was met without exceeding the capacity of any transmission line under all simulated conditions. The ANN model developed to determine the appropriate operating conditions and suitable connection points that DGSs should be engaged in, can detect the operating positions of the DGS in the test set with 96.8% accuracy. In this direction, a holistic approach has been developed aiming to determine the appropriate connection point and operating conditions that should be connected and activated in a way to support the system in fault and / or overload conditions.

Keywords: Distributed Generation Systems, Artificial Neural Networks, Power Systems, Energy Management

1. GİRİŞ

Günümüz elektrik şebeke sistemleri, artan enerji talebine paralel olarak gelişen teknolojilerle birlikte hızlı ve büyük bir değişim geçirmektedir. Dünya’da şebekelerin tesis edildiği ilk yıllarda, enerji üretim santralleri ağırlıklı olarak fosil kaynaklı (kömür, doğalgaz vb.) olarak tesis edilmiş olup, tek yönlü güç akışına sahip olan bu sistemlerdeki enerji yönetimi de günümüze göre daha kolay bir şekilde gerçekleştirilmekteydi. Geleneksel üretim anlayışına sahip bu santraller yerleşim bölgelerine yakın olup, sadece bu bölgelerin enerji ihtiyacını karşılamak üzere devreye alınmaktaydı.

Nüfus artışı, ilerleyen teknoloji ve artan sanayileşme ile enerji talebi de hızla artmış, bu durum ülkeleri büyük güçlü santraller kurmaya ve ülke genelini kapsayan iletim sistemlerini tesis etmeye zorlamıştır. Tüketici tarafında hızla artan elektrik enerjisi talebi nedeniyle mevcut elektrik şebekesinin işletilmesi de giderek güç bir hale gelmeye başlamıştır. İlerleyen yıllarda fosil kaynakların oluşturduğu çevresel sorunlar ve iklim değişimi ile birlikte yüksek yakıt maliyetleri, ülkeleri ve yatırımcıları yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiş ve bu durum da elektrik şebekesinin değişim sürecini daha da hızlandırmıştır.

Her ne kadar yenilenebilir enerji kaynaklarının üretimdeki payı artmış olsa da günümüz iletim sisteminde enerji ihtiyacının büyük bir bölümü, ana tüketim merkezlerinden uzakta tesis edilen, büyük kurulu güce sahip santrallerden sağlanmaktadır. Bu durum santrallerde üretilen gücün büyük şehir merkezlerine iletimini gerektirmektedir. Bu durum gücün iletilmesi konusunda tesis ve işletme bakımından birtakım zorluklar ortaya çıkarmaktadır. Bu zorluklardan ilki ve belki de en önemlisi ise tesis maliyetidir. Önemli miktarlardaki gücün uzak bölgelere iletimi için daha büyük trafo merkezlerine (TM’lere), daha uzun ve yüksek güç taşıma kapasiteli iletim hatlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Diğer taraftan, büyük miktarlarda güç taşıyan uzun iletim hatları önemli güç kayıplarına neden olarak enerji maliyetlerini arttırmaktadır.

Yüklü iletim hatları ve TM'ler güç sistemi için çok kritik bir öneme sahiptir ve güç sistemi üzerinden yapılabilecek manevraları sınırlamaktadır. Zaten yüklü olan bu elemanların sistem üzerinde meydana gelebilecek arızalar sonucu daha fazla yüklenmesi ya da bu yüklü elemanlar üzerinde meydana gelebilecek arızalar sonucu yükün başka elemanlara aktarılması, sistemin kararlı çalışmasını ve arz güvenliğinin sağlanmasını oldukça zor bir hale getirmektedir. Bu durum ayrıca, tesis ve bakım işlemleri için gereken enerji kesintilerinin sağlanmasını geciktirerek sistemin devamlılığını sağlamayı da güçleştirmektedir. Enerji üretim şekillerindeki bu değişiklikler ve bunların mevcut şebekeye etkileri, gelişen teknoloji ile birlikte artan ve kesintisiz enerji talebi, şebekenin işletilmesinde yaşanan zorluklar, dağıtık güç sistemi (DGS) kavramını ortaya çıkarmıştır. Geçtiğimiz yıllarda pek çok farklı yönden ele alınarak tanımlamalar yapılmış olsa da DGS en genel hali ile doğrudan dağıtım şebekesine veya müşteri tarafına bağlı üretim kaynakları olarak tanımlanabilir [1].

Enerji ihtiyacının büyük oranda merkezi üretim birimlerinden karşılandığı günümüz güç sistemine DGS'lerin eklenmesi, mevcut şebeke üzerinde önemli değişiklikleri, olumlu ve olumsuz etkileri de beraberinde getirmektedir. DGS'lerin mevcut güç sistemindeki üretim payının artması, güç sistemi gerilim profilinde kararsız çalışma durumlarını ortaya çıkarabilmektedir. DGS'ler iki yönlü güç akışına sahip olduğundan, sistemin reaktif güç dengesinde bozulmalar meydana gelebilmektedir. Çift yönlü güç akışları, kısa devreler ve aşırı yükler gibi durumlar, şebekedeki koruma sistemlerinin koordinasyonunu ise zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, DGS'nin şebeke ile bağlantısının istemsiz şekilde kopması sonucunda 'istenmeyen ada mod' (unintentional islanding/blackout) çalışma durumu meydana gelebilmektedir. Bu durum şebeke işletimi için önemli bir tehlike oluşturmaktadır [2].

Gücün üretildiği yerde tüketilmesi prensibine dayanan dağıtık üretim yaklaşımı, şebeke entegrasyonunun ve işletme planlamasının iyi yapılması halinde, güç sistemine önemli katkılar sağlayabilir. DGS'ler, iletim sisteminin üzerindeki yükü azaltarak sistem kayıplarını azaltır ve bara gerilimlerinin düzenlenmesine yardımcı olarak sistemin kararlılığını ve güç kalitesini artırır. DGS'ler, enerji talebi ve fiyatlarındaki değişimlere daha esnek bir tepki verilmesine olanak sağlarken, yan hizmetlerin sağlanmasına da katkıda bulunabilir. Bunlar, şebekenin sürekli ve istikrarlı bir şekilde çalışmasını sağlamak için gerekli olan, ancak doğrudan müşterilere tedarik edilemeyen hizmetleri içerir. Örneğin, teknik problemler nedeniyle kapanan bir elektrik santralinin

güç sisteminde ani yetersiz kapasite durumuna yol açması veya aşırı talep nedeniyle frekansın düştüğü durumlarda DGS'ler sisteme destek verebilmektedir [2]. Bu nedenle, DGS'lerin şebekeye en uygun elektriksel koşullarda dahil edilmesi konusu, güç sistemlerinin kararlılığı ve kaynakların verimli kullanımı açısından önemlidir. DGS kaynaklarının entegrasyonunda kullanılacak uygun elektriksel güç akışı yöntemleri, santrallerden alınacak verimi ve sistem güvenilirliğini arttıracak ve sistemin sürekliliğini de olumlu yönde etkileyecektir.

Optimal güç akışının temeli olan ekonomik dağıtım kavramı, sistemdeki herhangi bir yük değişimine verilecek en uygun maliyetli tepkiyi tanımlar. Üretim yapan her birimin, yakıt maliyetlerinin yanı sıra işletme maliyetlerinin de hesaba katıldığı bir maliyet modeli bulunmaktadır. Bu kapsamda, herhangi bir yük artışında, artan yük talebini sistem içerisinde karşılayacak en uygun maliyetli birimin üretimini artırması hedeflenir. Yine azalan bir yük talebinde, sistem içerisinde o an en yüksek maliyetle çalışan birimin üretimini azaltması planlanır. Ekonomik dağıtım problemi, sistemdeki herhangi bir sınırla değişikliğe uğrayabilir. Üretim yapan bir birimin bağlı olduğu hattın kapasitesinin aşılması, böyle bir duruma örnek verilebilir. Artan yük talebinde, ekonomik dağıtımın bu tarz bir nedenle sınırlandırılması durumunda, kısıtlanmanın yaşandığı birimin üretimi talebi karşılamak için hesaba katılmazken, diğer üretim birimleri arasında en uygun çözüme gidilir. Diğer yandan, daha uygun maliyetli olmasına rağmen, yük talebine çok uzak bir noktada bir santralin üretimini artırması nedeniyle iletim hatlarındaki kayıplar artacaktır. Bu sebeple, bu durumdaki bir santralin üretimini artırması ekonomik dağıtımın sağlanması açısından tercih edilmeyebilir.

Ekonomik dağıtım kapsamında, enerji maliyetlerinin en aza indirilmesi, kaynakların verimli kullanımı ve yenilenebilir enerji kapsamında verilen teşviklerin dikkate alınması da önemlidir. Günümüzde elektrik piyasası yönetimi, rüzgâr, güneş vb. yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisini, sistem kararlılığını tehlikeye atmadığı sürece mümkün olan en yüksek oranda sisteme dahil etmektedir. Ekonomik dağıtım konusu, aktif güç akışının yanı sıra reaktif güç akışını da en uygun maliyetle çözmeyi hedefler. Üretim birimlerinin bağlı oldukları bara gerilimlerini kontrol edecek şekilde, iletim hatlarındaki reaktif güç akışının en aza indirildiği bir seçimin yapılması gerekmektedir. Bu nedenle, DGS'lerin şebekeye entegrasyonunun pek çok yönden (maliyet, hat kayıpları, sistem kararlılığı, gerilim profiline etkileri) ve farklı yöntemlerle incelendiği çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, optimal güç

akışı ile en düşük maliyetli ekonomik dağıtımın sağlanması ve sistemin elektriksel sınırlar içerisinde işletilebilmesi gerekmektedir. Bu hedefin gerçekleştirilmesi için de ekonomik dağıtım problemi ile yük akışı probleminin birlikte değerlendirildiği bir çözüme ihtiyaç vardır.

Bu tez çalışmasında, DGS'lerin elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının ve işletme koşullarının yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir yöntem ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Bursa iline ait iletim sistemi Powerworld Simulator programı ile modellenmiş, bu iletim sistemi üzerindeki arıza durumları incelenerek yük akış analizleri yapılmıştır. Gerçekleştirilen yük akış analizi senaryolarına ait veriler YSA tabanlı akıllı bir yöntem ile değerlendirilmiştir. DGS'lerin mevcut güç sistemine bağlanması durumunda arz güvenliğine katkı sağlayacak şekilde konumlandırılmasını ve bu doğrultuda işletilmesini hedefleyen yöntem ile DGS'lerin elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının ve işletme koşullarının tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, YSA-tabanlı "Güç Akışı Parametreleri Değerlendirme Yöntemi" (GAPD Yöntemi) geliştirilmiştir. Öncelikle Bursa ilinin iletim sistemi modeli Powerworld Simulator benzetim programı kullanılarak oluşturulmuş, ardından çeşitli arıza senaryolarında güç akış analizleri yapılmıştır. Yapılan analizler, Bursa ilinde yaygın olarak bulunan rüzgâr türbinleri için farklı rüzgâr hızları da dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Güç akış analizleri doğrultusunda, arz güvenliğini tehlikeye düşüren durumlar nedenleriyle beraber tespit edilmiş ve GAPD yöntemi ile DGS'lerin sistem içindeki konumu belirlenmiştir. Ardından sisteme DGS'lerin dahil olduğu durumlarda güç akış analizleri yapılmış ve elde edilen veriler YSA'da işlenerek DGS'lerin hangi arıza ve yük durumlarında devreye girdiğini tespit eden bir tahmin ve analiz modeli oluşturulmuştur. Geliştirilen yöntem, hat yüklenmeleri, sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri ve yük durumu parametrelerini göz önünde bulundurularak sisteme ilave edilen DGS'lerin devreye girip girmemesine karar vermektedir.

1.1 Tezin Amacı

Bu tezde, DGS'lerin elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının ve işletme koşullarının yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir yöntem ile belirlenmesi amaçlanmıştır. Dağıtım sistemlerine bağlantısı yapılacak DGS'lerin iletim sistemleri üzerindeki yükü azaltarak sistemi desteklemesi dolayısıyla arz güvenliğine katkıları üzerinde

incelemeler yapılmıştır. DGS'lerin güç sistemine dahil olduğu durumlarda (nominal çalışma, rüzgâr hızının değişimi, arıza ve aşırı yük durumları vb.), yüksek gerilim iletim sistemlerinde meydana gelecek kısıtları önleyecek şekilde DGS'lerin güç sistemine bağlantısının yapılmasını hedefleyen, güç akışı parametrelerini YSA-tabanlı akıllı bir yöntem ile değerlendiren, yeni bir yöntem önerilmiştir. DGS'lerin güç sistemine bağlanması ile elde edilen güç akış verileri ve arıza analizlerinden elde edilen parametreler kullanılarak, DGS'lerin devreye girmesi gereken uygun işletme koşulları ve bağlantı noktasının otomatik olarak tespit edilmesi amaçlanmıştır. Tezde ilk olarak, modellenen iletim sisteminde kısıtlar oluşturan koşullar belirlenmiş, ardından sistem üzerindeki yükün gerekli ölçüde dağıtım sistemi içerisine ilave edilen DGS'lerden karşılanması öngörülmüş ve bu amaç doğrultusunda DGS'lerin bağlantı noktaları tespit edilmiştir. Bu tespitten sonra, DGS'lerin mevcut güç sistemine bağlanması durumunda şebekede oluşacak farklı arıza durumları altındaki güç akışları, benzetimi yapılan iletim sistemi modeli üzerinden incelenmiştir. Ayrıca enerji sürekliliğini doğrudan etkileyen rüzgâr hızı (%0, %20, %50, %80 ve %100) gibi parametreler güç sistemi modeli üzerinde değerlendirilerek, santrallerin farklı güç kapasitelerindeki çalışma şartları düşünülerek incelenmiştir. Böylece, yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji sürekliliği noktasındaki etkileri de değerlendirilmiştir. Daha sonra, yüksek gerilim iletim sistemlerinin kararlılığına katkı yapacak şekilde sisteme ilave edilen DGS'lerin devreye alınacağı koşulların otomatik olarak belirlenmesi için, YSA tabanlı güç akışı parametreleri değerlendirme yönteminin geliştirilmesi hedeflenmiştir. Geliştirilen bu yöntem ile arıza durumlarında iletim sisteminin kararlılığının sağlanması adına doğru ve hızlı bir cevaba ulaşılabilmesi amaçlanmıştır.

1.2 Tezin Özgün Değeri

Literatürde, üretim ve tüketim noktalarının birbirine yakın konumlandırıldığı DGS'lerin orta ve alçak gerilim dağıtım sistemlerine etkilerini inceleyen ve en uygun şekilde tesis edilmesini hedefleyen pek çok çalışma bulunmaktadır. Optimizasyon çalışmalarının odağında hat kayıplarının azaltılması, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve enerji maliyetlerinin azaltılması bulunmaktadır. Bu noktada, güç akış analizleri ve ekonomik dağıtım gibi farklı analizler yapılsa da farklı çalışma koşulları ve arıza durumlarında sistemin güç akış analizi parametrelerini değerlendirerek DGS'lerin

mevcut iletim sistemine elektriksel açıdan uygunluğunu denetleyen, DGS'lerin elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının ve işletme koşullarının yapay sinir ağı (YSA) tabanlı bir yöntem ile belirlendiği bir yöntemde incelenen literatürde rastlanmamıştır. Tezde bu amaca yönelik olarak, iletim sistemlerinde oluşan yenilenebilir enerji tabanlı güç üretim santrallerindeki üretim dalgalanmalarını da göz önüne alarak, farklı güç tüketimi seviyelerinde gerçekleşebilecek arıza durumlarındaki detaylı güç akış analizleri yapılmıştır. Tezde öncelikle, DGS'lerin mevcut güç sistemine bağlanmaları durumunda elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının ve işletme koşullarının tespit edilmesi için güç akış parametrelerini değerlendiren analitik bir yöntem geliştirilmiştir. Daha sonra, literatürde ilk kez önerilen YSA-tabanlı akıllı bir yöntem ile DGS'lerin ve şebekenin farklı çalışma koşulları altındaki güç akış parametreleri değerlendirilerek, elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının ve işletme koşullarının tespiti gerçekleştirilmiştir. YSA-tabanlı "Güç Akışı Parametreleri Değerlendirme Yöntemi" (YSA-tabanlı GAPD Yöntemi) adı verilen bu yöntemde, sisteme bağlantısı yapılan DGS'lerin hangi durumlarda devreye girmesi gerektiğinin tespiti için güç akış verilerinin kullanıldığı ve yüksek doğrulukla karar verebilen bir YSA modeli oluşturulmuştur. Güç sistemine DGS'lerin bağlanması için gerekli olan uygun işletme koşullarının ve uygun bağlantı noktasının belirlenmesi konusunda YSA tabanlı akıllı bir yöntemin önerilmesi, güç sistemi operatörlerinin know-how gerektiren ve çoğunlukla da ilgili operatörün yeteneğine bağlı olarak karar vermesi gereken kritik manevralarının, otomatik olarak akıllı bir yöntem ile yapılabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu sayede, insan faktöründen kaynaklanabilecek olası yanlış kararların önüne geçilebilecek ve güç sisteminin daha güvenilir bir şekilde işletilebilmesi sağlanacaktır. Bunun yanı sıra, güç akış analizi ile ilgili parametrelerini ve ekonomik dağıtım konularını birlikte ele alarak değerlendirebilen YSA-tabanlı GAPD Yöntemi ile DGS'lerin güç sistemine bağlantısında elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının tespiti de yapılabilmektedir. Geliştirilen yöntem sayesinde, DGS'ler elektriksel açıdan çok daha güvenilir ve güç sistemine etkileri açısından da en az olumsuzluk ile şebekeye bağlanabilecektir. Tez çalışmasının, bu açıdan da konuya farklı bir bakış açısı getirerek literatüre katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

1.3 Literatür Araştırması

1.3.1 Geleneksel güç akış yöntemlerini kullanan çalışmalar

Literatürde optimal yük akışına dayalı DGS yerleşiminin belirlenmesi için farklı yöntemler sunan birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların birinde [3], düzgün dağılımlı yüklere sahip bir sisteme dahil edilmesi planlanan DGS'nin, yükün 2/3 kapasitesinde ve hat uzunluğunun 2/3 mesafesine yerleşimi önerilmektedir. Fakat bu yöntem düzgün dağılım içermeyen sistemlerde kullanışlı değildir. Bir başka çalışmada [4], dağıtım sistemine dahil edilecek DGS'nin konumu ve büyüklüğünü, sistem kayıplarını en aza indirecek şekilde belirlemek için "kayıp duyarlılık faktörüne" dayalı analitik bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada, DGS konumunun sistem kayıplarını önemli ölçüde etkilediği ve bu faktörün yer seçiminde dikkate alınması gerektiği ifade edilmiştir. Wang vd. [5] ise güç kayıplarını en aza indirmek amacıyla en uygun DGS yerleşimini belirlemek için yinelemeli olmaması nedeniyle yakınsama sorununa sahip olmayan hızlı bir analitik bir yöntem sunmuştur. Analitik yöntemlerin kullanıldığı bir diğer çalışmada [6], şebekeye dahil edilecek DGS'nin boyutu ve güç faktörünü belirlemek için 3 farklı test sisteminde denemeler yapılmış ve kayıpların en aza indirildiği durumlarda DGS'lerin işletme esnasındaki güç faktörünün şebeke yüklerinin güç faktörüne yakın bulunduğu ifade edilmiştir. Sistem kayıplarını en aza indirecek şekilde DGS'lerin en uygun boyut ve konumunun belirlenebilmesi amacıyla bir faktörün formüle edildiği, uygulama açısından kolay ve hızlı sonuca giden analitik bir yöntem ise [7] numaralı referansta önerilmiştir.

DGS'lerin sistem kayıplarını en aza indirecek şekilde en uygun yerleşimi için Kalman filtre algoritmasının önerildiği bir çalışmada [8], IEEE 30 baralı sistem bölgelere ayrılarak her bir bölgede tüketimin en yoğun olduğu baraya DGS'lerin yerleşimi öngörülerek bu kaynakların üretim kapasiteleri elde edilmiştir. Khattam vd. çalışmalarında [9], şebekedeki farklı yük akışı senaryolarına bağlı olarak optimal DGS yerleşimini ve şebekenin ihtiyaç duyduğu tesis yatırımlarını elde etmek için, tesis, işletme-bakım ve kaynak maliyetlerinin kıstas alındığı bir model önermiştir. DGS yerleşiminin hat kayıpları ve sistem kararlılığını arttıracak şekilde yerleşiminin formüle edildiği bir diğer çalışmada [10], yer seçiminde maksimum yük koşullarında bu iki kıstas için çözümün birbirine yakın olduğu ve TM'ler yerine arıza endeksi düşük hatlara yerleştirilen DGS'lerin daha iyi sonuç verdiği ifade edilmiştir.

Hat kayıplarını en aza indirecek şekilde DGS'lerinin yerini belirlemek için matematiksel bir yöntem Karnavas vd. [11] tarafından önerilmiş ve yöntemin uygulaması Powerworld Simulator programında gerçekleştirmiştir. Bir diğer çalışmada [12] arıza akımları göz önüne alarak bir şebekeye eklenebilecek DGS kapasitesinin analizinin yapıldığı matematiksel bir model sunulmuş ve arıza akımlarının, şebekeye dahil edilebilecek DGS kapasitelerine etkisi ifade edilmiştir. Singh vd. [13] DGS'lerin yeri ve gücünün şebekedeki farklı tip yük modellerine (sabit, ticari, konut, endüstriyel, karışık) bağlı olarak değişebileceğini belirtmiş ve geliştirilen yöntemle karşılaştırmalı bir çalışma yapmıştır.

Yenilenebilir ve fosil kaynaklı enerji kaynaklarına dayalı DGS'lerin birlikte ve ayrı ayrı sisteme dahil edilmesi koşullarının incelendiği bir çalışmada [14], tesis yatırımlarının azaltılması, şebeke kararlılığın yükseltilmesi ve hat kayıplarının azaltılmasına yönelik bir optimizasyon yöntemi sunulmuştur. Bir diğer çalışmada [15] ise değişken yük modeli esas alınarak güç kayıplarını azal, gerilim profilini iyileştir ve sistem güvenilirliğini artırarak optimizasyonu gerçekleştirmeyi hedefleyen 'Dinamik Programlama' yöntemi sunulmuştur. Rüzgâr türbinlerinin enerji kayıplarını en aza indirecek şekilde sisteme dahil edilmesini amaçlayan çalışmada [16], oluşabilecek farklı üretim-yük kombinasyonları modellenerek doğrusal olmayan programlama yöntemiyle çözüme gidilmiştir. Bir diğer çalışmada [17] sisteme en yüksek boyutta DGS dahil edilmesi amacıyla gerilim, güç faktörü ve üretimin optimal güç akışı-tabanlı kontrol edildiği "Aktif Ağ Yönetimi" yöntemi önerilmiştir. Orta gerilim seviyesindeki bir dağıtım sisteminde rastlantısal yük ve farklı rüzgâr koşullarında analizler yapılmış ve önerilen yöntemin sisteme dahil edilecek DGS'lerin kapasitesini arttırdığı ifade edilmiştir. Sisteme dahil edilebilecek DGS'lerin kapasitelerinin belirlenmesi konusundaki diğer bir çalışmada [18], sistemin arıza akım sınırları referans alınmıştır. Önerilen "Fault Level Current Optimal Power Flow (FLCOPF)" yöntemiyle sistemin arıza akım sınırları aşılmadan en büyük kapasitede DGS'lerin yerleşimi amaçlanmıştır.

1.3.2 Optimizasyon yöntemlerini kullanan çalışmalar

DGS'lerin eklenmesiyle elde edilen faydalara (sistem kayıplarındaki azalma, bara gerilim seviyelerinde iyileşme ve sistem kararlılığının artması) karşılık bu kaynakların kurulum ve işletme maliyetleri arasındaki ilişkiyi referans alan genetik algoritma

(GA)'nın kullanıldığı bir metot [19]'da önerilmiştir. Jabr vd. [20] çalışmalarında, şebekedeki kayıpları azaltmak ve maksimum kapasitede DGS'nin şebekeye dahil olması için, lineer ve lineer olmayan modelleri içeren 3 aşamadan oluşan 'Ordinal Optimization' yöntemini önermiş ve GA yöntemiyle çözüme göre karşılaştırma yapmıştır. Başka bir çalışmada, en uygun DGS yerleşiminin sağlanması için sistem kısıtları, yük durumu ve maliyet değişkenleriyle oluşturulan objektif fonksiyonunun GA ile çözüldüğü bir yöntem önerilmiştir [21]. Tepe yük koşullarında değerlendirme yapılarak DGS yerleşiminin yapılmasının, nominal yük koşullarında sistem kayıplarının azaltılması için en uygun çözümü veremeyebileceği ifade edilmiş, DGS'nin sisteme eklenmesinin ilave tesis maliyetlerinden daha ekonomik bir çözüm olduğu gösterilmiştir. Bir diğer çalışmada [22], DGS'lerin gerilim profili, hat kayıpları ve kritik hatlar üzerindeki yükü azaltmak amacıyla şebekeye en uygun yerleşiminin sağlanması için GA yöntemi kullanılmış ve "Doğrusal Programlama (DP)" ile sonuçlar teyit edilmiştir.

DGS'lerin sisteme dahil olması sonucu olası gerilim yükselmesi sorununu inceleyen, bu sorunun çözülerek aynı zamanda maliyetlerin ve hat kayıplarının azaltılmasının hedeflendiği çalışmada [23] da GA yöntemi kullanılmıştır. Sisteme tek ve büyük bir DGS dahil etmek yerine, çok sayıda ve küçük kapasiteli DGS'lerin dahil edilmesinin, daha verimli olduğu gözlemlenmiştir. Bir diğer çalışmada [24], sisteme eklenmesi planlanan DGS'lerin yerleştirilebileceği kombinasyonların elde edilmesi için GA yönteminin ve her bir kombinasyonda sisteme bağlanabilecek DGS kapasitesinin belirlenebilmesi için "Optimal Güç Akışı" (OGA)'nın kullanıldığı hibrit bir yöntem önerilmiştir.

DGS'lerin, maliyetlerini en aza indirerek sisteme dahil etmeyi amaçlayan diğer bir çalışmada [25], "Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)" algoritması ile bir çözüm önerilmiş ve bu yöntem MATLAB ortamında tipik bir dağıtım sistemine uygulanmıştır. Yammani vd. tarafından gerçekleştirilen çalışmada [26] ise sistem kayıpları ve maliyeti esas alınarak optimum DGS yerleşimini sağlamak için kurbağaların yiyecek ararken sergilediği davranışlarını baz alan "Shuffled Frog Leaping Algorithm" (SLFA)'yı önermiştir. Yöntem radyal bir dağıtım sistemine uygulanmış ve çeşitli yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Bir diğer çalışmada [27], DGS'lerin yatırım maliyetleri ve sistemin toplam işletme maliyetini en aza indirecek

şekilde sisteme dahil edilmesi hedeflenmiş ve optimizasyon yöntemi olarak Karınca Kolonisi Algoritması kullanılmıştır.

1.3.3 Akıllı yöntemleri kullanan çalışmalar

Optimal güç akış davranışları ile ilgili sınırlı sayıda makine öğrenmesi tekniği literatürde önerilmiştir [28-32]. Bu çalışmalardan birinde [28], herhangi bir haberleşme sistemi kullanmadan optimum davranışı taklit eden yerel kontroller tasarlamak için geçmiş verileri, optimizasyon tekniklerini ve makine öğrenimi yöntemlerini kullanan veri-tabanlı bir algoritma önerilmiştir. Önerilen kontrol yönteminin performansı, üç fazlı, dengesiz ve alçak gerilim profilindeki bir dağıtım şebekesinde gösterilmiştir. Elde edilen sonuçlar, önerilen veriye-dayalı makine öğrenmesi yönteminin, standart yerel kontrolden açıkça daha iyi performans gösterdiğini ve optimum güç akışına dayalı kontrolü başarıyla taklit ettiğini göstermektedir. Referans [29]'da güç sistemine sağlanan reaktif güç miktarını hesaplamak için doğrusal olmayan bir kontrol yöntemi önerilmiştir. Şebekenin doğrusallaştırılmış bir versiyonunu kullanmasına ve sadece reaktif güç kontrolüne odaklanmasına rağmen bu yöntem karmaşık ve doğrusal olmayan davranışları modelleyebilen çeşitli çekirdek fonksiyonlarına sahiptir. Referans [30] ve [31] 'de, her eviricinin yerel geçmiş verilerini önceden hesaplanmış optimal reaktif güç üretimiyle eşleştiren bir işlevi hesaplamak için açık döngü çoklu doğrusal regresyon kullanılmıştır. Her iki çalışmada da yalnızca reaktif güç kontrolü dikkate alınmıştır.

YSA, sahip olduğu avantajlar sayesinde günümüzde birçok farklı sektörde başta sınıflandırma, tahmin, optimizasyon uygulamaları olmak üzere farklı amaçlarla kullanılmakta ve kullanıcılar tarafından geliştirilmektedirler. Verilerin ağı tek bir merkezi yerine pek çok elemanı üzerinden işlem görmesi YSA'ya esnek bir yapı kazandırmaktadır. YSA eğitim aşamasından sonra verilerde eksiklik bile olsa çıktı üretebilir. Ayrıca, paralel işleme özelliğine sahip olduğundan gerçek zamanlı uygulamalarda da kullanılabilir.

YSA kullanılarak bir güç sisteminde yakın zamanlı yük tahmininin yapıldığı bir çalışmada [32], bir ağ modeli geliştirilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Başka bir çalışmada ise [33], rüzgâr hızı tahmini için dinamik bir YSA modeli sunulmuştur.

YSA yaklaşımları literatürdeki çalışmalarda genelde tek bir problemi ele almasına rağmen, tez çalışmasında çoklu güç akış parametrelerinin analizinde kullanılmıştır.

Yapılan çalışmada, DGS'lerin güç sistemi içerisindeki bağlantı noktalarının belirlenmesinin ardından, farklı arıza, yenilenebilir enerji üretim kapasitesi ve yük durumlarında güç akış analizleri yapılmış ve sisteme ilave edilen DGS'lerin hangi durumlarda devreye girdiği tespit edilmiştir. Güç akış verileri YSA'da işlenerek ağın eğitimi sağlanmış ve sistem koşulları göz önünde bulundurularak DGS'lerin işletme pozisyonlarına karar verebilen bir YSA modeli oluşturulmuştur. Tez çalışması ile literatürde ilk kez, güç sistemine DGS'lerin bağlanması için gerekli olan uygun işletme koşullarının ve uygun bağlantı noktasının belirlenmesi konusunda güç akış parametrelerini değerlendirerek karar verebilen, YSA-tabanlı akıllı bir yöntem önerilmiştir.



2. DAĞITIK GÜÇ SİSTEMLERİNİN MEVCUT ŞEBEKEYE BAĞLANTISI

2.1 Dağıtık Güç Sistemleri

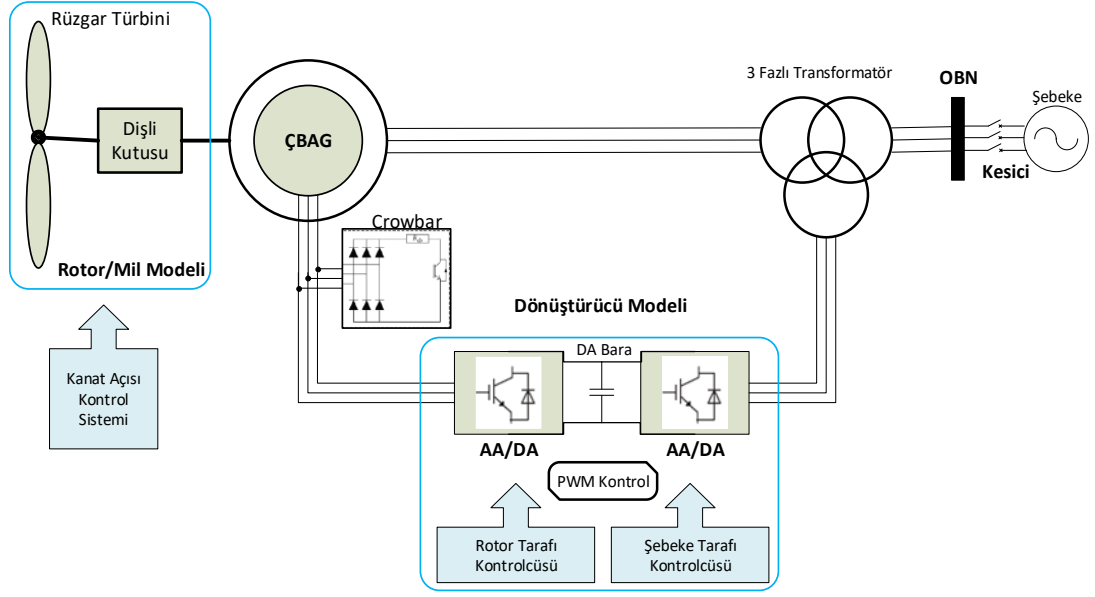
Dağıtık üretim kavramı şebeke içerisindeki bir bölgenin, elektrik enerjisi ihtiyacının bu bölgeye yakın noktalarda kurulan üretim kaynaklarından karşılanmasını ve aynı zamanda bağlı olduğu şebeke ile de ihtiyaç halinde güç alışverişi yapabilmesini ifade eder. Bu üretim kaynakları tesis edileceği bölgenin tüketim değerlerine bağlı olarak boyutlandırılmakta olup, nispeten küçük ölçeklidirler. Pek çok farklı üretim teknolojisi dağıtılmış üretim sistemlerinde kullanılabilir. Bu bölümde, güç sistemine bağlanan ve farklı kaynaklar ile elektrik enerjisi sağlayan dağıtık üretim sistemleri hakkında kısa bilgiler verilmiştir.

2.1.1 Rüzgâr Enerjisi Santralleri

Rüzgâr enerjisi ile elektrik üretimi temelleri 19. yüzyıla dayanan bir süreçtir. Elektrik güç sistemlerinin oluşmaya başladığı yıllarda, uzak ve şebeke bağlantısı bulunmayan yerleşim yerlerinde elektrik enerjisini sağlamak amacıyla kullanılmıştır. İlerleyen yıllarda enterkonnekte güç sistemlerinin tesis edilmesi ile beraber rüzgâr türbinlerinin de bu sistemlere bağlanması önemli bir konu haline almıştır. Bu sebeple sisteme dahil olacak her tesis belirli bağlantı koşullarını sağlamakla yükümlüdür.

Rüzgâr enerjisinin varlığı/yokluğu ve sürekli olarak değişen hızı, doğal olarak enerji üretiminde de dalgalanmalara neden olmaktadır. Bu değişken kaynak ile şebeke frekansına ve gerilimine uygun olarak sürekli ve kararlı bir enerji üretimi yapabilmek oldukça zorlu bir süreçtir. Aynı zamanda üretimde yaşanan dalgalanmalar arz-talep dengesini sağlamak açısından da zorlayıcıdır.

Rüzgâr türbinleri geliştirildikleri ilk yıllarda sabit rotor hızında çalışacak şekilde tasarlanmışlardır. Bu tasarım, rüzgâr enerjisinden tam kapasitede faydalanılmamasına ve güç kalitesi problemlerine de neden olmuştur. Gelişen teknolojiler ile beraber, değişken hızlı rüzgâr türbinleri güç sistemlerinde daha çok kullanılmaya başlanmıştır. “Çift Beslemeli Asenkron Generatör (ÇBAG)” ve “Sabit Mıknatıslı Senkron Generatör (MSG)” teknolojilerinin geliştirilmesi ile birlikte, değişken rüzgâr hızlarında şebeke frekansı ile uyumlu enerji üretimi yapabilen ve yeterli reaktif güç kapasitesine sahip rüzgâr türbinleri tasarlanabilmektedir. Şekil 2.1’de ÇBAG yapısı verilmiştir.



Şekil 2.1 : Çift Beslemeli Asenkron Generatör modeli [34].

Rüzgâr türbinlerinde en çok tercih edilen generatör modellerinden biri olan ÇBAG'ların statoru doğrudan şebekeye bağlı iken rotoru kaskad dönüştürücü üzerinden şebekeye bağlanmaktadır. Kaskad dönüştürücü rotor tarafı ve şebeke tarafı dönüştürücü ve kapasitörden oluşmaktadır. Değişken rüzgâr hızlarında elde edilen güç rotor tarafı dönüştürücüsü vasıtasıyla DA gerilime dönüştürülerek kapasitöre iletilir. Şebeke tarafı dönüştürücüsü ile DA gerilim şebeke frekansı ve gerilimine uygun halde AA gerilim elde edilerek şebeke ile güç alışverişi yapılır. ÇBAG'ler senkron hızın %40 altında ve %30 üstündeki rüzgâr hızlarında çalışabilirler. Senkron hızın altında şebekeden alınan destek ile beraber senkron hıza ulaşarak sabit frekansta güç üretimi yapılabilmektedir. Senkron hızın üzerine çıkılan rüzgâr hızlarında back-to-back dönüştürücüler ile güç çıkışı kontrol edilir. Gerekli anlarda şebeke ile çift yönlü güç alışverişi yapılabilmeleri nedeniyle ÇBAG olarak adlandırılmışlardır.

Ülkemizde de RES üretimi son yıllarda verilen teşviklerin de etkisiyle enerji üretimindeki payını ciddi oranda arttırmıştır. Güney Marmara, Ege ve Akdeniz Bölgeleri kıyı şeridi ülkemizin rüzgâr potansiyeli en yüksek noktalarındadır ve RES'ler bu bölgelerde yoğunlaşmıştır. Ülkemizin kömür ve doğalgazdaki dışa bağımlılığını da düşündüğümüzde, RES üretimleri oldukça cazip bir seçenek olarak karşımızda durmaktadır.

RES'lerin güç sistemi içerisinde oldukça farklı rüzgâr rejimlerine sahip olan bölgelere yayılımı ve farklı üretim teknolojilerine sahip dengeleyici kaynaklarla kullanılması, dağıtık üretim uygulamaları için oldukça uygun bir seçenektir. Ayrıca, RES'lerin güç

sisteminin zayıf olduğu uzak bölgeler için kısa devre akım sınırları göz önüne alınarak tesis edilebilmeleri önemli bir avantajdır. Şebekeden uzak ve güç iletiminin sınırlı ve zor olduğu pek çok adada rüzgâr enerjisi, güç talebinin karşılanması için önemli bir seçenek olmuş ve hatta büyüyen kapasiteleriyle beraber ihtiyaç halinde bağlı oldukları enterkonnekte sistemleri besleyebilecek konuma gelmişlerdir. Bu sistemler dağıtık üretim uygulamaları için oldukça faydalı örneklerdir.

İlerleyen yıllarda maliyetsiz, yenilenebilir ve çevre kirliliği yaratmayan rüzgâr enerjisinin, elektrik üretimi için oldukça uygun bir seçenek kalmaya devam edeceği açıktır. Fosil yakıt bağımlılığı olan veya ana karadan uzak olması nedeniyle büyük çapta güç sistemi kurulumunun imkânsız olduğu ülkelerin elindeki en önemli seçeneklerden biridir. Potansiyelin belirli ve dar bir bölgede toparlanması halinde, güç sisteminde kısıtlar meydana gelmesi ve üretimin değişken olması da güç sistemini zorlayabilecek konulardır. Tez çalışmasında, RES'lerin farklı üretim kapasitesi durumlarındaki güç akış analizleri yapılarak, sistem kararlılığı ve arz güvenliğine katkıları da değerlendirilmiştir.

2.1.2 Hidroelektrik Santraller

Belirli bir yükseklikte depolanan ve potansiyel enerjiye sahip olan bir su kütlelerinin serbest bırakılarak kazanacağı kinetik enerji ile türbini döndürmesi sonucu elektrik üretimi yapılan “Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES)”, günümüz güç sisteminde önemli bir yer tutmaktadır. Hammadde olarak suyun kullanılması ile fosil kaynaklara bağımlılığı azaltması ve aynı zamanda herhangi bir yakıt maliyetlerinin olmaması HES'lerin sahip olduğu en önemli avantajlardır. HES'ler hızlı bir şekilde devreye alınabilme özellikleri ile güç sistemleri yönetimi için oldukça kullanışlı üretim merkezleridir. Puant yük veya herhangi bir arıza sonucu sistem kısıtlarının olduğu durumlarda, ihtiyaç duyulması halinde hızlı bir şekilde devreye alınarak güç sisteminin dengede tutulmasına katkıda bulunabilirler. Suyun depolanarak istenilen zamanda hızlı bir şekilde üretime geçebilme özellikleri, HES'leri güç sisteminde oluşabilecek ani frekans düşüşlerine hızlı müdahale edilmesi konusunda ilk akla gelen seçenek haline getirmektedir.

2.1.3 Jeotermal Enerji Santralleri

“Jeotermal Enerji Santralleri” (JES)'ler, yüksek verimlilik oranları, enerji üretiminde herhangi bir yakıt kullanılmaması, iklim şartlarından etkilenmeyerek sürekli üretim

yapılabilmesi ve nispeten daha az alan kaplama özelliklerine sahip olması ile kullanımı oldukça avantajlı yenilenebilir enerji kaynaklarındandır. Jeotermal enerji üretiminde dalgalanmaların en az seviyede olması, ucuz olması, yenilenebilir kaynağa sahip olması ve sınırlı bir tesis alanına sahip olması sebebiyle DGS’lerde kullanım için oldukça uygundur. Kurulacak bölgenin ihtiyacı doğrultusunda kaynakların izin verdiği ölçüde istenilen düzeyde boyutlandırılabilir. Sürekli üretime hazır olması sebebiyle de sistem operatörlerinin arz-talep dengesini sağlayabilmesi için uygun bir seçenektir.

2.1.4 Biyokütle Enerjisi Santralleri

“Biyokütle Enerji Santralleri (BES)” enerji üretiminde hammadde olarak bitkisel, hayvansal, evsel veya endüstriyel atıkların kullanıldığı santrallerdir. Bu atıkların depolandıkları alanlarda yakılması sonucu elde edilen buhar, enerji üretiminde kullanılır. Enerji tüketiminin yoğun olduğu, dolayısıyla güç iletiminin yüklü iletim hatları ile yapıldığı, aynı zamanda hammaddenin fazlasıyla bulunduğu şehir merkezlerinde tesis edilmeleri oldukça çevreci, pratik ve kârlı bir seçenektir. BES’ler bu özellikleri ile DGS’nin karakteristik özelliklerini yansıtmaktadır. BES’ler yakıt olarak kullanılan hammaddelerin depolanabilir olması ve hammadde sıkıntısı olmaması nedeniyle güç sistemi işletmecileri için kullanışlı bir seçenektir.

2.1.5 Güneş Enerjisi Santralleri

“Güneş Enerjisi Santralleri (GES)” sahip olduğu potansiyel ile elektrik enerjisi üretim teknolojileri arasında önemli bir konumda yer almaktadır. Elektron transferinin yaşandığı fotovoltaik (FV) pillerde elektrik enerjisi doğru akım olarak elde edilir. DA/AA dönüştürücüler kullanılarak uygun frekans ve gerilim seviyesinde şebekeye bağlanabilmektedirler. Temiz ve yenilenebilir enerji kaynakları olarak FV sistemler, dizilerin farklı kombinasyonları ile ihtiyaç duyulan güç kapasitesinde tasarlanabilmektedir. Geniş alanlarda GES’ler güç sistemine önemli oranda dahil edilmekte olup, küçük güçlü konutsal FV sistem uygulamalarıyla da elektrik enerjisi üretimine katkıda bulunmaktadır. Konutsal FV sistemlerin yaygınlaşmasıyla, yoğun yük akışının olduğu kalabalık şehir merkezlerinde de tesis edilerek güç sistemi üzerindeki yükü azaltmaktadır [43, 44]. Bu avantajları nedeniyle GES’ler, DGS uygulamalarında önemli bir yere sahiptir.

2.2 Dağıtık Güç Sistemlerinin Enterkonnekte Şebekelerde Oluşturacağı Elektriksel Etkiler

DGS uygulamalarının günümüz güç sistemlerinde elektriksel açıdan pek çok değişikliğe yol açacağı aşikardır. Bu nedenle, DGS'lerin tasarımı ve yönetimi süreçlerinde bu etkiler göz önünde bulundurulmalıdır. Çeşitli üretim teknolojilerine sahip DGS'lerin güç sistemine farklı noktalardan dahil edilmesi, sistem operatörlerinin yük-frekans dengesini koruyabilmesi açısından önemlidir. Güç tüketimindeki dalgalanmalar, arızalar, üretim tesislerindeki kayıplar sonucu, sistem operatörleri tarafından DGS'ler devreye alınarak arz-talep dengesi korunabilir. Sistem frekansında yaşanabilecek herhangi bir dalgalanma sonucunda, şebekeye bağlı büyük güçlü santraller yerine, sistem içerisine dağıtılmış güç üretim kaynakları ile müdahale edilmesi daha uygun bir seçenek olabilir.

DGS'lerin sisteme dahil edilmesi, sistem gerilimini arttırıcı yönde bir etkiye bulunmaktadır. Herhangi bir arıza veya yüksek güç talebi sonucunda, sistem gerilimi düşerek şebekeyi destekleyici yönde bir etki oluşacaktır. Farklı şebeke koşullarında uygun gerilim seviyesinin yakalanabilmesi için DGS'lerin reaktif güç kapasitelerinin yeterli düzeyde olması kritik öneme sahiptir. Tüketim noktalarının yakınında tesis edilen DGS'ler, iletim hatlarındaki yük akışını azaltacaktır. Bu durum hat kayıplarını azaltmakla beraber, sistem işletmecilerinin arıza veya yüksek tüketim durumlarında talebi karşılamak için sahip olacakları seçenek sayısını arttırır.

DGS'lerin sisteme dahil edilmesi ile birlikte, mevcut sistemlerin yük akışında ciddi değişiklikler yaşanması muhtemeldir. DGS ve şebeke ile güç alışverişinin çift yönlü olması, kaynakların üretim durumlarına bağlı olarak artan arıza senaryoları ve değişen arıza akım değerleri, koruma sistemlerinin yeniden yapılandırılmasını gerektirmektedir.

2.3 Dağıtık Güç Sistemlerinin Enerji Maliyetlerine Etkileri

Güç sistemi, içinde birçok değişkeni bulunduran ve farklı etkilere açık, dinamik bir yapıya sahiptir. Bu dinamik yapının bir sonucu olarak enerji maliyetlerinde de sürekli değişimler yaşanır. Güç talebi, elektriksel sınırlar ve üretim kapasitesi, bir güç sisteminde enerji maliyetlerini belirleyen başlıca unsurlardır.

Güç sistemlerinde yaşanan her değişiklik sistemi işletenler tarafından değerlendirilir ve ihtiyaç halinde gerekli tepkiler verilir. Bu tepkiler içerisinde en etkin olanlardan biri

de sisteme bağı santrallere verilen yük al/yük at talimatlarıdır. Güç sisteminde herhangi bir iletim hattının devre dışı kalması sonucu, güç taşıma kapasitesinin kısıtlanması veya enerji tüketimindeki dalgalanmalar nedeniyle herhangi bir santralin güç üretimini azaltması gerekirken, başka bir santralin üretiminin artırılması gerekebilir. Santrallerin aktif ve reaktif güçlerinde sistem işletmecilerinin talimatları doğrultusunda yapılacak değişimler sonucu sistem dengede tutulurken, buna bağı olarak enerji maliyetleri de değişecektir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde giderek payının arttırdığı günümüz güç sisteminde, iklimsel, meteorolojik ve çevresel faktörlerin (rüzgâr hızı, yağış miktarı, güneşlenme süresi vb.) de enerji maliyetlerine önemli etkileri vardır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretimin, elektriksel sınırlar içerisinde mümkün olan en yüksek seviyede tutulması amaçlanır ve güç akışı da buna göre şekillenir. Bu değişken durum, enerji maliyetlerini de önemli bir şekilde etkilemektedir.

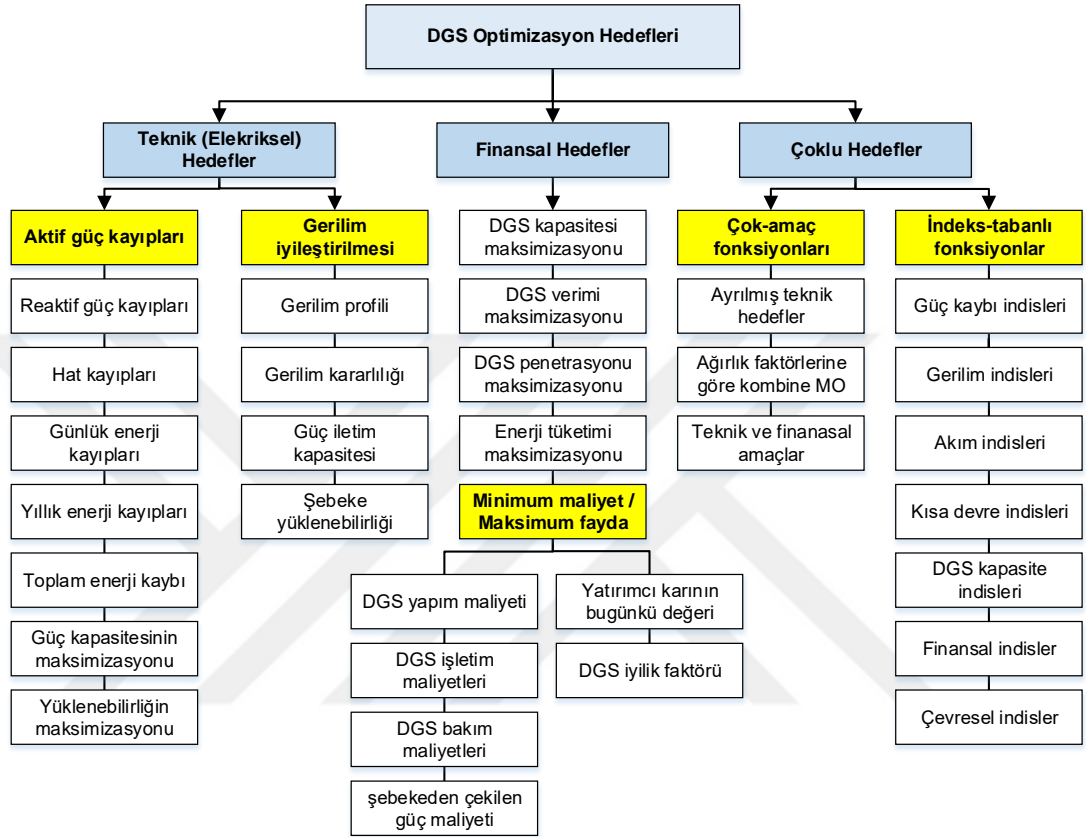
2.4 Dağıtık Güç Sistemlerinin Optimizasyonu

DGS'lerin bir güç sistemine dahil edilmesi de sistemin kararlılığı ve enerji maliyetleri açısından önemli etkiler yaratacak bir konudur. İlave edilecek üretim kaynakları ile birlikte sistemin kontrolü ve enerji maliyetlerinin düşürülmesi adına sistem yönetimi için farklı seçeneklerin ortaya çıkması olasıdır. Ancak, sisteme dahil olan kaynaklarla beraber büyüyen ve elektriksel açıdan daha değişken bir hale bürünen şebekelerin yönetimi daha da zorlaşacaktır. Doğru planlama ve stratejiler, DGS'lerin güç sistemlerine olumlu etkilerinin ön plana çıkmasına yardımcı olacaktır.

DGS'lerin en uygun şekilde güç sistemlerine bağlantısının yapılması, içinde birçok değişkeni barındıran ve farklı yönlerden ele alınabilecek bir konudur. Optimizasyon çalışmalarının odak noktasında, DGS'lerin bağlanacakları güç sistemine en fazla katkıyı sağlayacak şekilde sisteme bağlantı noktasının belirlenmesi ile gücü ve işletme pozisyonunun değerlendirilmesi vardır.

DGS sistemlerinin şebekeye dahil edilmesine odaklanan optimizasyon uygulamalarının kısıtları ve amaç fonksiyonları Şekil 2.2'de verilmiştir. Elektriksel etkiler ve finansal kısıtlamalar ile bunların bir bütün olarak değerlendirildiği optimizasyon uygulamaları mevcuttur. Elektriksel etkileri göz önüne alan optimizasyon uygulamalarında, güç kaybının azaltılması, gerilim profilinin

iyileştirilmesi ve güç iletim kapasitesinin artırılması amaçlanır. Finansal kısıtların belirlenmesinde minimum maliyet/maksimum fayda hedeflenir. Birden fazla kısıtın göz önüne alındığı optimizasyon çalışmalarında, çevresel etkiler, finansal kısıtlar ve elektriksel etkiler gibi farklı indeksler üzerinden değerlendirmeler yapılarak kararlar alınır.

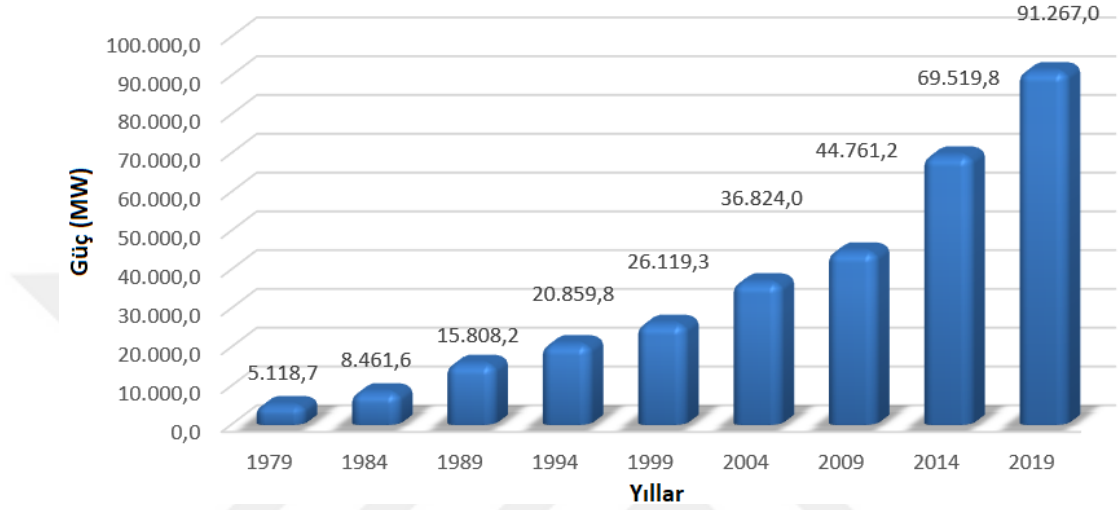


Şekil 2.2: DGS optimizasyon kriterleri [35].

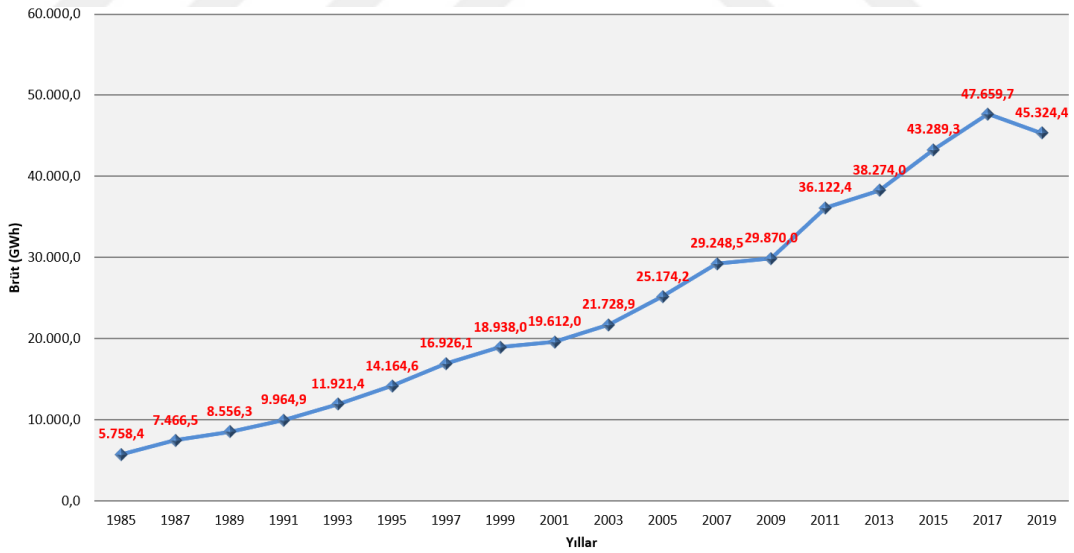
2.5 İletim Sistemi Planlaması

Ülkemizde iletim şebekesinin tesisi, işletilmesi ve planlanması görevini üstlenen kuruluş Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (TEİAŞ)'dır. İşletme verileri ve gelecek öngörülerinin yanı sıra ilgili bölgesel dağıtım şirketlerinin talepleri de göz önüne alınarak, şebekenin ihtiyaç duyduğu tüm yatırımlar (iletim hatları, transformatör merkezleri, santraller) planlanır. Üretim planlaması noktasında, yatırımcı şirketlerin başvurusu doğrultusunda TEİAŞ ile yapılan bağlantı anlaşmaları kapsamında, tesis edilecek santralin kurulu gücü, şebekeye bağlantı noktası ve bağlanacağı hat karakteristiği (uzunluk, kesit, devre sayısı vb.) ve transformatör merkezinin gücü belirlenir.

Gelişen teknoloji ve artan sanayileşme ile ülkemizin enerji tüketimi her geçen yıl artmakta ve bu talebi karşılamak adına yeni santraller kurulmaktadır. 2019 yılı verileri incelendiğinde, 91 GW'a ulaşan kurulu güç ve 45 GWh'yi geçen puant tüketim değerlerine ulaşan ve her geçen gün genişleyen büyük bir şebekeye sahip olduğumuz görülmektedir [36]. Ülkemiz kurulu gücünün ve ani puant değişiminin grafikleri sırasıyla Şekil 2.3 ve Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



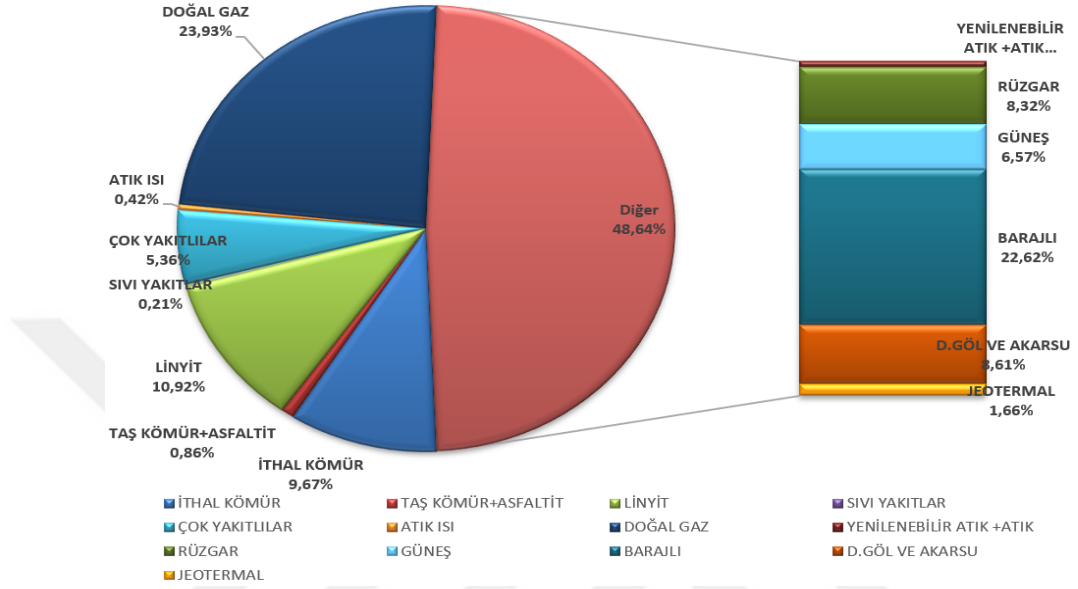
Şekil 2.3: Ülkemiz kurulu gücünün yıllar itibariyle değişimi



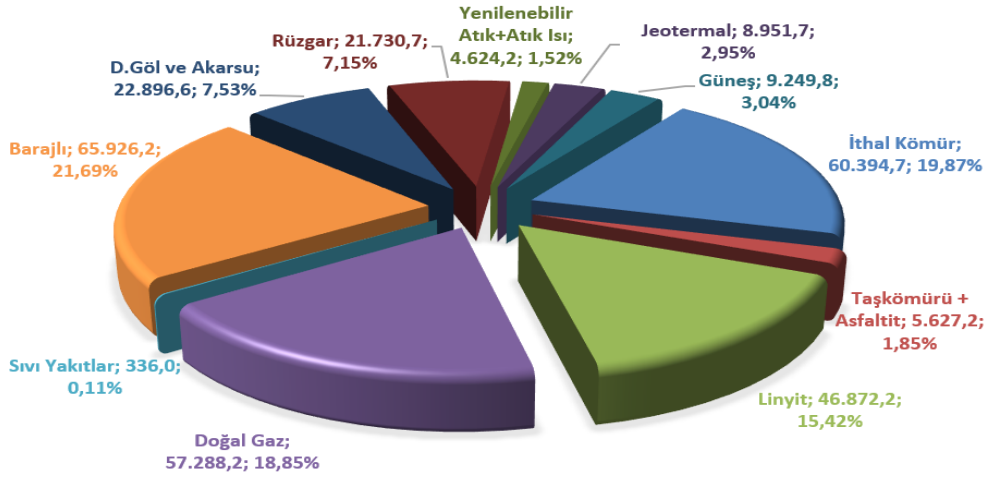
Şekil 2.4: Ülkemiz ani puantının yıllar itibariyle değişimi

Türkiye iletim şebekesinin giderek genişlemesinin yanı sıra, yıllar içerisinde enerji üretim kaynaklarının üretim içerisindeki paylarında da önemli değişiklikler yaşanmış ve sisteme önemli güç kapasitelerine sahip yenilenebilir enerji kaynaklı güç üretim santralleri dahil olmuştur. Mevcut enterkonnekte şebekemizde enerji üretiminin

kaynaklara göre dağılımı Şekil 2.5'te gösterilmiştir. TEİAŞ'ın Şubat 2019 Raporu'na göre yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yapan santrallerin kurulu gücü 42 GW'a ulaşmıştır [36]. Şekil 2.6'da gösterildiği gibi, 2019 istatistiklerine göre enerji üretiminin yaklaşık %44'ü yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmıştır [36]. Önümüzdeki yıllarda bu oranın daha da artması beklenmektedir.



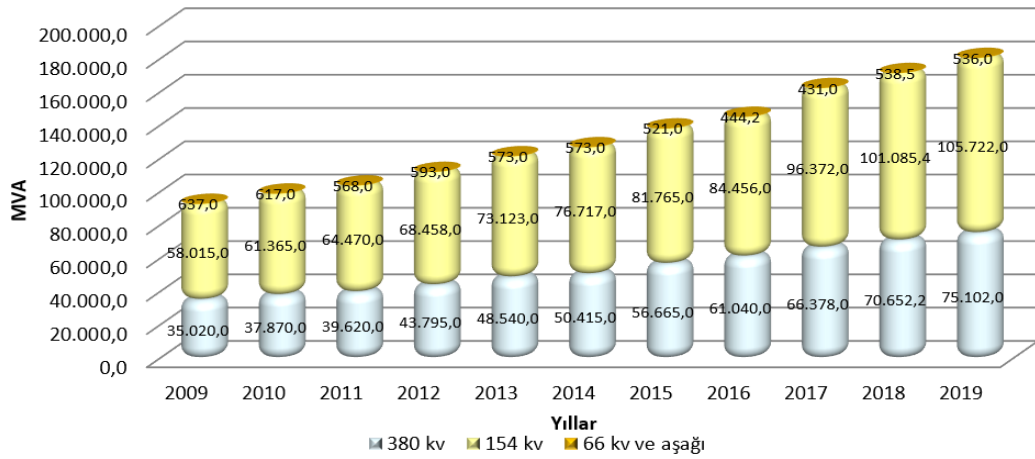
Şekil 2.5: 2019 yılı Türkiye kurulu gücünün kaynaklara göre dağılımı.



Şekil 2.6: 2019 yılı Türkiye elektrik enerjisi üretiminin kaynaklara göre dağılımı.

2.6 İletim Sistemi Altyapısı

Ülkemizde 380 kV ve 154 kV seviyesinde iki ayrı işletme gerilimi bulunmaktadır. Büyük santraller ile büyük “Transformatör Merkezleri” (TM)’lerin birbirleriyle irtibatı ülkemizi saran 380 kV iletim hatları ile sağlanmaktadır. 380/154 kV TM’leri sayesinde iletim sisteminin 154 kV ile 380 kV seviyeleri birbirine bağlanmakta ve bu iki gerilim seviyesi arasında çift yönlü güç akışına imkân sağlanmaktadır. 380 kV seviyesine göre daha küçük ölçekte güç alışverişine izin veren 154 kV iletim sisteminde, çok sayıda 154/34,5-33 kV TM’ler sisteme bağlanmaktadır. Bu TM’lerde orta gerilim dağıtım sistemi ile güç alışverişi yapılmaktadır. Şekil 2.7’de Türkiye iletim sistemi transformatör güçlerinin yıllar itibariyle gelişimi verilmiştir.

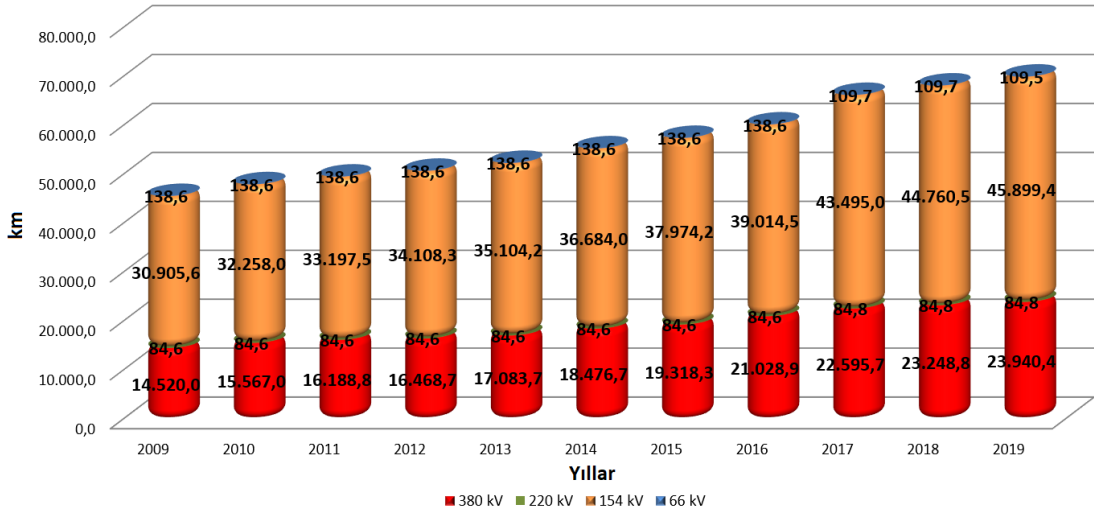


Şekil 2.7 : Ülkemiz iletim sistemi transformatör güçlerinin yıllara göre değişimi [36].

İletim sistemimizde özel durumlar hariç genellikle 1272 MCM, 954 MCM, 795 MCM ve 477 MCM kesitli iletkenler kullanılmakta olup, yeni tesis edilen iletim hatlarında en büyük güç taşıma kapasitesine sahip 1272 MCM iletkenler tercih edilmektedir. Şekil 2.8’de Türkiye iletim hattı uzunluklarının yıllar itibariyle değişimi gösterilmiştir.

2.7 İletim Sistemlerinin İşletilmesi ve Kontrolü

Enterkonnekte sistem, içinde çok sayıda farklı değişkeni barındıran dinamik bir yapıya sahiptir. Üretim ve tüketimdeki dalgalanmalar, sistemde yaşanan arızalar (bir iletim hattının devre dışı kalması vb.) gibi yük akışını etkileyecek birçok olay meydana gelmektedir. Sistem koşullarında her an yaşanabilen bu değişiklikler esnasında bile iletim sistemi kararlı bir şekilde elektriksel sınırlar içerisinde işletilebilmelidir.



Şekil 2.8 : Ülkemiz iletim hattı uzunluklarının yıllar itibariyle gelişimi [36].

Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği'ne [37] göre, sistemin nominal frekansı 50 Hz olup, TEİAŞ tarafından 49,8 Hz ile 50,2 Hz aralığında kontrol edilir. Şebekeye bağlı santrallerin frekans dalgalanmalarına karşı 47,5 Hz ile 52,5 Hz değerleri arasında belirtilen süreler boyunca sisteme bağlı kalabilmesi zorunlu kılınmıştır. Ayrıca, yönetmeliğe göre, şebeke bağlantı noktasında meydana gelen $\pm\%10$ 'a kadar olan gerilim dalgalanmaları (0,9pu – 1,1pu) normal işletme koşulları olup, ilgili üretim tesisleri E.18.6 numaralı “Reaktif Güç Desteği Sağlanması” bölümünde belirtilen esaslara uymalıdır.

Yük akışında meydana gelen değişiklikler sonucunda hızlı ve doğru kararlar vermek, sistemin sağlıklı bir şekilde işletilerek enerji talebinin kesintisiz bir şekilde karşılanması açısından çok önemlidir. Bununla birlikte, artan enerji talebiyle doğaları gereği kesintili üretim gerçekleştiren yenilenebilir enerji kaynaklarının sistemdeki paylarının artması enterkonnekte sistemin kararlı bir şekilde işletilmesini giderek daha karmaşık bir hale getirmektedir.

Sistemde meydana gelen her bir değişiklik, sistem işletmecileri tarafından değerlendirilir ve oluşan yeni koşullara göre sistemin en iyi koşullarda işletilmesi amaçlanır. Yük artışları, elektriksel teçhizatlardan herhangi birinin devre dışı kalması iletim hattı veya transformatör kapasitelerinin aşılması, durumlarda gerekli önlemler kısa zamanda ve doğru şekilde alınmazsa, arıza daha geniş bir alanda etkisini gösterecektir.

Arıza veya aşırı yük artışı sonucu herhangi bir elektriksel teçhizatın devre dışı kalması ya da daha fazla yüklenememesi sonucunda çözüm bekleyen yeni bir güç akış denklemi ortaya çıkacaktır. Güç talebinin karşılanması sistem işletmecileri tarafından farklı üretim birimlerine yük al/at talimatları verilip teçhizat kapasiteleri aşılmadan sistem dengede tutulmaya çalışılacaktır. Bu durumlarda en büyük sorun, bir TM'deki yükü karşılayacak herhangi bir iletim hattının kapasitesinin aşılmamasıdır. İletim hattı kapasitesinin aşılmaması için bu TM'lere bağlı yüklerde enerji kesintisi yapılmak zorunda kalınacak ve sisteme bağlı kullanıcılar enerjisiz kalacaktır. Ayrıca bu durum hat kapasitelerine bağlı olarak üretim birimlerinde kısıtlamalara ve enerji maliyetlerinde de artışa neden olabilecektir.

Tüketim bölgelerine yakın noktalara tesis edilecek DGS'ler ile iletim hatlarının yükü azaltılabilir ve iletim sistemlerinin yönetimi daha kolay bir hale gelebilir. Bu tez çalışmasında, DGS'ler bu amaçla güç sistemine en uygun bağlantı noktasından ilave edilerek, Powerworld Simulator programında modellenen iletim sistemine katkıları çeşitli arıza senaryoları ve farklı çalışma koşulları altında incelenmiştir.

2.8 Doğrusal Programlama

Powerworld Simulator programında “Optimal Güç Akışı (OGA)” çözümleri için “Doğrusal Programlama (DP)” metodu kullanılmaktadır. Programda yapılan OGA çözümleri doğrultusunda gerilim sınırlarının ve sistem elemanlarının güç taşıma kapasitelerinin aşılmadığı en düşük maliyetli çözümler elde edilmektedir.

DP, belirli bir problemin optimizasyon problemlerini çözmeye ile ilgilenen uygulamalı matematik dalının adıdır. Doğrusal programlama problemleri, belirli sayıda kısıtlamaya tabi olarak en aza indirilmesi veya maksimize edilmesi gereken doğrusal bir maliyet fonksiyonundan (belirli sayıda değişkenden) oluşur [38].

DP, üç bölümden oluşmaktadır. Bunlardan ilki, probleme ait değişkenlere bağlı olarak formüle edilen, minimize veya maksimize edilmesi hedeflenen amaç fonksiyonudur. Örnek olarak, bir güç sisteminde en düşük maliyetle enerji talebinin karşılanması problemi verilebilir. İkincisi ise, problemlere ait değişkenlerin sınır değerlerini içeren fonksiyondur. Bu duruma örnek olarak, güç sistemindeki elektriksel sınırların dikkate alınması (iletim hattı, transformatör ve üretim kapasiteleri vb.) verilebilir. Son olarak karar değişkenlerinin negatif, pozitif veya sifıra eşit olup olamayacağına dair kısıtları

DP tablosu, bir temel uygulanabilir çözümden diğerine geçmek için kullanılır. Döndürme (pivoting) işlemi, temel değişkenler kümesini değiştirerek bir temel çözümden diğerine geçmek için kullanılır. Cebirsel satır işlemlerine dayanır. Bu işlemden önce, x_p 'nin temelde x_q ile değiştirmek istendiği varsayılır (x_q temel ve x_p temel dışı yapılı). Daha sonra döndürme işlemi üç aşamada tamamlanır:

- Döndürme elementi y_{pq} belirlenir.
- $y_{pq} = 1$ yapmak için döndürme satırı normalleştirilir.
- Döndürmenin diğer tüm elemanlarını sıfırlamak için satır işlemleri gerçekleştirilir (sütun q).

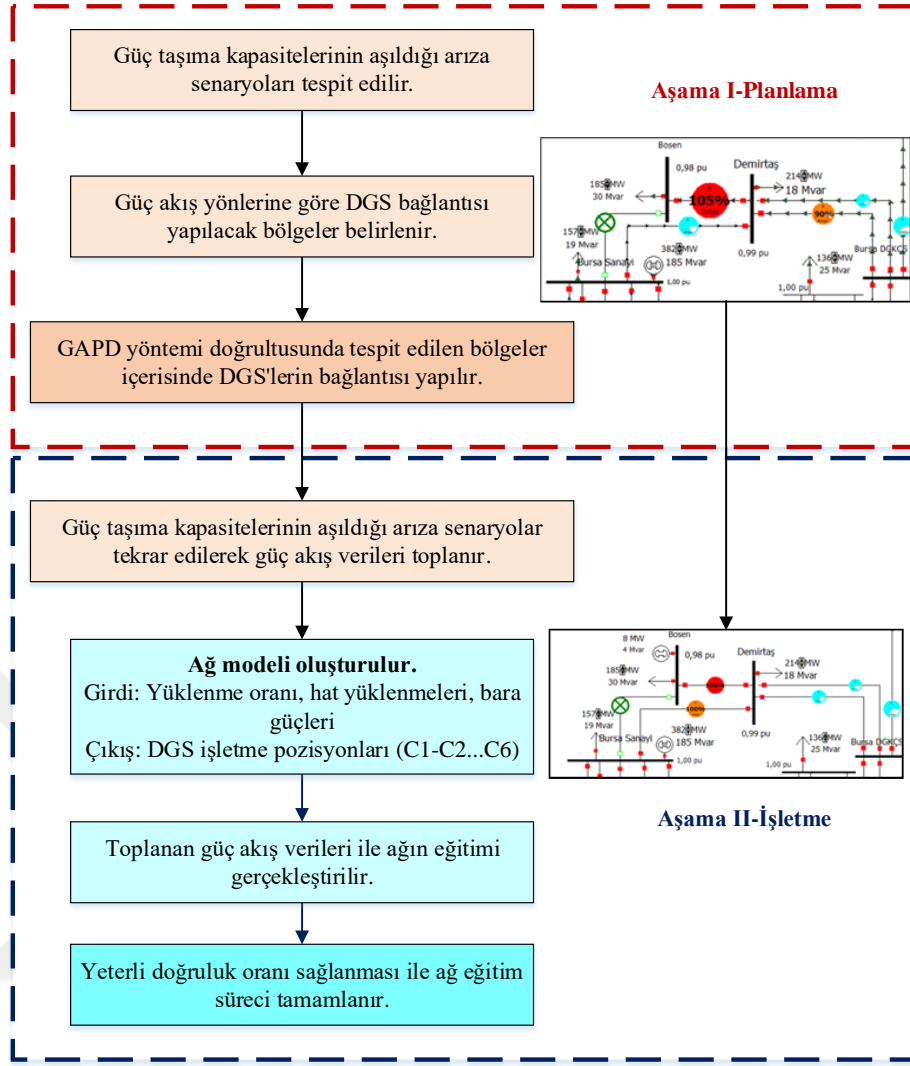
Yöntemde önemli bir aşama da çıkış temel değişkenlerinin ve temel olmayan parametrelerin seçimidir. Temel değerlerden çıkmak için, ε değeri sıfırdan büyük seçilerek çarpma işlemi uygulanır ve temel değerlerden çıkış sağlanır. Temel olmayan değişken belirlemede ise maliyet fonksiyonunun nasıl değiştiğine bakılır. Amaç fonksiyonundaki değişim r_i değerine bağlıdır. Göreceli maliyetlerin, her bir döndürmeden (pivoting) sonra güncellenmesi gerekir. Bu durum, basitçe tabloya temel olmayan değişkenler için azaltılmış maliyetlerden ve temel değişkenler için sıfırlardan oluşan ek bir satır eklenerek yapılabilir. Son olarak, maliyet fonksiyonunun negatifi tablonun sağ alt köşesine eklenir ve işlem bitirilir. Algoritmanın akışı aşağıdadır:

- Algoritmaya, uygulanabilir temel bir çözümlerle başlanır.
- İlk tablo oluşturulur:
 - A ve b değerleri ayarlanır.
 - Temel olmayan değişkenler için ilk düşürülmüş maliyet hesaplanır.
 - Sağ alttaki eleman başlangıç maliyetinin negatiline ayarlanır.
- $r_i < 0$ iken
 - En negatif maliyete (q) sahip olan temel değeri girmek için değişken bulunur.
 - Temeli (p) terk etmesi gereken değişkeni belirlemek için ε - test kullanılır.
 - y_{pq} elemanı üzerinde döndürülür (pivoting aşaması).

3. SİSTEM MODELLEMESİ VE SİMÜLASYON ÇALIŞMALARI

Güç sistemlerinde herhangi bir teçhizatın devre dışı kalması nedeniyle sistemin diğer elemanları daha fazla yüklenebilmekte ve bu elemanların iletim kapasitelerinin aşılması sonucu arz güvenliğini tehlikeye düşürecek durumlar oluşmaktadır. Dağıtık Güç Sistemlerinin (DGS)'lerin sistem içerisinde yerleşeceği Transformatör Merkezleri (TM)'ler belirlenirken arıza koşullarındaki yük akışını esas alan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem ile herhangi bir arıza esnasında güç taşıma kapasitesi aşılan iletim hatları üzerindeki yükün azaltılarak, oluşan yeni koşullarda sistemin sağlıklı bir şekilde çalışmasını sağlayacak şekilde DGS'lerin sisteme dahil edilmesine ve işletilmesine odaklanılmaktadır. Çok sayıda üretim merkezinin ve yükün bulunduğu güç sistemlerinde, sistem koşulları içerisinde en doğru tepkiyi vermek oldukça zorlu bir süreçtir. Arıza durumlarında sistemi desteklemesi için ilave edilen DGS'lerin sistem yönetimini daha da karmaşık bir hale getireceği açıktır. Doğru DGS'lerin devreye alınmaması veya verilecek tepkinin gecikmesi ise arıza sonrası sistemin dengeye oturması için sorun teşkil edecektir.

Tezde önerilen yöntem, Şekil 3.1'de gösterildiği gibi sistem planlaması ve işletmesi olmak üzere iki temel aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle ilk aşama olan planlamada Doğrusal Programlama (DP)-tabanlı Optimal Güç Akışı (OGA) verileri doğrultusunda iletim hatlarının kapasitelerinin aşıldığı durumlar tespit edilmiş ve bu durumlarda iletim hatlarındaki güç akış yönleri esas alınarak DGS'lerin bağlantısının yapılacağı bölgelerin belirlendiği analitik bir yöntem önerilmiştir. Yapılan planlama doğrultusunda sistem işletilmesi aşamasında, OGA analizi yapılarak elektriksel sınırlar içerisinde en düşük maliyet elde edilecek şekilde sisteme dahil edilmiş olan DGS'lerin hangi durumlarda ne ölçüde devreye gireceği belirlenmiştir. Ardından ikinci aşama olan işletmede, güç akış verileri kullanılarak DGS'lerin hangi koşullarda üretime geçmesi gerektiğini otomatik olarak algılayan, hızlı ve güvenilir bir Yapay Sinir Ağı (YSA) modeli geliştirilmiştir. Ağın girdisini güç akış verileri oluştururken önerilen GAPD yöntemi doğrultusunda sisteme bağlantısı yapılan DGS'lerin işletme pozisyonları ağın çıktısını oluşturur.



Şekil 3.1 : Önerilen yönteme ait genel akış diyagramı.

3.1 Güç Akışı Parametreleri Değerlendirme (GAPD) Yöntemi ile DGS Bağlantı Noktasının Tespiti

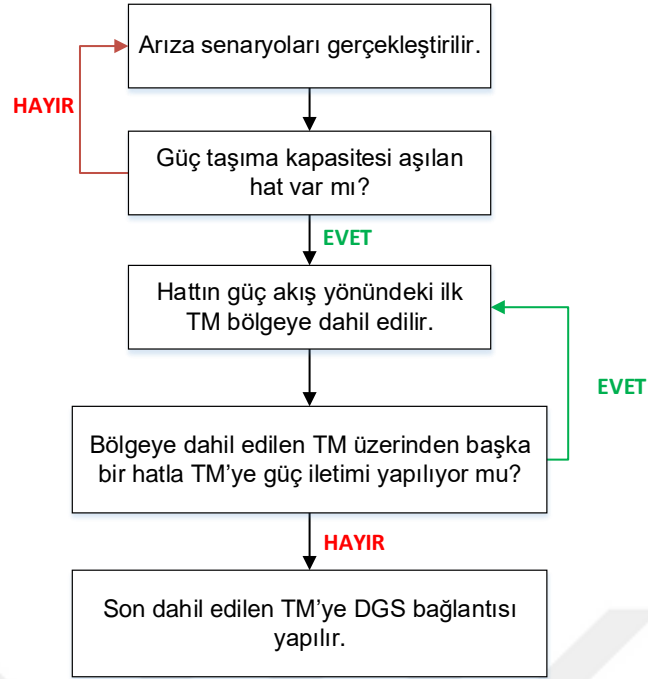
Tez çalışmasında, DGS'lerin elektriksel açıdan uygun bağlantı noktasının ve işletme koşullarının belirlenmesi için, öncelikle Bursa ili iletim sistemi modeli geliştirilerek farklı şebeke koşulları altında simülasyonları gerçekleştirilmiş; daha sonra da elde edilen veriler, güç akışı parametrelerinin yapay sinir ağı tabanlı akıllı bir yöntemle değerlendirildiği yeni bir yaklaşımla ele alınmıştır.

Bu yöntemin ilk adımı olarak, mevcut güç sisteminde meydana gelebilecek iletim hatlarının devre dışı kalması ve sistem bağlantı noktalarında güç alış-veriş yapılamaması durumlarının simülasyonları gerçekleştirilerek bu koşullar altında sistemdeki iletim hatlarının kapasitesinin aşıldığı senaryolar tespit edilir. Ardından bu

arıza senaryolarında kapasitesi aşılan iletim hattının güç akış yönü tespit edilir. Güç akış yönünde bulunan her TM'den çekilen yük bu iletim hattının kapasitesinin aşılmasından sorumludur. Bir başka deyişle arıza sonucu oluşan yeni durumda, güzergahı üzerinde bulunan TM'lere bağlı yükleri beslemek için bu iletim hattının güç taşıma kapasitesi artık yeterli olmamaktadır.

Kapasitesi aşılan iletim hattından geçen akım doğal olarak bir TM'de son bulur. Güç taşıma kapasitesi aşılan hattının güç akış yönündeki ilk TM ile bu hattın akımının son bulunduğu TM arasında bir bölge oluşur. Bu bölge içinde bulunan herhangi bir TM'ye bağlanacak DGS, kapasitesi aşılan iletim hattının üzerindeki yükü azaltacaktır. DGS bağlantısının yapılacağı bölgenin sınırları belirlenirken TM'lerin 154 kV baralarındaki güç akış yönleri dikkate alınır. TM'ye güç sağlayan iletim hattının yönü eksi (-), bu TM'den başka bir TM'ye güç akışı yapılan iletim hattının yönü artı (+) olarak belirlenir. Kapasitesi aşılan hattın ulaştığı ilk TM'deki yönü de böylece (-) olacaktır. Eğer bir TM'nin bağlandığı bütün iletim hatlarının (-) yönlü ya da bu hatlarda herhangi bir güç akışı yoksa (devre dışı olma durumu) bu TM, kapasitesi aşılan hattın beslediği bölgenin son noktasıdır. Kapasitesi aşılan hattın iletilen güç bu TM'nin ihtiyacını karşılayamamış ve sistem bu TM'yi başka bir noktadan beslemek zorunda kalmıştır. İncelenen TM'nin bağlantı hatlarının içerisinde (+) ve (-) yönlü olanlar birlikte varsa bölgenin sınırları (+) yönlü iletim hattının bağlandığı diğer TM'ye doğru genişler. Kapasitesi aşılan hattın gelen güç, bu TM'deki yükleri besleyip (+) yönlü iletim hattı ile başka bir TM'ye bağlanmıştır.

Kapasitesi aşılan hattın beslediği bölge sınırları belirlendikten sonra, DGS'nin bu bölge içerisinde nereye konulacağı belirlenmesi gerekmektedir. Bölgenin son TM'ye kadar iletim hatlarındaki güç akışı tek bir yönlü olacaktır. Son TM'ye yerleştirilecek DGS ile kapasitesi aşılan hat ve bu hatla aynı yönde güç akışı sağlayan diğer tüm hatların üzerindeki yük azaltılabilecek dolayısıyla hat kayıpları da önerilen bu yöntemle en aza indirilecektir. Buna ek olarak son TM'ye diğer yönden güç sağlayan iletim hattının güzergahında bulunan TM'lere bağlanacak bir DGS, kapasitesi aşılan iletim hattının yükünü azaltacak olsa da belirlenen bölgenin dışındaki iletim hatlarının üzerindeki yükü arttıracak ve ekonomik bir çözüme ulaşılamayacaktır. Şekil 3.2'de, önerilen yöntemin ilk aşamasına ait akış diyagramı verilmektedir.



Şekil 3.2 : GAPD yöntemi ile DGS bağlantı noktası tespitine ait akış diyagramı.

DGS'lerin güç sistemi içerisindeki bağlantı noktalarının belirlenmesinin ardından ikinci aşamada farklı arıza, yenilenebilir enerji üretim değerleri ve yük durumlarında güç akış analizleri yapılmış ve sisteme ilave edilen DGS'lerin hangi durumlarda devreye girdiği tespit edilmiştir. Güç akış verileri YSA'da işlenerek ağın eğitimi sağlanmış ve sistem koşullarını göz önünde bulundurularak DGS'lerin işletme pozisyonlarına karar verebilen bir YSA modeli oluşturulmuştur.

3.2 Bursa İlinin Türkiye İletim Sistemi İçerisindeki Konumu

Bu tez çalışmasında, Türkiye enterkonnekte şebekesinin bir parçası olan Bursa iline ait iletim sisteminin 2019 yılının başlangıcındaki durumu modellenerek incelenmiştir. Bursa, Türkiye'nin 4. büyük şehri olmakla beraber ülkenin önemli sanayi kentlerinden biridir. Nüfusun çok büyük bir bölümü şehir merkezinde toplanmış olup sanayi bölgelerinin çoğunluğu da yine şehir merkezinde bulunmaktadır. Ayrıca başta İnegöl ve Gemlik ilçelerinde olmak üzere birçok ilçesinde büyük/orta ölçekli sanayi bölgeleri bulunmaktadır. Bu sebeple elektrik tüketiminin büyük bir kısmı şehir merkezinde toplanmış olup şehir merkezine uzak bazı büyük ilçelerinde de önemli boyutlarda enerji tüketimi yapılmaktadır. Bursa aynı zamanda önemli boyutta termik, doğalgaz komine çevrim santralleri ve RES üretiminin bulunduğu Güney Marmara bölgesinde bulunmaktadır. Bu bölgede bulunan Çanakkale, Balıkesir ve Bursa şehirlerinden

ülkenin en büyük şehri İstanbul'a büyük ölçekte enerji akışı yapılmaktadır. Bu koridorun geçiş güzergahında bulunan Bursa'da pek çok kritik TM ve iletim hatları bulunmaktadır. Bursa hem kendi içindeki yüksek elektrik tüketimi hem de ulusal iletim sistemi içerisindeki önemli konumu sebebiyle son yıllarda ciddi boyutlarda tesis yatırımları almış olup, şehirde planlama veya yapım aşamasında bulunan pek çok tesis bulunmaktadır. Şehrin mevcut iletim sisteminde artan üretim ve tüketim değerlerine bağlı olarak kapasite artırımı yönünde yenileme çalışmaları da yapılmış olup belirli bölgelerde hala bu çalışmalara ihtiyaç bulunmaktadır.

3.3 Bursa İli İletim Sisteminin Modellenmesi

Şehirdeki elektrik üretiminin büyük bölümü konvansiyonel santrallerden (doğalgaz kombine çevrim santrali, termik santral) sağlanırken son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının (RES ve HES) üretimdeki payı artmıştır. RES'ler özellikle şehrin batı ve kuzey bölgelerinde yoğunlaşmıştır. Şekil 3.3'te Powerworld Simulator programı ile geliştirilen, Bursa ilinin iletim sistemi modelinin ayrıntılı simülasyon modeli verilmiştir.

Örnek bir modeli oluşturulan Bursa iletim sisteminde, Bursa "Doğalgaz Kombine Çevrim Santrali (DGKÇS)" şebekeye 380 kV ve 154 kV seviyesinden bağlanmakta iken kalan santraller 154 kV seviyesinden iletim sistemine bağlantılıdır. Bu santrallere ait kurulu güç değerleri Çizelge 3.1'de verilmektedir. Bununla birlikte şehirde, TEİAŞ'a ait 2 adet 380/154 kV ve 20 adet 154/34,5 kV TM bulunmaktadır. Sisteme bağlı transformatör merkezleri Çizelge 3.2'de gösterilmiştir. Bursa Sanayi TM sahip olduğu transformatör kapasitesi ve 380-154 kV bağlantı hatları ile şehrin iletim sisteminin merkezidir. Şehrin merkezinde bulunan ve tüketimin yüksek olduğu pek çok TM'ye güç bu noktadan sağlanmaktadır. Bursa Doğu TM ise, Bursa DGKÇS'den Adapazarı ve Kocaeli yönüne giden 380 kV hatlara bağlı olup, şehrin doğu yakasının yükünü önemli miktarda karşılamaktadır.

Bursa Sanayi ve Bursa Doğu TM'lerinin 380 kV seviyesindeki bağlantıları şehre enerji sağlayan birer generatör olarak modellenmiştir. Modelleme esnasında bu generatörlerin maksimum gücü, 380/154 kV transformatörlerin toplam nominal güçleri toplamı olan 1250 ve 600 MVA olarak belirlenmiştir. Generatörlerin 0,9 güç faktöründe çalıştıkları kabul edilmiştir.

Çizelge 3.1 : Bursa iletim sistemine bağlı üretim tesisleri.

Üretim Tesisi	Kurulu Güç (MW)
Bursa DGKÇ	1400
Aksa	160
Yalova RES	54
Çakıl RES	62
Kürekdağı RES	32
Orhaneli TES	210
Poyraz RES	30
Devecikonağı HES	23
Bandırma RES	45
Uluabat HES	100
Harmanlık RES	50

Çizelge 3.2 : Bursa iletim sistemine bağlı transformatör merkezleri.

Transformatör Merkezi	Gerilim Seviyeleri (kV)
Bursa Sanayi	380/154
Bursa Doğu	380/154
Görükle	154/34,5
Akçalar	154/34,5
Karacabey	154/34,5
Mustafakemalpaşa	154/34,5
Orhaneli	154/34,5
Beşevler	154/34,5
Bursa GIS	154/34,5
Bursa 3	154/34,5
RB Karesi	154/34,5
Otosansit	154/34,5
Kestel	154/34,5
Turanköy	154/34,5
Yenişehir	154/34,5
İnegöl	154/34,5
Gemlik	154/34,5
Karsak	154/34,5
Orhangazi	154/34,5
Yalova	154/34,5

Şehir ayrıca batıda Göbel, doğuda Paşalar, kuzeyde Karamürsel TM'leri üzerinden enterkonnekte sistemin 154 kV seviyesine bağlanmaktadır. Bu bağlantılar ilgili baralara bağlı generatörlerin 0,9 güç faktöründe çalıştıkları kabul edilmiştir. Generatörlerin güç sınırları TM'lere bağlı hatların maksimum güç taşıma kapasitelerine uygundur. Sistem koşullarına bağlı olarak bu üç TM'den bağlı oldukları hat kapasiteleri sınırında Bursa'ya güç alışverişi yapılabilmektedir. İletim sisteminde, Çizelge 3.3'te gösterildiği gibi 154 kV seviyesinde 55 adet iletim hattı bulunmaktadır

Çizelge 3.3 : : Bursa iletim sisteminde bulunan iletim hatları.

İletim Hattı	Uzunluk(km)	Kesit (MCM)	Güç Taşıma Kapasitesi (MVA)
Bandırma RES-Akçalar	46,538	1272	247
Akçalar-Harmanlık RES	17,316	1272	247
Akçalar-Uluabat HES	22,383	1272	247
Bosen-Demirtaş	14,779	795	182
Bursa 3-Bursa GIS/1	5,290	1272	247
Bursa 3-Bursa GIS/1	5,450	1272	247
Bursa DGKÇ-Demirtaş/1	11,026	795	182
Bursa DGKÇ-Demirtaş/2	13,026	795	182
Bursa DGKÇ-Gemlik	15,293	1272	247
Bursa DGKÇ-Orhangazi/1	32,316	1272	247
Bursa DGKÇ-Orhangazi/2	35,500	1272	247
Bursa DGKÇ-RB Karesi	11,174	1272	247
Bursa DGKÇ-Otosansit	17,053	1272	247
Bursa DGKÇ-Karsak	25,900	1272	247
Bursa GIS-Bursa Sanayi/1	10,200	1272	247
Bursa GIS-Bursa Sanayi/2	10,100	1272	247
Bursa Sanayi-Beşevler	4,253	1272	247
Bursa Sanayi-Bosen	1,353	1272	247
Bursa Sanayi-Demirtaş	9,975	477	132
Bursa Sanayi-Görükle	16,575	1272	247
Bursa Sanayi-Orhaneli	33,436	795	182
Beşevler-Orhaneli	29,283	795	182
Çakıl RES-Kürekdığı RES	10,305	1272	247
Çakıl RES-Yalova RES	20,400	1272	247
Çakıl RES-Orhangazi	20,200	1272	247
Deveciknağı HES-Orhaneli	37,708	795	182
Devecikonağı HES-Göbel	46,053	795	182
Görükle-Akçalar	16,568	1272	247
Bursa Doğu-İnegöl	26,125	1272	247
İnegöl-Kestel	26,697	1272	247
İnegöl-Orhaneli/1	73,655	795	182
İnegöl-Orhaneli/2	73,655	795	182
Karacabey-Göbel	26,807	477	132
Karacabey-Harmanlık RES	35,925	1272	247
Karsak-Orhangazi	7,557	1272	247
Kestel-Bursa Doğu	13,750	1272	247
Kestel-Turanköy	10,432	1272	247
M.Kemalpaşa-Göbel	23,198	795	182
M.Kemalpaşa-Poyraz RES	21,053	795	182
Orhangazi-Aksa	40,297	1272	247
Orhangazi-Paşalar	70,524	477	182
Poyraz RES-Orhaneli	68,705	795	182
Otosansit-Bursa DGKÇ	17,053	1272	247
Otosansit-RB Karesi	7,422	1272	247
Otosansit-Kestel	13,080	1272	247
Turanköy-Bursa Doğu	3,800	1272	247
Yalova-Aksa	9,296	477	132
Yalova-Gemlik	44,600	477	132
Yenişehir-Bursa Doğu/1	25,000	1272	247
Yenişehir-Bursa Doğu/2	25,000	1272	247
Yenişehir-Paşalar	36,051	477	132
Yalova-Karamürsel	48,987	477	132
Aksa-Karamürsel	74,660	1272	247
Bursa 3-Bursa Doğu	21,015	1272	247
Görükle-Uluabat HES	21,148	1272	247

3.4 Optimal Güç Akış Analizleri

Sistemin işletilmesi esnasında meydana gelebilecek farklı durumlar (yük dalgalanmaları, iletim hatlarındaki arızalar, bölgeler arasındaki güç akışındaki kısıtlar) göz önüne alınarak güç akış analizleri yapılmış ve sistemin kararlı çalışmasına veya arz güvenliğine engel durumlar belirlenmeye çalışılmıştır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yapan santrallerin (RES ve HES) farklı enerji üretimi durumlarında (%0 - %50 - %100) güç akış analizi yapılarak, sistem kararlılığı ve arz güvenliğine katkıları değerlendirilmiştir. Modellenen iletim sisteminde hali hazırda bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim değerleri kurulu güçleri üzerinden belirlenmiş olup, bu kaynakların üretimindeki dalgalanmalar, kurulu güç değerleri üzerinden hesaplanmıştır. Güç akış analizleri sonucu elde edilen veriler doğrultusunda farklı işletme koşullarında sistemin zayıf noktaları belirlenerek DGS'lerin sistemin kararlılığına ve arz güvenliğine katkı sağlayacak şekilde sisteme dahil edilmesi amaçlanmıştır.

Her olası senaryoda, maliyet ve iletim hattı güç taşıma kapasiteleri baz alınan OGA analizi yapılarak, hatların güç kapasitelerinin aşılmadığı en düşük maliyetteki işletme koşulları elde edilmeye çalışılmıştır. Koşulların elde edilemediği durumlar nedenleriyle beraber incelenmiştir. RES ve HES üretimindeki dalgalanmalar, şebeke bağlantılarındaki güç akışı ve iletim hatlarındaki arıza durumlarının ele alındığı ve bu durumların birbirleriyle kombine edildiği simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.4'te simülasyonu yapılan çalışma koşulları verilmiştir. Ayrıca simülasyonlar gerçekleştirilirken, sistemin işletme sınırlarını ve kritik noktalarını daha belirgin bir şekilde elde etmek adına puant yük koşulları da ele alınmıştır.

Çizelge 3.4 : Güç akış analizi yapılan durumlar.

Yenilenebilir Enerji Üretimi	Sistem Bağlantıları	İletim hatları
%100	Arıza yok	Arıza yok
%100	Bir bağlantı devre dışı	Arıza yok
%100	Arıza yok	Bir hat arızalı
%50	Arıza yok	Arıza yok
%50	Bir bağlantı devre dışı	Arıza yok
%50	Arıza yok	Bir hat arızalı
%0	Arıza yok	Arıza yok
%0	Bir bağlantı devre dışı	Arıza yok
%0	Arıza yok	Bir hat arızalı

3.4.1 Simülasyon kriterleri

Tez çalışması kapsamında enerji maliyetleri analizi yapılmamış, sadece farklı enerji kaynaklarının türlerine göre kıyaslanarak maliyetleri belirlenmiştir. OGA'nın gerçekleştirilmesi esnasında hangi kaynağın ne ölçüde sisteme enerji sağlayacağını belirlenmesi için kaynak türü ve yük akış sınırları baz alınarak belirli bir sıra oluşturulmuştur. Bu sıra;

1. Yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı üretim yapan santraller,
 2. 380 kV enterkonnekte şebekeden gelecek gücü temsil eden Bursa DGKÇS, Bursa Sanayi ve Bursa Doğu TM ya bağlı generatörler,
 3. Aksa ve Orhaneli termik santralleri,
 4. Diğer şehirlerdeki TM'ler ile 154 kV seviyesinde bağlantıyı temsil eden Göbel, Karamürsel ve Paşalar TM'lerde bulunan generatörler şeklindedir.
- Doğal olarak en ucuz maliyetli kaynaklar olarak RES ve HES'ler belirlenmiş, sistem sınırlarının aşılmayacağı ve kapasitelerinin imkân tanıdığı ölçüde sisteme enerji vermeleri sağlanmıştır.
 - Şehrin 380 kV seviyesindeki bağlantıları ise hem bağlandığı gerilim düzeyinin getirdiği avantaj hem de sahip olduğu pek çok 154 kV fider sayesinde daha fazla güç akışına izin vermesi nedeniyle ikinci sırayı almıştır.
 - Yakıt maliyeti bulunan Orhaneli ve Aksa santralleri üçüncü sırada yer alırken, enerji maliyetleri enterkonnekte şebekeye bağlı olmalarından dolayı 380 kV seviyesindeki bağlantıları ile iç içe geçirilip devreye girmeleri konusunda aralarında keskin bir fark olmaması sağlanmıştır.
 - Dördüncü ve son sırada Bursa'nın komşu şehirlerle 154 kV seviyesindeki bağlantıları yer almıştır.
 - Sistemin işletme sınırları içerisinde RES, HES ve diğer santraller ile elde edilen güçler tam kapasiteye ulaştığında ve 380 kV TM'lerden alınabilecek güç herhangi bir sebeple (hat kapasitelerinin aşılacak olması vb.) sınıra ulaştığında şehrin, komşu şehirlerdeki TM'lerden enerji ihtiyacını karşılaması sağlanmıştır. Ayrıca Bursa'dan diğer şehirlere güç teminini temsilen bu grupta bulunan generatörler şebeke koşullarına bağlı olarak Bursa'dan güç çekebilecek şekilde tasarlanmıştır.

Şebeke bağlantıları ile güç alışverişleri incelenirken tam yük altında analiz yapıldığından, şehre güç sağlayan ana merkezler Bursa Sanayi TM, Bursa DGKÇS, Bursa Doğu TM bağlantılarından devrede oldukları sürece sadece şehre enerji sağlaması modelleme esnasında kriter olarak alınmıştır. Güç talebinin az ve şehirdeki santrallerin üretiminin fazla olduğu durumlarda bu TM'lerden de 380 kV enterkonnekte sisteme enerji verilmesi (154 kV seviyesinden 380 kV seviyesine olacak şekilde) mümkündür. Şebeke bağlantılarından güç alışverişinin olmadığı durumlarda ilgili baralarda yük akışına engel herhangi bir arıza durumunun analizi yapılmamış, sadece o bölgelerdeki güç talebinin yoğun olduğu durumlar hesaba katılarak bu baralardan şehre aktif ve reaktif güç alışverişi yapılamayacağı durumlar incelenmiştir. Böylece bu bağlantıların şehrin iletim sistemi üzerine etkileri elde edilmek istenmiştir.

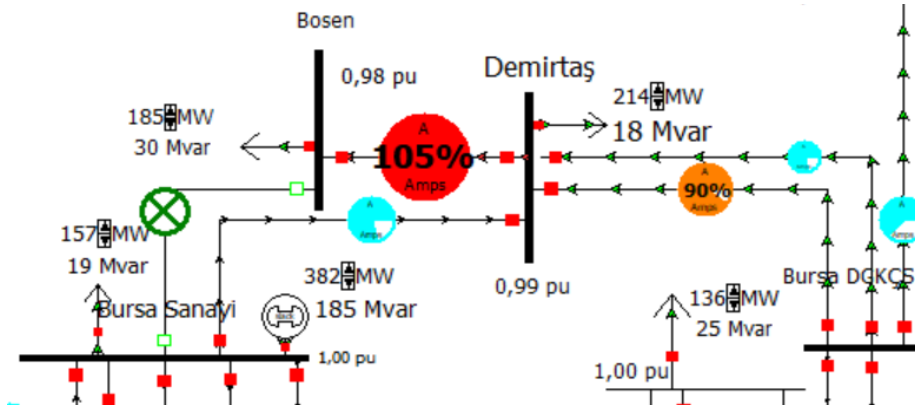
İletim hatlarında meydana gelen arıza durumları incelenirken, arızanın uzun süreli olduğu varsayılarak sistemin herhangi bir iletim hattının devrede olmadığı şekilde çalışma koşulları incelenmiştir. Bandırma RES-Akçalar gibi herhangi bir HES veya RES'in sisteme bağlantısının tek hatla sağlandığı durumlarda bu hattın devre dışı kalmasının ilgili RES veya HES in üretim yapmadığı durumu temsil etmesinden ve bu durumun zaten yenilenebilir enerji kaynaklarından üretim yapılmadığı kombinasyonlarda incelenmesinden dolayı, bu hatların arıza senaryolarının incelenmesine gerek görülmemiştir.

3.4.2 Optimal güç akış (OGA) sonuçları

Gerçekleştirilen simülasyonlarda, yenilenebilir enerji üretiminin, toplam üretim kaynakları içerisinde önemli bir paya sahip olması nedeniyle güç akışına önemli bir etkisi olduğu tespit edilmiş ve bu etkiye dayanarak sisteme eklenecek yeni DGS'lerin sisteme olası olumlu etkileri öngörülmüştür. Bu sebeple simülasyon sonuçlarını rüzgâr üretiminin %0 ve %100 olduğu durumlarda iki ayrı şekilde yorumlamak ve analizler sonucu sisteme dahil edilmesi planlanan DGS'lerin sisteme olası etkilerini tahmin etmek açısından daha verimli olacaktır.

OGA simülasyonu gerçekleştirilen arıza senaryolarının üçünde sistemin çeşitli bölgelerinde bulunan bir veya daha fazla hattın güç taşıma kapasitelerinin aşıldığı, kararlı çalışma koşullarına geçilebilmesi için sistemden yük atılması gerektiği tespit edilmiştir. Bu durumları inceleyecek olursak;

şehirdeki RES veya HES'in üretim durumları da bu sonucu etkilememektedir. Şekil 3.6'da bu arıza senaryosu için sistem koşulları görülmektedir.



Şekil 3.6 : Senaryo 2'nin gerçekleşmesi.

- **Senaryo 3:** Bursa Sanayi TM'nin 380 kV seviyesindeki bağlantılarının devre dışı olması.

Bursa Sanayi TM üzerinden enterkonnekte şebekeden sağlanan güç ile RES/HES üretiminin olmadığı durumda şehrin batısındaki Görükle, Akçalar ve Karacabey TM'lerine, sanayi tüketiminin yoğun olduğu Bosen ve Demirtaş TM'lerine, şehrin nüfusunun önemli bir bölümünün enerji ihtiyacının karşılandığı Bursa GIS ve Bursa 3 TM'lerine önemli miktarda güç sağlanmaktadır. Bursa Sanayi TM'de yaşanan bu arıza sonucu şehir merkezindeki enerji talebini karşılamak için Bursa DGKÇS ve Bursa Doğu TM'lerinin 154 kV seviyesindeki bağlantılarından şehre daha fazla güç sağlanmaya başlanmaktadır. Ayrıca arızasız duruma göre Göbel TM üzerinden de şehre önemli oranda güç sağlanmaktadır. Şekil 3.7'de görüldüğü gibi RES/HES üretimi olmadığı durumda, 5 iletim hattının kapasiteleri aşılmaktadır:

- ❖ Bursa DGKÇS – Demirtaş/1 %10
- ❖ Bursa DGKÇS – Demirtaş/2 %26
- ❖ Bursa Sanayi- Demirtaş %14
- ❖ Bursa 3 – Bursa Doğu %5
- ❖ Orhaneli – Beşevler %65

İletim hatlarının bu derece yüklenmesi, iletim sisteminde zincirleme pek çok iletim hattının ve şehrin merkezindeki büyük TM'lerin devre dışı kalmasına neden olur. Bu arıza durumunda tüm Bursa genelini etkileyen kesintiler (blackout) görülebilir.

4. DGS'LERİN BAĞLANTI NOKTALARI VE İŞLETME KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

DGS'ler, çeşitli arıza durumlarında iletim sisteminde meydana gelebilecek kısıtlar sonucunda sistemden yük atılması gereken durumlarda devreye girerek iletim sistemi üzerindeki yükü azaltmaktadır. Bu nedenle, modellemede herhangi bir tüketim noktasının enerjisiz kalmaması amacıyla sisteme dahil edilmişlerdir. Bu doğrultuda sisteme dahil edilen DGS'lerin bağlantı noktalarının ve devreye girmesi gereken sistem koşullarının tespit edilmesi gerekir.

4.1 DGS'lerin Bağlantı Noktalarının Önerilen GAPD Yöntemi ile Tespiti

Bursa ili iletim sisteminde bahsedilen üç ayrı senaryo için bölgelerin sınırları ve bu bölgeler içerisinde hangi noktalara DGS konumlandırılacağı tespit edilmiştir. Buna göre;

- **SENARYO-1: Bursa Sanayi – Görükle iletim hattının devre dışı kalması durumu**

Karacabey-Göbel iletim hattının güç taşıma kapasitesi aşılmaktadır. Güç akışı incelendiğinde bu hat ile Göbel TM'den Karacabey TM'ye doğru güç iletimi yapılmaktadır. Bu sebeple oluşturulacak bölgenin ilk noktası Karacabey TM'dir.

Karacabey TM'deki güç akış yönleri incelendiğinde Akçalar TM'ye doğru güç akışının devam ettiği görülmektedir. Bölgenin sınırları Akçalar TM'ye doğru genişleyecektir. Akçalar TM'de ise Görükle TM'ye doğru güç akışı olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumda Görükle TM de oluşturulan bölgeye dahil edilecektir.

Görükle TM'nin bağlandığı üç iletim hattı bulunmaktadır. Akçalar – Görükle ve Akçalar - Uluabat HES – Görükle iletim hatları üzerinden Görükle TM yönüne güç akışı yapılmaktadır. Görükle TM'nin bağlı olduğu üçüncü hat Bursa Sanayi-Görükle hattıdır ve bu hattın devre dışı olduğu durum incelendiğinden bu hat üzerinde güç akışı yoktur. Oluşturulan bölge böylece Görükle TM'de son bulur. Senaryo 1'in

gerçekleşmesi durumunda bölge sınırlarındaki TM'lere bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri sırasıyla Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.1 : Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda Karacabey TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Göbel-Karacabey	-
Harmanlık RES-Karacabey	+

Çizelge 4.2 : Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda Akçalar TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Görükle-Akçalar	+
Harmanlık RES-Akçalar	-
Uluabat HES-Akçalar	-

Çizelge 4.3 : Senaryo 1'in gerçekleşmesi durumunda Görükle TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Görükle-Akçalar	-
Görükle-Uluabat HES	-
Görükle-Bursa Sanayi	Devre dışı

Bu sonuçlar doğrultusunda, Karacabey, Akçalar ve Görükle TM'lerini kapsayan bir bölge elde edilmiştir. Göbel-Karacabey iletim hattının kapasitesi bu üç TM'yi beslemek için aşılmaktadır. Karacabey, Akçalar ve Görükle TM'lerinden birine bağlanacak bir DGS, bu hattın yükünü azaltacaktır. GAPD yöntemi doğrultusunda, bölgede Göbel-Karacabey iletim hattından gelen gücün son bulunduğu Görükle TM'ye bağlanacak DGS, bölge içindeki diğer hatların da yükünü düşüreceğinden en uygun seçenek olacaktır. Özetle, önerilen yöntemle, Bursa Sanayi-Görükle iletim hattının devre dışı kalması sonucu yük atma zorunluluğu olmadan sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak için Görükle TM'ye bir DGS bağlantısı yapılmıştır.

- **SENARYO-2: Bursa Sanayi – Bosen iletim hattının devre dışı kalması durumu**

Bosen TM'nin güç talebi sadece Bosen – Demirtaş iletim hattı üzerinden sağlanmakta ve bu iletim hattının kapasitesi aşılmaktadır. Kapasitesi aşılınan iletim hattının güç akış güzergahındaki ilk TM olan Bosen TM ye giriş yönü (-) olup bu TM'ye bağlanan ikinci hat olan Bursa Sanayi – Bosen iletim hattı devre dışı olduğundan bu hatta güç akışı bulunmamaktadır. Bu sebeple bu arıza senaryosu için oluşturulacak bölge sadece

Bosen TM'yi kapsamaktadır. GAPD ile Bursa Sanayi-Bosen iletim hattının devre dışı kalması sonucu yük atma zorunluluğu olmadan sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak için Bosen TM'ye bir DGS bağlantısı yapılmıştır. Çizelge 4.4'te Bosen TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri verilmiştir.

Çizelge 4.4 : Senaryo 2'nin gerçekleşmesi durumunda Bosen TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Bosen-Demirtaş	-
Bursa Sanayi-Bosen	Devre dışı

• **SENARYO-3: Bursa Sanayi TM'nin 380 kV bağlantılarının devre dışı kalması durumu**

Sistemde 5 iletim hattının kapasitesi aşılmaktadır. Bu durum için farklı üç inceleme sonucu oluşan bir bölge belirlenmiştir. Bursa DGKÇS-Demirtaş/1 ve Bursa DGKÇS –Demirtaş/2 iletim hatlarının kapasitesi aşılmakta ve bu hatların güç akış yönünde devamı olan Bursa Sanayi-Demirtaş hattının da kapasitesi aşıldığından oluşturulacak bölgenin sınırlarının belirlenmesinde bu hattın sonrası referans alınmış olup Demirtaş TM bölge sınırlarına dahil edilmemiştir.

Bursa Sanayi-Demirtaş hattı, Bursa Sanayi TM'yi beslemektedir ve Bursa Sanayi TM' de güç akış yönü (-) dir. Bursa Sanayi TM, Beşevler TM üzerinden de beslenirken Bursa GIS, Görükle ve Bosen TM'ye de güç iletimi yapılmaktadır. Bu sebeple bölge Bursa GIS, Görükle ve Bosen TM'ye genişlemektedir. Bu üç TM'nin diğer bağlantı hatlarında da güç akış yönü (-) olduğundan bölgenin son sınırları bu noktalar olacaktır. Bursa 3-Bursa Doğu iletim hattının kapasitesi aşılmakta ve güç akış yönü Bursa 3 TM'de (-) olduğundan bölgenin ilk TM'si Bursa 3 tür. Bursa 3 TM'den Bursa GIS TM'ye giden 2 iletim hattı ile Bursa GIS beslenmektedir. Bu sebeple, bölge sınırlarına Bursa GIS TM de eklenmiştir. Bursa GIS TM, Bursa Sanayi TM ile irtibatını sağlayan iki iletim hattı üzerinden de beslendiğinden, oluşturulan bölge bu TM'de son bulmaktadır. Orhaneli-Beşevler iletim hattının kapasitesi aşılmakta ve güç akış yönü Beşevler TM'ye doğru olduğundan oluşturulan bölge bu noktadan başlar. Beşevler-Bursa Sanayi iletim hattı ile Bursa Sanayi TM de beslenmektedir ve bölge bu noktaya doğru genişlemektedir. Bursa Sanayi TM üzerinden Bursa GIS, Görükle ve Bosen TM'leri beslenmekte ve bu üç TM diğer bağlantı hatlarıyla da beslendiğinden bölge bu üç TM'de son bulur.

Senaryo 3 durumunda bölge sınırlarındaki TM'lere bağlı iletim hatlarındaki güç akış yönleri Çizelge 4.5 ile Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Bosen TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Bursa Sanayi-Bosen	-
Bosen-Demirtaş	-

Çizelge 4.6 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Bursa Sanayi TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Bursa Sanayi-Bursa GIS/1	+
Bursa Sanayi-Görükle	+
Bursa Sanayi-Beşevler	-
Bursa Sanayi-Orhaneli	-
Bursa Sanayi-Bosen	+
Bursa Sanayi-Demirtaş	-
Bursa Sanayi-Bursa GIS/2	+

Çizelge 4.7 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Görükle TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Görükle-Akçalar	-
Görükle-Uluabat HES	-
Bursa Sanayi-Görükle	-

Çizelge 4.8 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Bursa GIS TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Bursa 3-Bursa GIS/1	-
Bursa 3-Bursa GIS/2	-
Bursa Sanayi-Bursa GIS/1	-
Bursa Sanayi-Bursa GIS/2	-

Çizelge 4.9 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda Beşevler TM'ye bağlı iletim hatlarında güç akış yönleri.

İletim Hatları	Güç Akış Yönü
Bursa Sanayi-Beşevler	-
Beşevler-Orhaneli	+

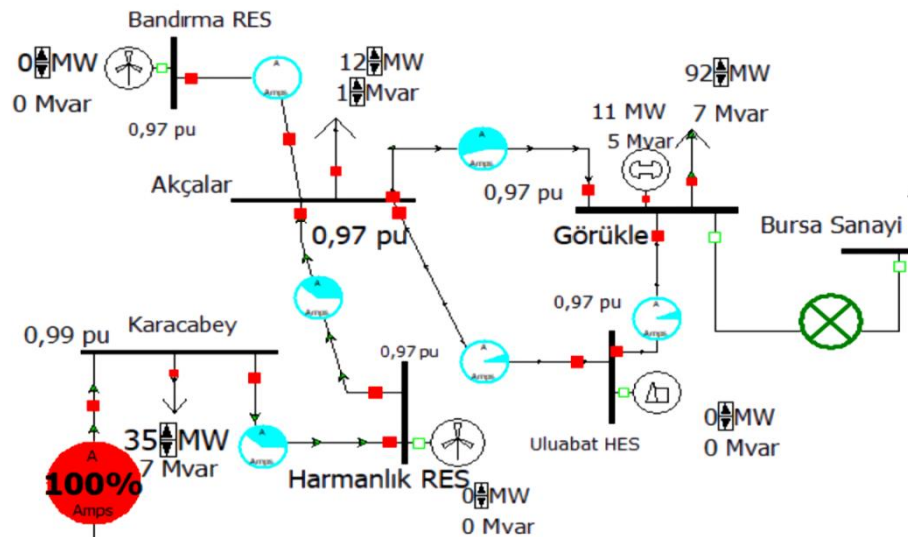
Bursa Sanayi TM'nin 380 kV bağlantılarının devre dışı kalması sonucunda, Beşevler, Bursa Sanayi, Bursa GIS, Görükle ve Bosen TM'lerini kapsayan bir bölge elde edilmiştir. Bu bölgenin sınır noktaları Bosen, Görükle ve Bursa GIS TM'leridir.

Bursa Sanayi- Görükle ve Bursa Sanayi – Bosen iletim hatlarının devre dışı kalması sonucu yapılan analizlerde Görükle ve Bosen TM'lerine DGS bağlantısı yapılması gerektiği daha önceden tespit edilmişti. Bu iki TM'ye ek olarak Bursa GIS TM'ye bağlantısı yapılacak bir DGS, sistemin yük atılmasına gerek olmadan sağlıklı bir şekilde çalışmasına katkı sağlayacaktır. İletim hattı kapasitelerinin aşıldığı tüm arıza durumlarında sistemin kararlı şekilde çalışması için sisteme 3 ayrı DGS bağlantısı yapılmıştır.

4.2 DGS Üretim Kapasitelerinin Belirlenmesi

Sisteme dahil edilen DGS'lerin önceki bölümlerde bahsedilen arıza senaryolarında sisteme katkılarının incelenmesi için güç akış analizleri gerçekleştirilmiştir. Bu analizler sonucunda;

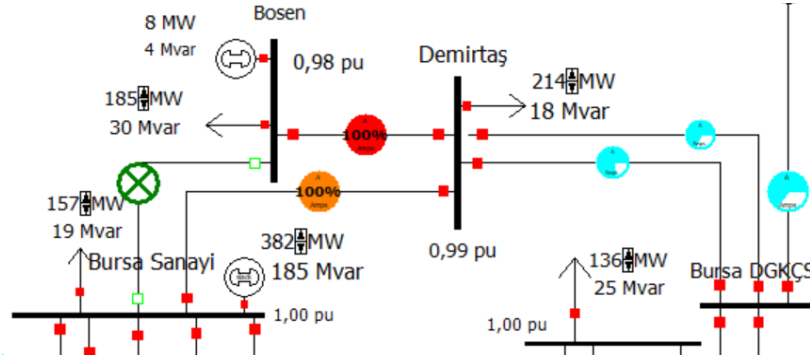
Bursa Sanayi-Görükle iletim hattının devre dışı kalması durumunda (%0 yenilenebilir enerji santralleri üretimi), GAPD yönteminden yararlanarak Görükle TM'ye bağlanan DGS, 11 MW ve 5 MVar üretim ile sisteme katkı sağlamakta ve tam yük durumunda hiçbir iletim hattının kapasitesi aşılmamaktadır. Sistem, yük atılmasına gerek duyulmadan kararlı bir şekilde çalışmaktadır. Şekil 4.1'de bu duruma ait sistem koşulları görülmektedir.



Şekil 4.1 : Senaryo 1'de DGS'lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu.

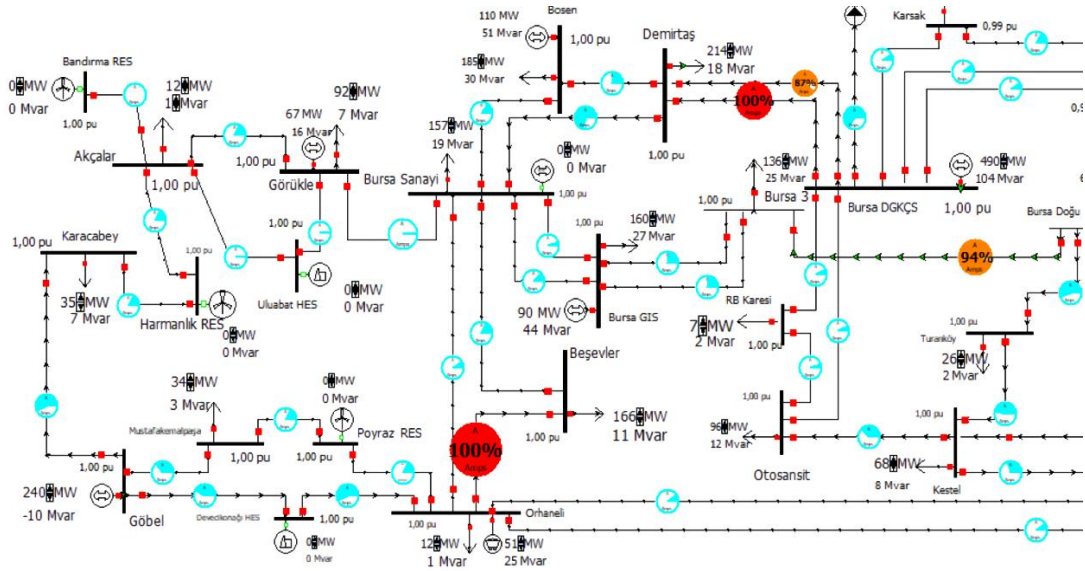
Bursa Sanayi-Bosen iletim hattının devre dışı kalması durumunda (Senaryo 2), GAPD yöntemi doğrultusunda Bosen TM'ye bağlanan DGS, 8 MW ve 4 MVar üretim ile

sisteme katkı sağlamakta ve tam yük durumunda hiçbir iletim hattının kapasitesi aşılmamaktadır. Sistem, yük atılmasına gerek duyulmadan kararlı bir şekilde çalışmaktadır. Şekil 4.2’de bu duruma ait sistem koşulları görülmektedir.



Şekil 4.2 : Senaryo 2’de DGS’lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu.

Bursa Sanayi TM’nin 380 kV bağlantılarının devre dışı kalması durumunda (%0 yenilenebilir enerji santralleri üretimi), sisteme dahil edilen bütün DGS’ler devreye girerek yük atılmasına ihtiyaç duyulmadan sistemin kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamaktadırlar. Tam yük durumunda üç DGS’den sisteme toplamda 267 MW, 111 MVar güç sağlanmaktadır. Bu durum DGS’lerin üretimlerinin en yüksek seviyede olduğu senaryo olup DGS’lerin boyutunun belirlenmesini sağlamıştır. Şekil 4.3’te DGS’lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu gösterilmiştir.



Şekil 4.3 : Senaryo 3’te (%0 RES/HES) DGS’lerin yük alabilmesi halinde sistemin durumu.

154/34.5 kV TM'lere 34,5 kV gerilim seviyesinde bağlantısı yapılan tek bir kaynak olarak temsil edilmişlerdir.

Dağıtım sisteminde uygun koşulların sağlanması halinde DGS'ler belirlenen TM'lere bağlı tüketim noktalarını beslemek koşulu ile dağıtım sistemine farklı noktalardan da bağlanabilirler. Aynı zamanda bölgenin güç sistemindeki koşullar, tesis maliyetleri ve hammadde/yenilenebilir enerji potansiyeli varlığına bağlı olarak pek çok sayıda DGS bağlantısı yapılabilir. Bu durum iletim sisteminden dağıtım sistemine iletilen güç miktarında, hat kayıplarındaki oldukça ufak çaplı değişimler hariç bir değişiklik yaratmayacaktır. Burada önemli olan nokta, farklı sistem koşulları altında yaşanabilecek arıza durumlarında gereken ölçütlerde iletim sistemi üzerindeki yükün azaltılması için dağıtım sistemi içerisinde yapılması gereken enerji üretimi miktarının belirlenmesidir.

4.3 Önerilen YSA Modeli

Sisteme ilave edilen DGS'lerin hangi arıza ve yük durumlarında devreye gireceğinin otomatik olarak hızlı ve doğru bir şekilde belirlenebilmesi için, çok katmanlı YSA modeli önerilmiştir. Bu yöntem, DGS'lerin uygun işletme koşullarının ve uygun bağlantı noktalarının güç sistemi operatöründen ve insan faktöründen bağımsız olarak tespit edilebilmesi ve YSA-tabanlı akıllı bir kontrol yöntemi ile yüksek doğrulukla en uygun manevraların otonom olarak yapılabilmesi için geliştirilmiştir. Arızanın algılanması ile beraber gerekli manevraların yapılmasının ardından kapasitesi üzerinde yüklenen iletim sistemi elemanı olması halinde, geliştirilen YSA modeli ile gerekli DGS veya DGS'lerin üretime geçmesine karar verilir. YSA modelinden üretilen çıkışla beraber sistem işletmecileri tarafından ilgili üretim merkezine devreye girmesi bildirilir. YSA kullanımı ile güç sistemi yönetiminin kolaylaştırılması ve otomatik bir karar verme mekanizmasının insan faktöründen bağımsız olarak geliştirilmesi hedeflenmiştir. Çok katmanlı YSA modelinde kullanılan eğitim algoritması, klasik geri yayılım algoritmalarına göre daha hızlı bir şekilde hatayı minimize edebilmektedir.

Bu bölüm, YSA kavramı ve yapısından, önerilen ağ modelinin oluşturulmasından ve ağın eğitim sürecinden oluşmaktadır. Bölüm sonunda verilen akış diyagramı ile önerilen yöntem özetlenmiştir.

4.3.1 Yapay sinir ağı kavramı

İnsanlardaki sinir sistemi yapısı ve işleyişinden yola çıkılarak geliştirilen YSA, gerçek veriler üzerinden işlem yapabilme yeteneğine sahip bir modeldir. YSA'nın çıkış noktası 1943 yılında nörofizikçi Warren S. McCulloch ve matematikçi Walter H. Pitts tarafından yapılan çalışma olarak gösterebilir [40]. İlerleyen süreçte 1969 yılında XOR probleminin çözülememesi nedeni ile araştırmaların durduğu görülmektedir. 1970 yılına gelindiğinde XOR probleminin çözülmesi ile sonucunda YSA'ya olan ilgi yeniden alevlenmiştir [41]. 1980'li yıllarda işlemci ve donanım kısmındaki teknolojik gelişmeler YSA'nın popülerleşmesini sağlamıştır.

YSA, herhangi bir konuya ait bir problemin çözümü için kendisine sunulan girdi ve çıktı verileri doğrultusunda makine öğrenmesi gerçekleştirerek, bu probleme ait farklı koşullar altında sonuçlar üretme yeteneğine sahip bir sistemdir. Girdi verileri türlerine göre sınıflandırılarak birbiriyle ilişkilendirilir ve yapılan genellemeler sonucu YSA tarafından bir çıktı üretilir.

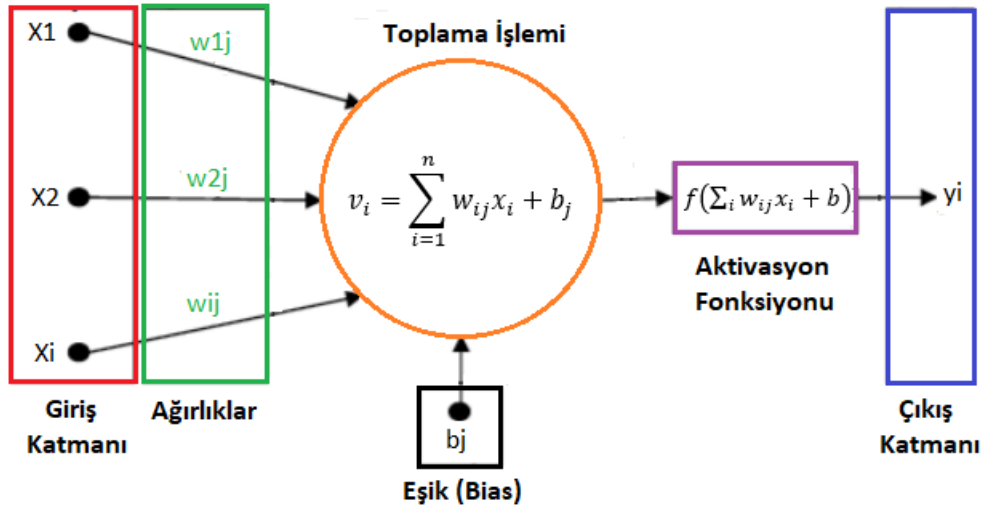
YSA'da, eğitim sürecinin tamamlanması ise tasarımcı tarafından kabul edilebilir hata düzeyine ulaşılması ile tamamlanır. Ağ öğrenme işlemini kendisine sunulan örnek veriler ile gerçekleştirdiğinden ağın eğitim setinde bulunan veriler içerisinde probleme ait tüm koşulların bulunması bu konuda önemlidir. Eğitim seti ağı sunulan tüm veriler içinde tasarımcı tarafından belirlenen oranda veriden oluşur ve veri havuzu içerisinde rastgele seçilir. Bu durumda tasarımcı kabul edilebilir sonuçlar elde edebilmek için her koşulu temsil eden ve ağın eğitim sürecine dahil olacak veriler arasında mümkün olabilecek en uygun dağılımı sağlamak zorundadır. Çözümü hedeflenen probleme en uygun ağın yapısı, başlangıç parametreleri, işlem fonksiyonları tasarımcı tarafından belirlenir.

Bir probleme ait bütün koşulların elde edilmesi ve bunun YSA'ya sunulacak halde sayısal verilere dönüştürülmesi imkansızca yakın bir seçenek olmasının yanı sıra kullanışlı bir durum da değildir. YSA'dan kendisine sunulmayan örnekler üzerinden de farklı koşullara uyum sağlayarak doğru sonuçlar üretebilir. Verilerin ağın tek bir merkezi yerine pek çok elemanı üzerinden işlem görmesi YSA'ya esnek bir yapı kazandırmaktadır. Ağın herhangi bir bölümünde yaşanabilecek bozulmalar, hatalı veri girişi durumları performans düşüklüğüne sebep olabilirler fakat ağın geneli tarafından bu gibi durumlar telafi edilebilirler. YSA uygulamalarında, problemin matematiksel olarak ifade edilmesi ve verilerin sayısal hale dönüştürülmesi tamamen tasarımcının

kontrolünde olup, karmaşık problemlerin çözümünde uygun cevap üretebilir. YSA, sahip olduğu bu avantajlar sayesinde günümüzde başta sınıflandırma, tahmin, optimizasyon uygulamaları olmak üzere farklı amaçlarla kullanılmakta ve kullanıcılar tarafından geliştirilmektedir.

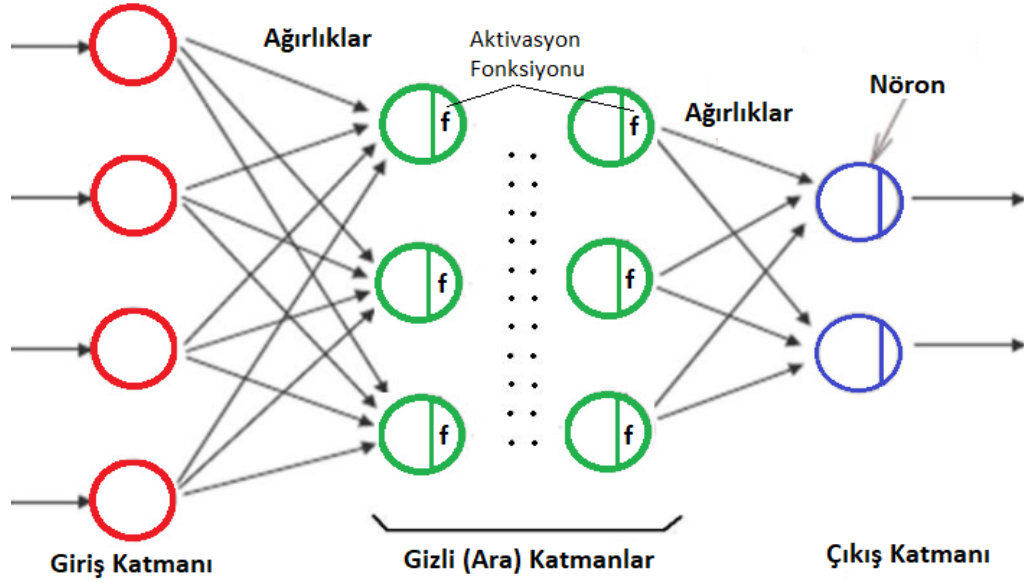
4.3.2 Yapay sinir ağları

YSA yapıları, nöron adı verilen hücrelerin bir araya gelmesiyle oluşur. Bir nöronda, girişlerin olduğu bir katman, ağırlıklar, toplama fonksiyonu, aktivasyon fonksiyonu ve çıkış katmanı bulunur. Şekil 4.7’de nöron modeli verilmiştir. Nöronda, giriş değerleri ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$), ağırlık katsayıları ($w_{1j}, w_{2j}, w_{3j}, \dots, w_{ij}$) ile çarpılarak, eşik değeri (b) ilavesi ile toplama işlemine tabi tutulur. Toplam sonucu bir aktivasyon fonksiyonundan geçirilir ve çıkış ($y_i = f(\sum_i w_{ij}x_i + b_j)$) elde edilir.



Şekil 4.7 : Yapay sinir ağı (Nöron) yapısı.

Nöronlar katmanlar halinde ve her katman içinde paralel olarak bir araya gelerek YSA yapısını meydana getirir. İlk yıllarda tek katmanlı algılayıcılar olarak geliştirilmiş olan bu yapı, sadece doğrusal problemlerin çözümünde kullanılabilirdi. İlerleyen yıllarla birlikte çok katmanlı ağ yapısının geliştirilmesiyle YSA doğrusal olmayan problemlerin çözümünde de kullanılabilir hale gelmiştir. Çok katmanlı YSA, verilerin alındığı girdi katmanı, girdi katmanından alınan verilerin işlendiği gizli katman ve işlenen veriler doğrultusunda sonuçların alındığı çıktı katmanı olmak üzere üç ayrı katmandan oluşmaktadır. Ara katman sayısı problemin en uygun çözümünün elde edilmesi amacıyla daha fazla sayıda olacak şekilde de tasarım yapılabilir. Şekil 4.8’de çok katmanlı bir YSA modeli verilmiştir.



Şekil 4.8 : Çok katmanlı YSA modeli.

Çok katmanlı YSA modelinde, girdiler üzerinde herhangi bir işlem yapılmadan girdi katmanından ara katmana iletilir. Ara katmana ulaşan girdi verilerine problemin çözümündeki etkileri doğrultusunda ağırlık değeri eklenir. Bu ağırlık değerleri ilk etapta rastgele belirlenerek çıktı değerlerindeki hata oranları göz önüne alınarak en az hatanın elde edilmesi amacıyla güncellenir. Bunun için farklı fonksiyonlar kullanılmaktadır. En yaygın olanı ağırlıklı toplamı bulmaktır. Burada her gelen girdi kendi ağırlığı ile çarpılarak toplanır. Böylece ağa gelen net girdi bulunmuş olur [41].

Toplama fonksiyonunda elde edilen net girdi, çıktının elde edilmesi amacıyla aktivasyon fonksiyonuna iletilir. Aktivasyon fonksiyonu olarak problemin çözümü için en uygun fonksiyon tasarımcı tarafından belirlenir. Aktivasyon Fonksiyonu olarak Doğrusal, Adım, Sinüs, Eşik Değer, Tanjant Hiperbolik vs. fonksiyonları kullanılmakta olup, ağırlı ara katmanlarında en çok kullanılan fonksiyonlardan biri de Sigmoid fonksiyondur. Sınıflandırma uygulamalarında çıkış katmanında ise genellikle Softmax fonksiyonundan yararlanır.

YSA, kendilerine sunulan verilerin katmanlar arasındaki iletim sürecine bağlı olarak ileri beslemeli ve geri beslemeli olmak üzere ikiye ayrılır. İleri beslemeli yapay sinir ağlarında sadece bir sonraki katmana veri iletilebilirken, aynı katmanda bulunan nöronlar arasında veri alışverişi yapılmamaktadır. Girdi katmanına gelen veri gizli katmanında işlenerek hızlı bir şekilde çıktı alınabilmektedir. Geri beslemeli yapay sinir ağlarında ise katmanlar arası ileri ve geri yönde veri alışverişi yapılabilirken, ayrıca

aynı katmandaki nöronlar arasında da veri alışverişi yapılabilir. Bu sebeple dinamik bir yapıya sahip olup, alınacak çıktıyı daha önceki girdi verileri de etkileyebilmektedir. İleri beslemeli ağlara göre daha karmaşık olup, daha yavaş sonuca gidilmektedir ve tahmin uygulamalarında başarılı sonuçlar vermektedirler.

YSA yapılarında öğrenme, “eğitim” ile sağlanır. YSA’da öğrenme temelde, istenen bir işlevi yerine getirecek şekilde ağırlık değerlerinin güncellenmesidir. Ağın performansı ise “test etme” ile ölçülür. Eğitilmiş YSA yapısı test edilirken, eğitimde kullanılan girdiler haricindeki verilerle ağ beslenir. Ağ yapısı, görmediği bu girdiler için çıkış değerleri üretir. Elde edilen sonuçlar ne kadar iyiyse, ağın performansı da o kadar iyidir. Test sonuçları ağın performansını ifade eder ve bu sonuçlara göre eğitim süreci tamamlanır ya da yinelenir.

YSA’da öğrenme işleminin gerçekleşmesi için elde edilen veriler üç ayrı kısma bölünür. Veri setinin belirli bir kısmı “eğitim seti” olarak kullanılır. Eğitim seti ile verilerin belirli bir bölümünün girdi ve bu girdilere ait çıktı değerleri ağa sunularak ağın öğrenmesi ve genelleme yeteneği kazanması amaçlanır. “Doğrulama seti” ile ağın her iterasyondaki öğrenme performansı incelenir ve hata değerleri belirlenir. Hata değerlerine göre ağırlıklar değiştirilerek en yüksek öğrenme performansının elde edildiği ağırlık değerleri tespit edilir. Test için kullanılan set ise “test seti” olarak adlandırılır ve daha önce bahsedildiği gibi ağ performansı ölçülür.

YSA eğitiminde (parametrelerin güncellenmesi) farklı öğrenme kuraları kullanılmakla birlikte en yaygın kullanılan yöntem hatayı geri yayma algoritmasıdır. Bu algoritma, hataları geriye doğru çıkıştan girişe azaltmaya amaçlar. Geri yayılım algoritmasında (Gradyan iniş algoritması), y_i ağ tarafından üretilen çıkış ve g_i gerçekte olması gereken çıkış olmak üzere hatayı minimize etmek için Denklem (4.1) kullanılır.

$$E = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m (y_i - g_i)^2 \quad (4.2)$$

Çok katmanlı ileri beslemeli bir YSA mimarisinin belirlenme süreci genel olarak, katman sayısının belirlenmesi, nöron sayısının belirlenmesi ve aktivasyon fonksiyonunun seçimini kapsar. Bu ağ yapısındaki girdiler, serinin geçmiş değerlerinden $(y_{t-1}, y_{t-3}, y_{t-12}, \dots, y_{t-k})$; çıktı ise y_t ile ifade edilir. Çıkış değeri ile giriş arasındaki ilişki Denklem (4.2)’de verilmiştir.

$$y_t = w_0 + \sum_{j=1}^s w_j f(w_{0j} + \sum_{i=1}^N v_{ij} y_{t-i}) + e_t \quad (4.2)$$

burada, w_j , v_{ij} ağırlık değerleri, s gizli nöron sayısı, f ise aktivasyon fonksiyonudur.

4.3.3 Ölçekli eşlenik gradyan iniş (ÖEGİ) algoritması

Eğitim aşamasında kullanılan en genel yöntem gradyan iniş algoritmasıdır. ÖEGİ algoritması ise eşlenik yönde arama gerçekleştirdiği için gradyan iniş algoritmasından daha hızlı yakınsama gösteren geliştirilmiş bir yöntemdir. Bu algoritmada adım büyüklüğü her iterasyonda yeniden ayarlanır ve adaptif bir yapı kazanır.

ÖEGİ, Denklem (4.3)'te verilen gradyanın (g_0) negatifıyla verilen ilk dik iniş yönünde başlar. Ağırlıklar ise Denklem (4.4)'teki gibi güncellenir. Belirlenen adım boyutu α_k 'dan yararlanarak sonraki adım boyutunun hesaplanması ise Denklem (4.5)'te verilmiştir. Burada P arama yönü vektörü ve g gradyan yön vektörüdür.

$$p_0 = -g_0 \quad (4.3)$$

$$x_{k+1} = x_k + \alpha_k g_k \quad (4.4)$$

$$P_k = -g_k + \beta_k P_{k-1} \quad (4.5)$$

ÖEGİ'de, hatanın minimuma indirilmesi sağlanırken gradyan fonksiyonunun hızla azaldığı yön boyunca bir arama yapılır. Her yinelemede, adım boyutu ayarlanır ve adım boyutunu hesaplamak için gradyan yönü boyunca bir arama yapılır [42]. ÖEGİ için, β_k faktörünün hesaplanması ve yeni aramanın yönü aşağıdaki denklemlerde gösterildiği gibi elde edilir:

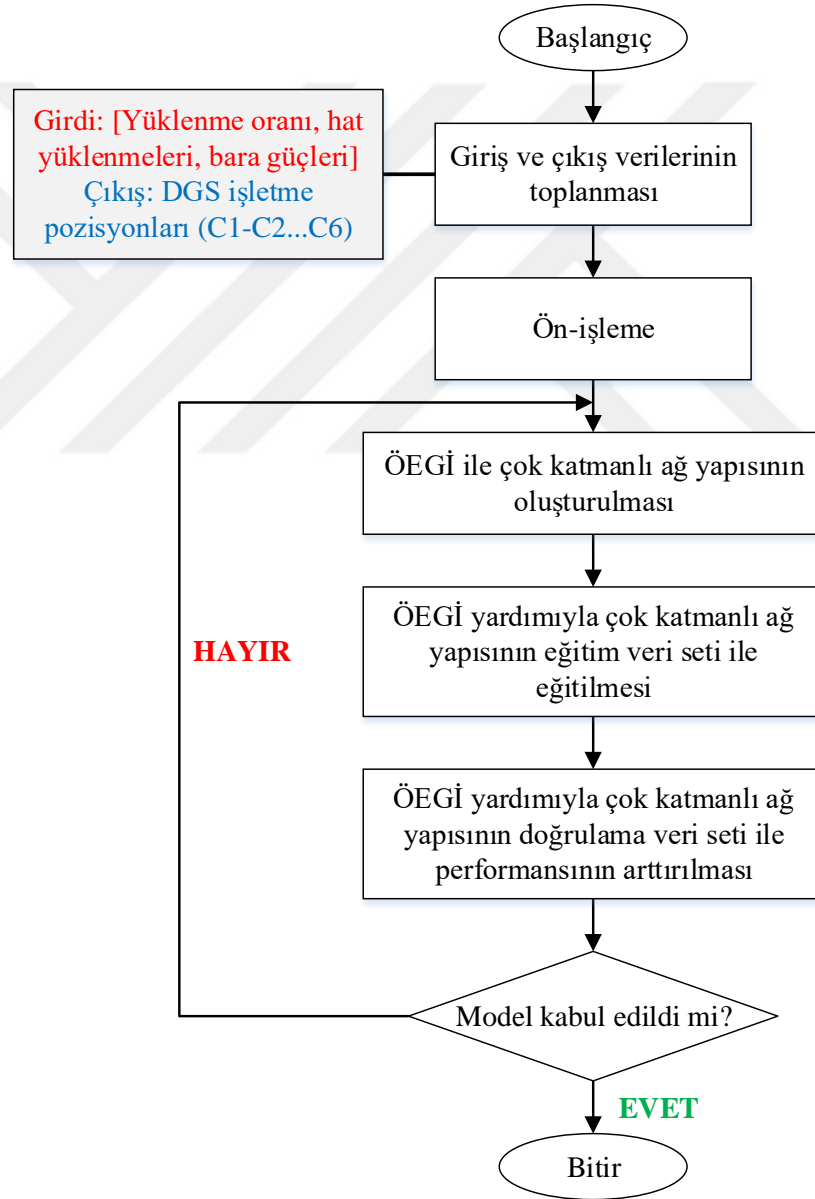
$$\beta_k = \frac{(|g_{k+1}|^2 - g_{k+1}^T g_k)}{g_k^T g_k} \quad (4.6)$$

$$P_{k+1} = -g_{k+1} + \beta_k P_k \quad (4.7)$$

Ağ parametreleri, kullanıcıdan bağımsız olarak her iterasyonda güncellenir. Bu özellik, algoritmanın başarısını arttırmakla beraber satır arama-tabanlı (line-search) algoritmalarından daha hızlı bir cevap sağlar.

4.3.4 Önerilen ÖEGİ-tabanlı çok katmanlı YSA modelinin oluşturulması

Şekil 4.9'da, ÖEGİ algoritması kullanan çok katmanlı YSA yönteminin akış şeması verilmiştir. Önerilen yöntem girdi ve çıktı verilerini içeren verilerin toplanması (hat yüklenme parametreleri, bara güçleri ve orta gerilim yüklenme değerleri) ile başlamaktadır. Veriler elde edildikten sonra ön işleme aşamasına tabi tutulmuştur. Daha sonra ÖEGİ yardımıyla çok katmanlı YSA yapısı oluşturulmuştur. Oluşturulan model eğitim veri seti ile eğitilmiştir. Son aşamada ise ağ performansını arttırmak ve eğitim aşamasındaki mevcut sorunların üstesinden gelmek için modele doğrulama işlemi uygulanmıştır. Ağ performansı istenen değere ulaştığında akış sonlanmıştır.



Şekil 4.9 : ÖEGİ algoritması ile çok katmanlı ağ modeli geliştirme metodolojisi.

4.4 YSA-tabanlı GAPD Yöntemi ile DGS'lerin İşletme Koşullarının Belirlenmesi

DGS'lerin hangi arıza ve yük durumlarında devreye gireceğinin belirlenmesi de en doğru kararın verilerek sistemin sağlıklı olarak işletilmesi için oldukça önemli bir konudur. Sistemde yaşanabilecek bir arıza, ardından başka bir arızayı tetikleyebileceğinden hızlı ve doğru tepkiler verebilmek sistemin bütünü için de oldukça önemli bir konudur. Sonuç olarak, sisteme bağlantısı yapılan DGS'lerin devreye girmesi gereken arıza ve yük durumlarının hızlı ve otomatik bir şekilde tespiti için önerilen YSA modelinin sonuçları ayrıntılı olarak ele alınmıştır.

4.4.1 Verilerin elde edilmesi

YSA'ya sunulacak veriler iletim hattı kapasitelerinin aşıldığı arıza durumları için DGS'lerin sisteme dahil edilmesi ile beraber yapılan OGA analizleri ile elde edilmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda ağın eğitilmesi ve sisteme bağlantısı yapılan DGS'lerin işletme pozisyonlarını, sistem koşullarının gerektirdiği şekilde doğru olarak belirlemesi hedeflenmiştir. DGS'ler arıza nedeniyle iletim sisteminde bir elemanın devre dışı kalması sonucu devrede olan diğer iletim hatlarının güç taşıma kapasiteleri üzerinde yüklenmek zorunda kaldığı durumlarda devreye girdiğinden bu durumlara ait değişkenleri ağa tanıtmak doğru sonuçların elde edilebilmesi adına önemlidir. İletim hatlarındaki güç akışı temel olarak tüketim noktalarındaki güç talebine ve bu talebin karşılanması adına üretim merkezlerindeki güç çıkışına bağlı olduğundan ağın bu değişkenler arasında ilişkilendirme yapabilmesi amacıyla bu veriler yapılan her analiz sonucu ağın tasarımı ve eğitiminde kullanılmak üzere kaydedilmiştir.

Ağın söz konusu koşulları doğru bir şekilde algılayabilmesi adına üç arıza senaryosuna ait farklı RES/HES üretimi ve yük koşullarını içeren 7 farklı durumda optimal güç akış analizi yapılmıştır. Her durum için yüksüz ve tam yük sınırları içerisinde farklı yük durumları için simülasyonlar tekrarlanmıştır. Böylece sisteme dahil edilen DGS'lerin sistemdeki tüketim ve üretimdeki dalgalanmalara karşı farklı koşullar altında işletme pozisyonları (devrede olup/olmama) elde edilmiştir. Farklı RES/HES üretimi ve yük durumlarında yapılan güç akış analizleri sonucunda iletim hattı yüklenmeleri, sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri ve DGS'lerin aktif ve reaktif güç değerlerini içeren oluşan 414 farklı durumu içeren bir veri seti elde edilmiştir. Çizelge 4.10'da farklı sistem koşullarında gerçekleştirilen arıza senaryolarından alınan güç akış verilerinin dağılımı verilmiştir. Herbir verinin içeriği

Çizelge 4.11’de belirtilen değerlerden oluşmakta olup arızanın etki kapsamında bulunduğu sistem elemanlarından alınmıştır.

Veri seti oluşturulurken ağa tüm koşullara ait yeterli sayıda veri sunulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda, ağın eğitimi esnasında simülasyonlar sonucu elde edilen güç akış verileri belirli aralıklarla ağa sunulmuş ve ağın performansı değerlendirilmiştir. Ağın performansı yeterli bulunmadığı takdirde veri seti incelenerek tespitinde zorlanılan çıkış durumlarına ait verilerin sayısı arttırılmıştır.

Çizelge 4.10 : Farklı sistem koşullarında gerçekleştirilen arıza senaryolarından alınan güç akış verileri örnek sayıları.

Arıza Senaryosu	RES/HES Üretimi (%)	Alınan Örnek Sayısı
Senaryo 1	0	61
Senaryo 2	0	50
Senaryo 3	0	100
Senaryo 3	20	54
Senaryo 3	50	49
Senaryo 3	80	51
Senaryo 3	100	49

Çizelge 4.11 : Veri seti içeriği.

Veri Türü	Kaydedilen Değerler
Yük Durumu	%0 - %100
DGS İşletme Pozisyonları	Devrede / Devrede değil
Sistem Bağlantı Noktaları	Aktif ve Reaktif Güçler
İletim Hattı Yüklenme Yüzdeleri	%0 - %100

Senaryo 1 durumunda, RES/HES üretimindeki küçük bir artış DGS’lerin devreye girmesine duyulan ihtiyacı ortadan kaldırması nedeniyle RES/HES’lerin üretimde olduğu durumlar veri setine eklenmemiştir. Senaryo 2 durumunda RES/HES üretim durumları DGS’lerin devreye girme durumlarını etkilememektedir. Sınıflardaki veri sayısındaki dengeyi sağlamak için bu arıza senaryosunda RES/HES üretimindeki dalgalanmalar sonucu elde edilen veriler veri sete eklenmemiştir. Çizelge 4.12 – Çizelge 4.18’de farklı sistem koşullarında DGS’lerin işletme pozisyonlarının yük durumlarına göre değişimi ve çıkış sınıfı ifadeleri verilmiştir.

Çizelge 4.12 : Senaryo 1’in gerçekleşmesi durumunda DGS’lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %0).

Yük Durumu (%)	Görükle	Bosen	Bursa GIS	Çıkış Sınıfı
0-91,5	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı	C6
91,5-100	Devrede	Devre dışı	Devre dışı	C2

Çizelge 4.13 : Senaryo 2'nin gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %0).

Yük Durumu (%)	Görükle	Bosen	Bursa GIS	Çıkış Sınıfı
0-95,6	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı	C6
95,6-100	Devre dışı	Devrede	Devre dışı	C5

Çizelge 4.14 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %0).

Yük Durumu (%)	Görükle	Bosen	Bursa GIS	Çıkış Sınıfı
0-79,0	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı	C6
79,0-82,5	Devre dışı	Devre dışı	Devrede	C4
82,5-95,6	Devre dışı	Devrede	Devrede	C3
95,6-100	Devrede	Devrede	Devrede	C1

Çizelge 4.15 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %20).

Yük Durumu (%)	Görükle	Bosen	Bursa GIS	Çıkış Sınıfı
0-81,8	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı	C6
81,8-85,3	Devre dışı	Devrede	Devre dışı	C5
85,3-98,0	Devre dışı	Devrede	Devrede	C3
98,0-100	Devrede	Devrede	Devrede	C1

Çizelge 4.16 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %50).

Yük Durumu (%)	Görükle	Bosen	Bursa GIS	Çıkış Sınıfı
0-86,2	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı	C6
86,2-95,3	Devre dışı	Devrede	Devre dışı	C5
95,3-100,0	Devre dışı	Devrede	Devrede	C3

Çizelge 4.17 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %80).

Yük Durumu (%)	Görükle	Bosen	Bursa GIS	Çıkış Sınıfı
0-90,0	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı	C6
90,0-99,2	Devre dışı	Devrede	Devre dışı	C5
99,2-100,0	Devre dışı	Devrede	Devrede	C3

Çizelge 4.18 : Senaryo 3'ün gerçekleşmesi durumunda DGS'lerin işletme pozisyonları ve elde edilen çıkış sınıfları (RES/HES üretimi %100).

Yük Durumu (%)	Görükle	Bosen	Bursa GIS	Çıkış Sınıfı
0-92,5	Devre dışı	Devre dışı	Devre dışı	C6
92,5-100	Devre dışı	Devrede	Devre dışı	C5

Gerçekleştirilen OGA sonucunda sisteme dahil edilen DGS'lerin işletme pozisyonlarına ait 6 farklı durumun (C1, C2, ... C6) olduğu tespit edilmiştir. Yüksek doğruluk oranlarının yakalanabilmesi için bu 6 farklı durum için de yeterli sayıda veri

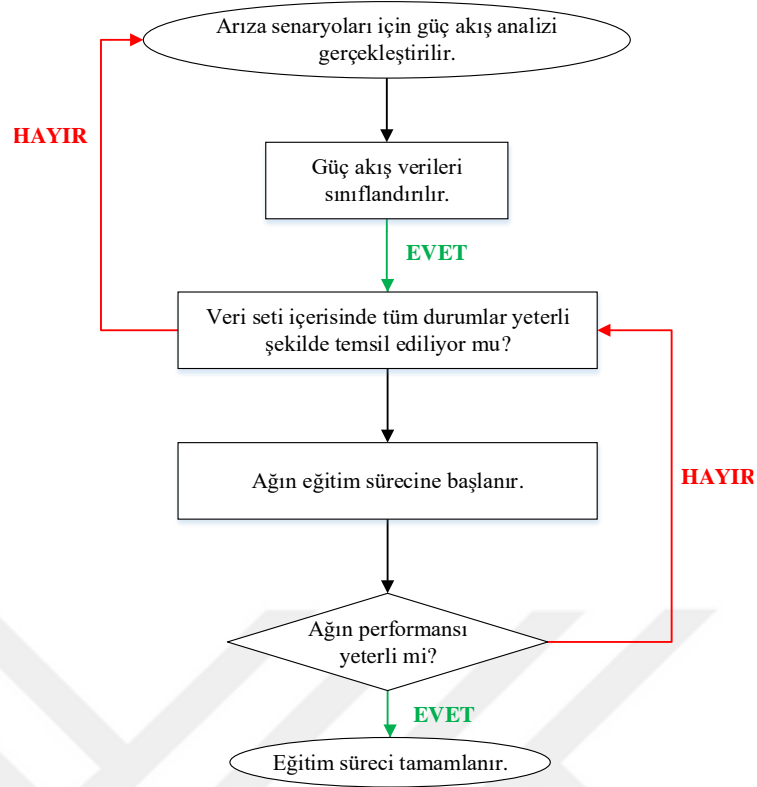
toplanmaya çalışılmıştır. Hiçbir DGS'nin devreye girmediği durumlar oldukça geniş aralıkta yer bulurken C6 gibi bazı durumlar çok dar bir yük aralığında oluşmaktadır. Örnek verirsek, Senaryo 3'te RES/HES üretimi %0 iken %95,6-%100 yük durumunda 3 DGS devreye girmekteyken; RES/HES üretimi %20 olduğunda bu DGS'ler %98-%100 yük durumunda devreye girmektedir. Böyle durumların ağına sunulacak verilerde yeteri kadar temsil edilebilmesi için bu koşulların elde edildiği durumlarda oldukça ufak adımlarla yük değişimleri yapılarak bu noktalarda elde edilen verilerin artırılması sağlanmıştır. Verilerin sınıfları ve her sınıfın örnek sayısı Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Üç farklı DGS'nin işletme pozisyonu ağın çıkışını temsil ederken; yük durumu, bara güçleri (sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri) ve hat yüklenmelerinin farklı kombinasyonları girdileri oluşturmaktadır. Veri seti oluşturulurken ağın eğitimi ve test süreçleri tekrar edilerek elde edilen sonuçlar doğrultusunda ağın tahmin etmekte zorlandığı durumlar dikkate alınmış ve veri sayısı artırılmış ve gereken yönde çeşitlendirilmiştir. Veri setinin oluşturulmasına ilişkin akış diyagramı Şekil 4.10'da verilmiştir.

Ağına sunulan girdi verileri yük durumu, iletim hattı yüklenmeleri, sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri olarak üç farklı gruptan oluşmaktadır. Girdi verilerinin DGS'lerin devreye girme durumlarını ne derecede etkilediğini tespit etmek için ayrı ayrı ve bütün halinde ağına sunulmuştur. Ayrıca bu veriler eğitim, doğrulama ve test setleri arasında farklı oranlarda paylaştırılarak en yüksek doğruluk oranının veri dağılımı ile ilişkisi incelenmiştir.

Çizelge 4.19 : Çıkış verilerinin sınıflandırılmaları ve ağına sunulan örnek sayıları.

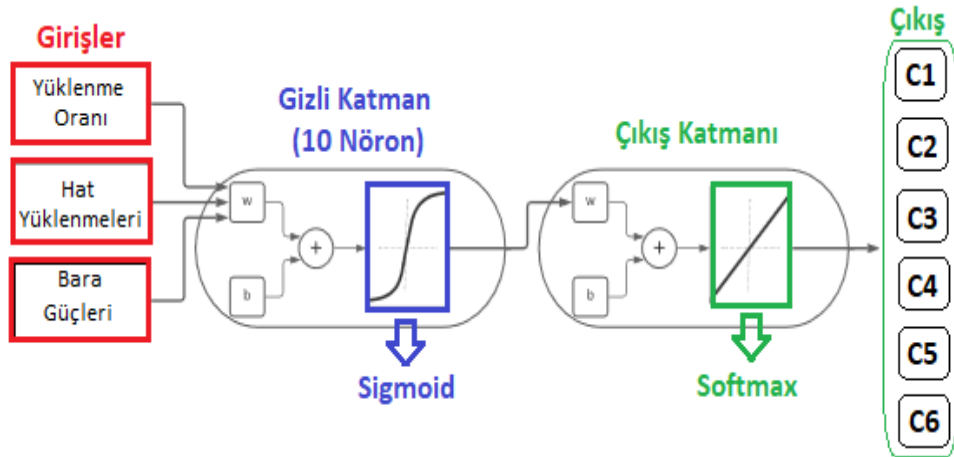
Sınıf	Devrede olan DGS	Veri Sayısı
C1	Hepsi	29
C2	Görükle	27
C3	Bosen ve Bursa GIS	34
C4	Bursa GIS	32
C5	Bosen	56
C6	Hiçbiri	256



Şekil 4.10 : Veri setinin oluşturulmasına ilişkin akış diyagramı.

4.4.2 Önerilen YSA modelinin parametreleri

Analizler sonucu önerilen YSA yapısında gizli katmanda 10 adet nöron bulunmaktadır. Ağ eğitilirken ÖEGİ algoritmasından yararlanılmıştır. Gizli katmanlarda Sigmoid fonksiyonu kullanılırken, çıkış katmanında ise Softmax fonksiyonu aktivasyon fonksiyonu olarak seçilmiştir. Performans ölçütü olarak ise çapraz-entropi indisi seçilmiştir. Önerilen YSA modeli Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11 : Önerilen YSA modeli.

Önceki bölümde de bahsedildiği üzere incelenen 3 ayrı arıza senaryosunda şehirdeki RES/HES üretimindeki değişikliklerin esas alındığı 7 farklı durumun OGA yapılmış olup, güç akış verileri kaydedilmiştir. Bu veriler sistemin yük durumu, iletim hattı yüklenmeleri, sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerlerinden oluşmaktadır. Bu 7 farklı durumda sistem yükü %0 ile %100 arasında değiştirilerek DGS'lerin devreye girdiği yük durumları tespit edilmiştir.

Geliştirilen ağ modeli güç sisteminin işletilmesi esnasında kendisine iletilen veriler doğrultusunda çıkış üretmesi hedeflenmektedir. Bu çıkış verisi doğrultusunda sisteme ilave edilen DGS'lerin işletme pozisyonlarına karar verilecektir. Örnek vermek gerekirse ağ tarafından C1 çıkışı üretilmesi halinde ilave edilen bütün DGS'lere üretime geçmesi talimatı verilirken, C6 çıkışı üretilmesi halinde hiçbir DGS'ye üretime geçmesi talimatı verilmeyecektir.

MATLAB ortamında modellenen ağda geçерleme onayı parametresi (*net.trainParam.max_fail=6*) 6 olarak seçilmiştir. Maksimum geçерleme sayısına ulaşıldığında ağ eğitimi durdurulmaktadır. Öğrenme oranı ise 0,01 olarak seçilmiştir (*net.trainParam.lr= 0.01*). Öğrenme oranını arttırma /azaltma oranları sırasıyla 1,05 ve 0,7 olarak seçilmiştir (*net.trainParam.lr_inc=1.05; net.trainParam.lr_dec= 0.7*). Momentum sabiti ise 0,9 olarak alınmıştır (*net.trainParam.mc=0,9*).

4.4.3 YSA-tabanlı GAPD yöntemi uygulama sonuçları

Oluşturulan model farklı giriş verileri için 3 farklı durumda test edilmiştir. Tüm durumlar için ağdaki nöron sayısı aynı tutulurken diğer parametrelerde güncellemeler yapılmıştır. Her ağ için optimal iterasyon sayısı ve ağırlıklar ayrı ayrı çok sayıda eğitim süreci ile belirlenmiştir. Önerilen 3 ağ modelinde de ÖEGİ algoritması ile eğitim yapılmıştır. Performans ölçütü olarak çapraz-entropi esas alınmıştır.

3 durum için de önerilen model eğitilirken veri dağılımı rastgele yapılmıştır. Rastgele seçim işlemi çok kez tekrarlanmıştır. Her bir tekrarda elde edilen arıza tespit başarımlarının ortalaması alınarak ortalama başarımlar elde edilmiştir.

- **Durum 1:** Bu durumda, yük durumu, iletim hattı yüklenmeleri, sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri ağa girdi olarak verilmiştir. Giriş vektörü 32 adet özellikten oluşmaktadır. Çizelge 4.20'de gösterildiği gibi, test verilerinde %96,8 doğruluk oranı ile DGS'lerin işletme pozisyonları doğru tespit edilmiştir.

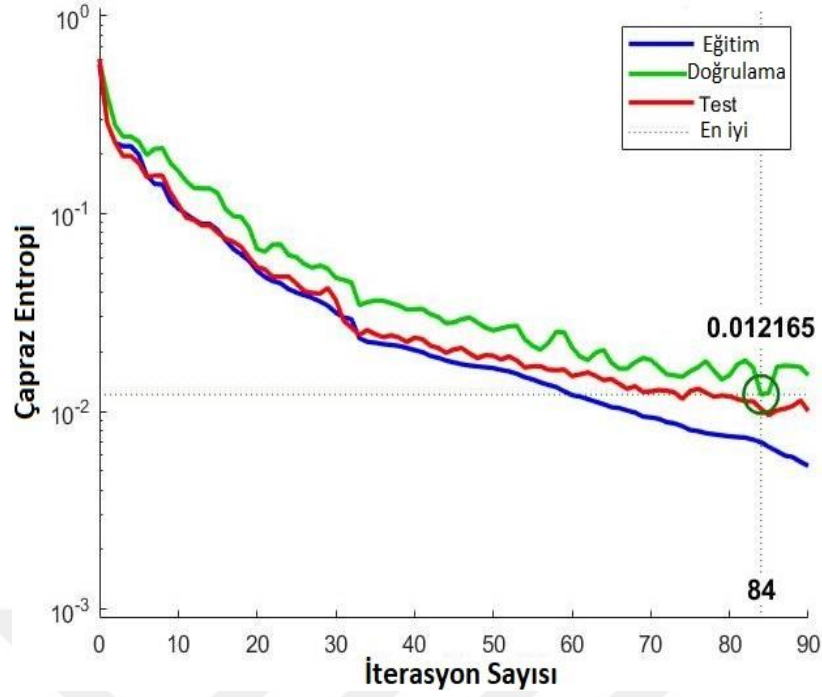
Veri dağılımının sonuçlara etkisinin incelenmesi için farklı eğitim yüzdeleri ile performans incelenmiştir. Verinin, %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test verisi olarak ayrıldığı durumda doğruluk oranı en yüksek çıkmıştır. En iyi doğrulama performansı 84. iterasyonda elde edilmiştir. Hata matrisinin tüm veri üzerindeki sonuçları Şekil 4.12’de verilmiştir. Genel hata matrisinde doğruluk oranı %98,6’dır. Doğruluk oranının %96,5 çıktığı C5 durumunda bile 55 çıktı doğru sonuçlandırılırken, hatalı tahmin sınıfı sadece 2 ile sınırlı kalmıştır. Ağ performansının iterasyonla değişimi Şekil 4.13’te yer almaktadır.

Çizelge 4.20 : Eğitim verisindeki değişime göre doğruluk performansı-I.

	Eğitim verisi			
	%40	%50	%60	%70
Eğitim	97.6	98.9	98.4	99
Doğrulama	97.5	95.2	97.6	98.4
Test	96	95.1	96.3	96.8
Genel	97.1	97.1	97.8	98.6

Çıkış Sınıfları	1	29 7.0%	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	93.5% 6.5%
	2	0 0.0%	26 6.3%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	31 7.5%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	96.9% 3.1%
	4	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	32 7.7%	0 0.0%	0 0.0%	97.0% 3.0%
	5	0 0.0%	0 0.0%	2 0.5%	0 0.0%	55 13.3%	0 0.0%	96.5% 3.5%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	235 56.8%	100% 0.0%
		100% 0.0%	96.3% 3.7%	91.2% 8.8%	100% 0.0%	98.2% 1.8%	99.6% 0.4%	98.6% 1.4%
	Hedef Sınıflar							

Şekil 4.12 : Hata matrisi-I.

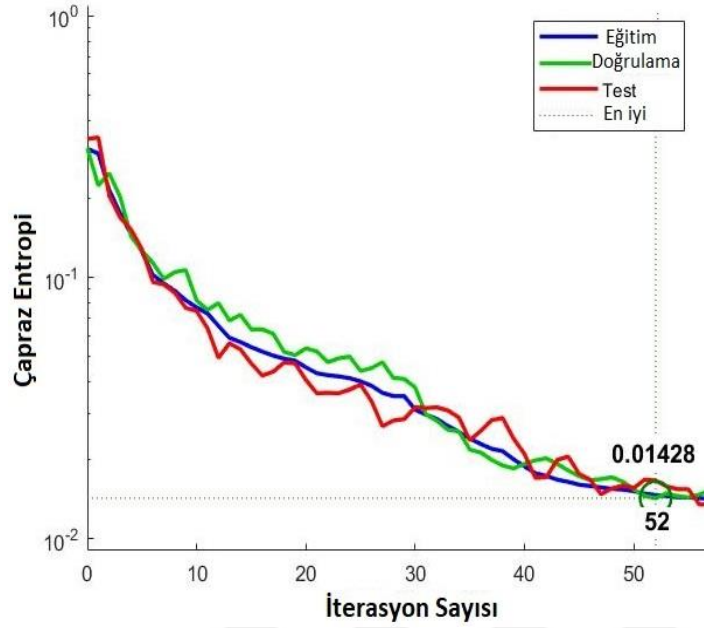


Şekil 4.13 : Doğrulama performansının iterasyonlarla değişimi-I.

- **Durum 2:** Bu durumda, sadece iletim hattı yüklenmeleri ağa girdi olarak verilmiştir. Giriş vektörü 21 adet özellikten oluşmaktadır. Çizelge 4.21’de test verilerinde %96,8 doğruluk oranı ile DGS’lerin işletme pozisyonlarının doğru tespit edildiği görülmektedir. Veri dağılımının, sonuçlara etkisinin incelenmesi için farklı eğitim yüzdeleri ile performans incelenmiştir. Verinin, %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test verisi olarak ayrıldığı durumda doğruluk oranı en yüksek çıkmıştır. Sadece eğitim üzerinden doğruluk oranına bakıldığında ise %60 eğitim verisi için en iyi sonuç elde edilmiştir. En iyi doğrulama performansı 52. iterasyonda elde edilmiştir. Genel hata matrisinde doğruluk oranı %98,3’tür. Doğruluk oranının %91,7 çıktığı C3 durumunda bile 33 çıktı doğru sonuçlandırılırken hatalı tahmin sınıfı sadece 3 ile sınırlı kalmıştır. Ağ performansının iterasyonla değişimi Şekil 4.14’de yer almaktadır.

Çizelge 4.21 : Eğitim verisindeki değişime göre doğruluk performansı-II.

	Eğitim verisi			
	%40	%50	%60	%70
Eğitim	93.4	94.7	98.0	97.2
Doğrulama	90.3	91.3	95.2	98.4
Test	86.3	91.3	95.2	96.8
Genel	90.3	93.0	97.0	97.3



Şekil 4.14 : Doğrulama performansının iterasyonlarla değişimi-II.

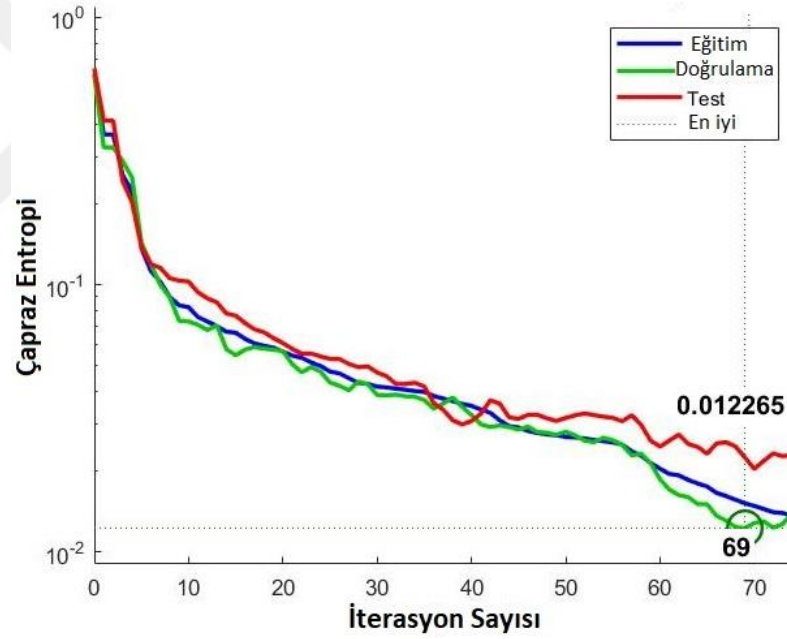
- Durum 3:** sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri ağa girdi olarak verilmiştir. Giriş vektörü 10 adet özellikten oluşmaktadır. Test verilerinde %96,8 doğruluk oranı ile DGS'lerin işletme pozisyonları doğru tespit edilmiştir. Veri dağılımının, sonuçlara etkisinin incelenmesi için farklı eğitim yüzdeleri ile performans incelenmiştir. Çizelge 4.22'de görüldüğü gibi verinin, %70 eğitim, %15 doğrulama ve %15 test verisi olarak ayrıldığı durumda doğruluk oranı yüksek çıkmıştır. Sadece eğitim üzerinden doğruluk oranına bakıldığında ise %60 eğitim verisi için en iyi sonuç elde edilmiştir. En iyi doğrulama performansı 69. iterasyonda elde edilmiştir. Hata matrisinin tüm veri üzerindeki sonuçları Şekil 4.15'te verilmiştir. Genel hata matrisinde doğruluk oranı %97,3'tür. Doğruluk oranının %88,6 çıktığı C3 durumunda bile 32 çıktı doğru sonuçlandırılırken, hatalı tahmin sınıfı sadece 4 ile sınırlı kalmıştır. Ağ performansının iterasyonla değişimi Şekil 4.16'da yer almaktadır.

Çizelge 4.22 : Eğitim verisindeki değişime göre doğruluk performansı-III

	Eğitim verisi			
	40%	50%	60%	70%
Eğitim	93.4	94.7	98.0	97.2
Doğrulama	90.3	91.3	95.2	98.4
Test	86.3	91.3	95.2	96.8
Genel	90.3	93.0	97.0	97.3

Çıkış Sınıfları	1	29 7.0%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	96.7% 3.3%
	2	0 0.0%	27 6.5%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	100% 0.0%
	3	0 0.0%	0 0.0%	31 7.5%	1 0.2%	3 0.7%	0 0.0%	88.6% 11.4%
	4	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	31 7.5%	0 0.0%	1 0.2%	93.9% 6.1%
	5	0 0.0%	0 0.0%	1 0.2%	0 0.0%	53 12.8%	3 0.7%	93.0% 7.0%
	6	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	0 0.0%	232 56.0%	100% 0.0%
			100% 0.0%	100% 0.0%	91.2% 8.8%	96.9% 3.1%	94.6% 5.4%	98.3% 1.7%
		1	2	3	4	5	6	
		Hedef Sınıflar						

Şekil 4.15 : Hata matrisi-III.



Şekil 4.16 : Doğrulama performansının iterasyonlarla değişimi-III.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında genel olarak orta ve alçak gerilim seviyesindeki dağıtım şebekelerine bağlantısı öngörülen DGS'lerin iletim sistemlerine olası etkileri üzerinde durulmuş ve bağlantı noktaları ve işletme stratejilerinin iletim sisteminde oluşabilecek kısıtları giderecek şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sisteme dahil edilen DGS'lerin, yaşanan herhangi bir arıza sonucu bir sistem elemanının devre dışı kalmasının ardından oluşan yeni durumda, devrede olan diğer sistem elemanlarının kapasitelerinin üzerinde yüklenmesi halinde devreye girip bu elemanların üzerindeki yükü azaltarak sistemin arıza sonrası yeni koşullarda kararlı çalışmasına devam edebilmesi hedeflenmiştir.

DGS'lerin bağlantı noktaları belirlenmesi için güç akış parametrelerinin değerlendirildiği bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem doğrultusunda iletim sisteminde puant yük koşullarında meydana gelebilecek arıza durumlarında sistem içerisinde iletim hatlarının güç taşıma kapasitelerinin aşıldığı çalışma koşulları tespit edilmiş, bu iletim hatlarının kapasitelerinin aşılmasına sebep olan tüketim bölgeleri belirlenmiştir. Bu bölgeler belirlenirken güç taşıma kapasitesi aşılan iletim hattının güç akış yönü referans alınmış ve DGS'lerin belirlenen bu bölgeler içerisinde konumlandırılarak iletim sistemi üzerindeki yükü, devreye girerek azaltmaları hedeflenmiştir.

İletim sisteminde yaşanan bir arıza durumunda hızlı bir şekilde dengenin sağlanabilmesi için devreye girmesi gereken DGS'lerin hızlı ve doğru bir şekilde tespiti için bir YSA modeli oluşturulmuştur. Ağın eğitimi için iletim hattı kapasitelerinin aşıldığı arıza senaryolarındaki güç akış verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler DGS'lerin devreye girdiği durumlara göre sınıflandırılarak ağa sunulmuş ve ağın bütün durumları doğru şekilde algılayarak doğru çıktılar üretmesi sağlanmıştır.

Geliştirilen yöntem ile DGS'lerin üzerinde çalışılan Bursa iletim sisteminde tespit edilen bölgelere bağlantısının yapılması ile puant yük koşullarında yaşanabilecek herhangi bir iletim hattının veya santralin devre dışı kalması ya da şehrin ülke iletim sistemine bağlantı noktalarında bir arıza yaşanması durumlarında herhangi bir tüketim

noktasında enerji kesintisi yapılmasına gerek duyulmadan sistem dengesini sağlanmıştır. DGS'lerin ilave edilmesi ile beraber iletim sisteminde herhangi bir ek güçlendirme çalışması yapılmasına gerek duyulmamıştır.

Son yıllarda pek çok farklı uygulama alanında kullanılan YSA, bu tez çalışmasında sisteme ilave edilen DGS'lerin farklı güç sistemi koşulları altında işletme pozisyonlarının belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. Tasarlanan yöntem, DGS'lerin uygun işletme koşullarının ve uygun bağlantı noktalarının güç sistemi operatöründen ve insan faktöründen bağımsız olarak tespit edilebilmesi ve YSA-tabanlı akıllı bir kontrol yöntemi ile yüksek doğrulukla en uygun manevraların otonom olarak yapılabilmesi için geliştirilmiştir. Önerilen YSA modelinde, sisteme eklenecek DGS'lerin işletme pozisyonları ağıın çıkışını temsil ederken; yük durumu, bara güçleri (sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri) ve hat yüklenmelerinin farklı kombinasyonları ağıın girdileri oluşturmaktadır. Elde edilen veriler, farklı RES/HES üretimi ve yük koşulları altında alınmış olup DGS sistemlerinden bağımsız bir model geliştirilmiştir. ÖEGİ algoritması ile güçlendirilen ağ yapısında, veri dağılımının, sonuçlara etkisinin incelenmesi için farklı eğitim yüzdeleri ile performans incelenmiştir. En iyi genel ağ performansı %98,6 doğruluk oranı ile yük durumu, iletim hattı yüklenmeleri, sistemle güç alışverişi yapan noktaların aktif ve reaktif güç değerleri ağa girdi olarak verildiği durumda elde edilmiştir. Giriş vektörü 32 adet özellikten oluşmaktadır. Test verilerinde %96,8 doğruluk oranı ile DGS'lerin işletme pozisyonları doğru tespit edilmiştir. Elde edilen yüksek doğruluk oranları ile beraber YSA'nın güç sistemleri yönetiminde etkin olarak kullanılabileceği tespit edilmiş olup literatüre bu yönde katkı sağlanmıştır.

Sisteme ilave edilen DGS'ler tek bir üretim merkezi olarak tasarlanmış olup çevresel ve finansal koşullara bağlı olarak aynı üretim kapasitesini yakalayabilmek için ve dağıtım sistemi içerisinde pek çok farklı bölgede birden fazla generatör tesis edilmesi gerekebilir. Bu durum da sistem yönetimini zorlaştıracak olup iletim ve dağıtım sistemi arasında güçlü bir koordinasyonu gerektirir.

Sisteme dahil edilen DGS'ler enerji üretim maliyetleri ve sistem koşullarına bağlı olarak tez çalışmasında belirlenen durumlarla beraber sürekli olarak da devrede bulunabilirler. Buradaki esas nokta sistem kararlılığının sağlanması yanında en düşük enerji üretim maliyetlerinin elde edilmesidir. Bu doğrultuda sistem işletmecileri farklı işletme stratejileri geliştirebilirler.

DGS tanımı içerisinde sisteme dahil edilebilecek farklı üretim teknolojilerine sahip kaynaklar bulunmaktadır. Tezde önerilen yöntem doğrultusunda kullanıma en uygun kaynaklar hammadenin depolanabilir olması ve hızlı bir şekilde üretime geçebilmeleri nedeniyle ilk olarak HES'ler ardından dizel generatörlerdir. RES'ler ve GES'ler meteorolojik koşullara bağlı olarak kesintili üretim yapmakta olduklarından önerilen yöntem doğrultusunda kullanılmaları %100 güvenilirlik sağlayamamaktadır. Yine de belirlenen bölgeler içerisinde bu santrallerin tesis edilmesi enerji üretim maliyetlerinin düşürülmesi ile beraber devrede oldukları zamanlarda iletim sistemi üzerindeki yükü olarak olumlu katkılar sağlayacaktır.

Tez çalışmasında elde edilen sonuçlar ile dağıtım sistemlerine bağlantısı yapılan DGS'lerin doğru planlamalar ile yüksek gerilim iletim sistemlerine de önemli katkılar sağlayacağı tespit edilmiştir. İlerleyen yıllarda güç sistemlerinde daha fazla yer bulması muhtemel ve günümüzde pek çok optimizasyon uygulamalarına konu olan DGS'lerin mevcut enterekte sistem ile koordineli olarak çalışması adına önerilen yöntem ile başarılı sonuçlar elde edilerek literatüre katkıda bulunulmuştur.

KAYNAKLAR

- [1] Ackermann, T., Andersson, G., & Söder, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric power systems research*, 57(3), 195-204.
- [2] HA, M. P., Huy, P. D., & Ramachandaramurthy, V. K. (2017). A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 293-312.
- [3] Willis, H. L. (2000, July). Analytical methods and rules of thumb for modeling DG-distribution interaction. In *2000 power engineering society summer meeting (Cat. No. 00CH37134)* (Vol. 3, pp. 1643-1644). IEEE.
- [4] Acharya, N., Mahat, P., & Mithulanathan, N. (2006). An analytical approach for DG allocation in primary distribution network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 28(10), 669-678.
- [5] Wang, C., & Nehrir, M. H. (2004). Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems. *IEEE Transactions on Power systems*, 19(4), 2068-2076.
- [6] Hung, D. Q., Mithulanathan, N., & Bansal, R. C. (2010). Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks. *IEEE Transactions on energy conversion*, 25(3), 814-820.
- [7] Gözel, T., & Hocaoglu, M. H. (2009). An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems. *Electric power systems research*, 79(6), 912-918.
- [8] Lee, S. H., & Park, J. W. (2009). Selection of optimal location and size of multiple distributed generations by using Kalman filter algorithm. *IEEE Transactions on Power Systems*, 24(3), 1393-1400.
- [9] El-Khattam, W., Hegazy, Y. G., & Salama, M. M. A. (2005). An integrated distributed generation optimization model for distribution system planning. *IEEE Transactions on power systems*, 20(2), 1158-1165.
- [10] Zhu, D., Broadwater, R. P., Tam, K. S., Seguin, R., & Asgeirsson, H. (2006). Impact of DG placement on reliability and efficiency with time-varying loads. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(1), 419-427.
- [11] Karnavas, Y. L., & Syllignakis, J. E. (2011). Modelling and Simulation of Electric Power Systems for Optimal Distributed Generation Allocation, *Proceedings of the IASTED International Conference Applied Simulation and Modelling*, (pp. 48-53). Greece : Crete, June 22-24.
- [12] Vovos, P. N., & Bialek, J. W. (2005). Direct incorporation of fault level constraints in optimal power flow as a tool for network capacity analysis. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(4), 2125-2134.

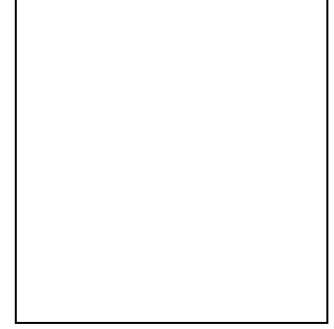
- [13] **Singh, D., Misra, R. K., & Singh, D.** (2007). Effect of load models in distributed generation planning. *IEEE Transactions on Power Systems*, 22(4), 2204-2212.
- [14] **Shaaban, M. F., Atwa, Y. M., & El-Saadany, E. F.** (2012). DG allocation for benefit maximization in distribution networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 28(2), 639-649.
- [15] **Khalesi, N., Rezaei, N., & Haghifam, M. R.** (2011). DG allocation with application of dynamic programming for loss reduction and reliability improvement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 33(2), 288-295.
- [16] **Atwa, Y. M., & El-Saadany, E. F.** (2011). Probabilistic approach for optimal allocation of wind-based distributed generation in distribution systems. *IET Renewable Power Generation*, 5(1), 79-88.
- [17] **Ochoa, L. F., Dent, C. J., & Harrison, G. P.** (2009). Distribution network capacity assessment: Variable DG and active networks. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 87-95.
- [18] **Vovos, P. N., Harrison, G. P., Wallace, A. R., & Bialek, J. W.** (2005). Optimal power flow as a tool for fault level-constrained network capacity analysis. *IEEE Transactions on Power Systems*, 20(2), 734-741.
- [19] **Borges, C. L., & Falcao, D. M.** (2006). Optimal distributed generation allocation for reliability, losses, and voltage improvement. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 28(6), 413-420.
- [20] **Jabr, R. A., & Pal, B. C.** (2009). Ordinal optimisation approach for locating and sizing of distributed generation. *IET generation, transmission & distribution*, 3(8), 713-723.
- [21] **Akorede, M. F., Hizam, H., Aris, I., & Ab Kadir, M. Z. A.** (2011). Effective method for optimal allocation of distributed generation units in meshed electric power systems. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 5(2), 276-287.
- [22] **Abou El-Ela, A. A., Allam, S. M., & Shatla, M. M.** (2010). Maximal optimal benefits of distributed generation using genetic algorithms. *Electric power systems research*, 80(7), 869-877.
- [23] **Singh, R. K., & Goswami, S. K.** (2010). Optimum allocation of distributed generations based on nodal pricing for profit, loss reduction, and voltage improvement including voltage rise issue. *International journal of electrical power & energy systems*, 32(6), 637-644.
- [24] **Harrison, G. P., Piccolo, A., Siano, P., & Wallace, A. R.** (2008). Hybrid GA and OPF evaluation of network capacity for distributed generation connections. *Electric Power Systems Research*, 78(3), 392-398.
- [25] **Haghifam, M. R., Falaghi, H., & Malik, O. P.** (2008). Risk-based distributed generation placement. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 2(2), 252-260.
- [26] **Yammani, C., Maheswarapu, S., & Matam, S.** (2012). Multiobjective optimization for optimal placement and size of DG using shuffled frog leaping algorithm. *Energy Procedia*, 14, 990-995.

- [27] **Falaghi, H., & Haghifam, M. R.** (2007, July). ACO based algorithm for distributed generation sources allocation and sizing in distribution systems. In *2007 IEEE Lausanne Power Tech* (pp. 555-560). IEEE.
- [28] **Karagiannopoulos, S., Aristidou, P., & Hug, G.** (2019). Data-driven local control design for active distribution grids using off-line optimal power flow and machine learning techniques. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *10*(6), 6461-6471.
- [29] **Garg, A., Jalali, M., Kekatos, V., & Gatsis, N.** (2018, November). Kernel-based learning for smart inverter control. In *2018 IEEE Global Conference on Signal and Information Processing (GlobalSIP)* (pp. 875-879). IEEE.
- [30] **Dobbe, R., Sondermeijer, O., Fridovich-Keil, D., Arnold, D., Callaway, D., & Tomlin, C.** (2019). Toward distributed energy services: Decentralizing optimal power flow with machine learning. *IEEE Transactions on Smart Grid*, *11*(2), 1296-1306.
- [31] **Sondermeijer, O., Dobbe, R., Arnold, D., Tomlin, C., & Keviczky, T.** (2019). Regression-based inverter control for decentralized optimal power flow and voltage regulation. *arXiv preprint arXiv:1902.08594*.
- [32] **Bellizio, F., Karagiannopoulos, S., Aristidou, P., & Hug, G.** (2018, August). Optimized local control for active distribution grids using machine learning techniques. In *2018 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM)* (pp. 1-5). IEEE.
- [33] **Ma, X., Jin, Y., & Dong, Q.** (2017). A generalized dynamic fuzzy neural network based on singular spectrum analysis optimized by brain storm optimization for short-term wind speed forecasting. *Applied Soft Computing*, *54*, 296-312.
- [34] **Çalışır, A., Yılmaz, A., & Bayrak, G.** (2018). Power Flow and Short Circuit Fault Analysis of DFIG-typed Wind Turbines Connected Microgrid with DIGSILENT PowerFactory Program, *Güç Sistemleri Konferansı*, (pp. 64-68). Ankara, November 15-16.
- [35] **HA, M. P., Huy, P. D., & Ramachandaramurthy, V. K.** (2017). A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *75*, 293-312.
- [36] **Url-1** <http://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri>., erişim tarihi 25.01.2021.
- [37] **Elektrik Şebeke Yönetmeliği.** *T. C. Resmi Gazete*, *29013*, 28 Mayıs 2014.
- [38] **Schulze, M. A.** (1998). Linear programming for optimization. *Perceptive Scientific Instruments, Inc.*
- [39] **Davoodi, E., Hagh, M. T., & Zadeh, S. G.** (2014). A hybrid improved quantum-behaved particle swarm optimization–simplex method (IQPSOS) to solve power system load flow problems. *Applied Soft Computing*, *21*, 171-179.
- [40] **Da Silva, I. N., Spatti, D. H., Flauzino, R. A., Liboni, L. H. B., & dos Reis Alves, S. F.** (2017). *Artificial neural network architectures and training processes*. In *Artificial neural networks*. Springer, Cham.

- [41] **Mirjalili, S.** (2019). *Evolutionary algorithms and neural networks. In Studies in Computational Intelligence* (Vol. 780). Springer, Cham.
- [42] **Parmar, R., Shah, M., & Shah, M. G.** (2017). A Comparative study on different ANN techniques in wind speed forecasting for generation of electricity. *IOSR J. Electr. Electron. Eng.*, 12(01), 19-26.
- [43] **Bayrak, G.** (2013). *Şebeke Bağlantılı Bir Fotovoltaik Sistemin Tasarımı ve Farklı Şebeke Koşulları Altında Analizi* (Doktora Tezi). Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elâzığ.
- [44] **Yılmaz, A.** (2018). *Şebeke Bağlantılı Fotovoltaik (PV) Sistemlerin Mevcut Elektrik Şebekesi ile Entegrasyonu ve Güç Sistemine Etkileri* (Yüksek Lisans Tezi). Bursa Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Alperen ÇALIŞIR

Doğum Tarihi ve Yeri : -

E-posta : -

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2021, Bursa Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- Mühendis-TEİAŞ 2. Bölge Müdürlüğü (2017- ...)

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Çalışır, A., Yılmaz, A., & Bayrak, G.** (2018). Power Flow and Short Circuit Fault Analysis of DFIG-typed Wind Turbines Connected Microgrid with DIgSILENT PowerFactory Program, *Güç Sistemleri Konferansı*, (pp. 64-68). Ankara, November 15-16.
- **Çalışır, A., Yılmaz, A., Bayrak, G.** (2018). Selecting Optimal Grid Integration Point of DFIG Wind Turbines: A Case Study. *6th Eur. Conf. Ren. Energy Sys.*, (pp. 1038-1043). İstanbul, Turkey, June 25-27.