

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

**DENGESİZ DAĞITIM SİSTEMİNDE DAĞITIK ÜRETİMİN  
OPTİMAL YERLEŞİMİ VE BOYUTLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Salman Ahmed NUR**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı**

**TEMMUZ 2023**



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

**DENGESİZ DAĞITIM SİSTEMİNDE DAĞITIK ÜRETİMİN  
OPTİMAL YERLEŞİMİ VE BOYUTLANDIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Salman Ahmed NUR**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Doç.Dr. Selçuk EMİROĞLU**

**TEMMUZ 2023**



Salman Ahmed NUR tarafından hazırlanan “DENGESİZ DAĞITIM SİSTEMİNDE DAĞITIK ÜRETİMİN OPTİMAL YERLEŞİMİ VE BOYUTLANDIRILMASI” adlı tez çalışması 31.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı **Elektrik Mühendisliği** Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### Tez Jürisi

Jüri Başkanı :

Jüri Üyesi :

Jüri Üyesi :



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim-Öğretim Yönetmeliğine ve Yükseköğretim Kurumları Bilimsel Araştırma ve Yayın Etiği Yönergesine uygun olarak hazırlamış olduğum “DENGESİZ DAĞITIM SİSTEMİNDE DAĞITIK ÜRETİMİN OPTİMAL YERLEŞİMİ VE BOYUTLANDIRILMASI” başlıklı tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın tüm aşamalarında yukarıda belirtilen yönetmelik ve yönergeye uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, bu tezi başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve 20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince Sakarya Üniversitesi’nin abonesi olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Enstitü tarafından belirlenmiş ölçütlere uygun rapor alındığını, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun ortaya çıkması halinde doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi beyan ederim.

(31/07/2023).

(imza)

Salman Ahmed NUR





*Aileme ve tüm sevdiklerime,*



## TEŞEKKÜR

Akademik katkılarıyla çalıŐmalarına öncülük eden, maddi-manevi destekleriyle beni her zaman başarıya teşvik eden ve gelişmeme katkıda bulunan değerli danışman hocam Sayın Doç.Dr. Selçuk EMİROĞLU'na sonsuz teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım. Ayrıca değerli görüş ve önerileriyle tezimin gelişmesine katkıda bulunan jüri üyeleri Prof. Dr. Yılmaz UYAROĞLU ve Doç. Dr. Rıfki TERZİOĞLU'na teşekkür ederim.

Eğitim ve tez sürecinde olduğu gibi, hayatımın her anında maddi ve manevi desteğini esirgmeden, her zaman yanımda olan, çok değerli ve sevgili aileme sonsuz teşekkür ederim.

Salman Ahmed NUR



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ.....</b>	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR.....</b>	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER.....</b>	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR .....</b>	<b>xiii</b>
<b>SİMGELER.....</b>	<b>xv</b>
<b>TABLO LİSTESİ.....</b>	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ.....</b>	<b>xix</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>xxi</b>
<b>SUMMARY.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar .....	6
1.2. Tezin Amacı ve İçeriği .....	12
1.3. Tezin Organizasyonu .....	13
<b>2. DAĞITIK ÜRETİM SİSTEMLERİ.....</b>	<b>15</b>
2.1. Dağıtık Üretimin Sınıflandırılması.....	16
2.1.1. Yakıt türüne göre DÜ sınıflandırılması .....	17
2.1.2. Kapasitesine göre DÜ sınıflandırılması .....	17
2.1.3. DÜ'nün çıkış gücüne göre sınıflandırılması.....	18
2.2. Dağıtık Üretimin Faydaları ve Sorunları .....	18
2.3. Güneş Enerji Sistemlerinin Güç Dağıtım Sistemlerine Etkisi .....	19
2.4. Dağıtık Üretimin Güç Dağıtım Sistemlerine Etkisi .....	25
2.4.1. DÜ'nin dağıtım şebekesi kayıplarına etkisi.....	26
2.4.2. DÜ'nün gerilim kontrolüne etkisi .....	31
<b>3. DAĞITIM SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ .....</b>	<b>33</b>
3.1. Dağıtım Şebekesinde Güç Akışı Analizi .....	33
3.2. Dağıtım Şebekesinin OpenDSS'te Modellenmesi .....	34
3.3. Yük Modelleri .....	37
3.4. Test Sistemi.....	38
<b>4. OPTİMAL DAĞITIK ÜRETİM BOYUTLANDIRMA ve YERLEŞİM     PROBLEMİNİN TANIMLANMASI .....</b>	<b>41</b>
4.1. Problemin Tanımlanması .....	41
4.2. Amaç Fonksiyonu .....	41
4.3. Kısıtlar .....	42
4.3.1. Güç akışı kısıtları.....	42
4.3.2. Dağıtık üretim kısıtları.....	43
4.3.3. Gerilim kısıtları .....	43
4.3.4. Güç faktörü kısıtları.....	43
4.4. Önerilen Yöntemler .....	44
4.4.1. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO).....	44

4.4.2. Genetik algoritması (GA) .....	45
4.4.3. Gri kurt optimizasyonu (GWO) .....	45
4.4.4. Hibrit gri kurt optimizasyonu ve guguk kuşu araması (GWOCS) .....	45
4.4.5. Hibrit artırılmış gri kurt optimizasyonu ve guguk kuşu araması (AGWOCS) .....	45
4.5. OpenDSS ve MATLAB ile Algoritmanın Benzetimi .....	46
<b>5. BENZETİM ÇALIŞMALARI.....</b>	<b>49</b>
5.1. Senaryo 1 .....	50
5.2. Senaryo 2 .....	51
5.3. Senaryo 3 .....	51
5.4. Senaryo 4 .....	52
5.5. Senaryo 5 .....	52
5.6. Senaryo 6 .....	53
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>69</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>71</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>79</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>81</b>

## KISALTMALAR

<b>AG</b>	: Alçak gerilim
<b>AGWOCS</b>	: Artırılmış Gri Kurt Optimizasyonu ve Guguk Kuşu Araması (Augmented Grey Wolf Optimizer and Cuckoo Search)
<b>BB-BC</b>	: Büyük Patlama Büyük Çöküş (Big Bang-Big Crunch)
<b>BSFLA</b>	: İkili karıştırılmış kurbağa sıçrama algoritması (Binary Shuffled Frog Leaping Algorithm)
<b>BO</b>	: Bonobo Optimizasyon Algoritması (Bonobo Optimization Algorithm)
<b>BWO</b>	: Karadul Optimizasyon Algoritması (Black Widow Optimization)
<b>COM</b>	: Bileşen Nesne Modeli (Component Object Model)
<b>CSA</b>	: Guguk Kuşu Arama Algoritması (Cuckoo Search Algorithm)
<b>CSCA</b>	: Kaotik Sinüs Kosinüs Algoritması (Chaotic Sine Cosine Algorithm)
<b>CSOA</b>	: Karga Arama Optimizasyon Algoritması (Crow Search Algorithm)
<b>DA</b>	: Doğru Akım
<b>DE</b>	: diferansiyel evrim (Differential Evolution)
<b>DSS</b>	: Distribution System Simulator
<b>DSTATCOM</b>	: Dağıtım Statik Kompansatör (Distribution Static Compensator)
<b>DG</b>	: Distributed Generation
<b>DÜ</b>	: Dağıtık Üretim
<b>DÜS</b>	: Dağıtık Üretim Sistemleri
<b>EPRI</b>	: Elektrik Güç Araştırma Enstitüsü (Electric Power Research Institute)
<b>FLC</b>	: Bulanık Mantık Denetleyicisi (Fuzzy Logic Controller)
<b>GA</b>	: Genetik Algoritma (Genetic Algorithm)
<b>GES</b>	: Güneş Enerjisi Kaynağı
<b>GF</b>	: Güç Faktörü
<b>GSA</b>	: Yerçekimsel Arama Algoritması (Gravitational Search Algorithm)
<b>GWO</b>	: Gri Kurt Optimizasyon Algoritması
<b>GWOCs</b>	: Gri Kurt Optimizasyon Algoritması ve Guguk Kuşu Arama Algoritması

<b>HGWO</b>	: Hibrit Gri Kurt Optimizasyon Algoritması (Hybrid Grey Wolf Optimization Algorithm)
<b>ICA</b>	: Emperyalist Rekabetçi Algoritması (Imperialist Competitive Algorithm)
<b>IEA</b>	: International Energy Agency
<b>IEEE</b>	: Institute of Electrical and Electronics Engineers (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü)
<b>IHD</b>	: Bireysel Harmonik Bozulma (Individual Harmonic Distortions)
<b>ISMA-SD</b>	: Balçık Kalıbı Algoritması-En Dik İniş Algoritması (Improved Slime Mould Algorithm and Steep Descent)
<b>IRENA</b>	: International Renewable Energy Agency
<b>OpenDSS</b>	: Open Distribution System Simulator
<b>OPF</b>	: Optimal güç faktörü (Optimal Power Factor)
<b>PSO</b>	: Parçacık Sürü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimization)
<b>PV</b>	: Photovoltaic
<b>SCA</b>	: Sinüs Kosinüs Algoritması (Sine Cosine Algorithm)
<b>SFO</b>	: Ayçiçeği Optimizasyonu (Sunflower Optimization Algorithm)
<b>SMA</b>	: Balçık Kalıbı Algoritması
<b>SSA</b>	: Salp Sürüsü Algoritması (Salp Swarm Algorithm)
<b>SSD</b>	: Sosyal Kayak Sürücüsü (Social Ski-driver)
<b>SVC</b>	: Statik VAr kompanseör (Static VAr compensator)
<b>THD</b>	: Toplam Harmonik Bozulma (Total Harmonic Distortions)
<b>VBA</b>	: Visual Basic for Applications
<b>VR</b>	: Voltage Regulator (Gerilim Regülatörü)
<b>WOA</b>	: Balina Optimizasyon Algoritması (Whale Optimization Algorithm)
<b>WOA-SSA</b>	: Hibrit Balina Optimizasyon Algoritması ve Salp Sürüsü Algoritması
<b>YEK</b>	: Yenilenebilir Enerji Kaynağı (Renewable Energy Source )
<b>ZIP</b>	: ZIP Yük Modeli

## SİMGELER

$c_1$	: Bilişsel ivme sabiti
$c_2$	: Sosyal ivme sabiti
$E_{\text{kayıp}}$	: Günlük enerji kaybı
$E_0$	: Dağıtım trafo merkezinden çekilen enerji
$E_e$	: Işınım
$E_{680}$	: 680 nolu barada çekilen enerji
$E_{\text{PV}}$	: PV çıkışındaki toplam enerji
$E_{\text{Yük}}$	: Yükün çektiği enerji
$F$	: Uygunluk fonksiyonu
$F_a$	: Amaç fonksiyonu
$I$	: Akım
$I_{\text{inj}}$	: Enjeksiyon akımı
$I_p$	: ZIP yük modeli parametrelerinden aktif güç için akım bileşen katsayısı
$I_q$	: ZIP yük modeli parametrelerinden reaktif güç için akım bileşen katsayısı
$P$	: Aktif güç
$P_0$	: Anma gücünde aktif güç
$P_{\text{DÜ}}$	: Dağıtık enerji kaynaklarının ürettiği aktif güç
$P_{\text{DÜmin}}$	: Dağıtık üretim kaynakların ürettiği minimum aktif güç
$P_{\text{DÜmak}}$	: Dağıtık enerji kaynaklarının ürettiği maksimum aktif güç
$P_G$	: Üretilen aktif güç
$P_{\text{Kayıp BC}}$	: Temel durumdaki aktif güç kaybı
$P_{\text{Kayıp}}$	: Aktif güç kaybı
$P_{\text{mpp}}$	: Maksimum güç noktasındaki aktif güç
$P_{\text{Yük}}$	: Yükün aktif gücü
$P_P$	: ZIP yük modeli parametrelerinden aktif güç için güç bileşen katsayısı
$P_{\text{PV}}$	: PV'nin aktif gücü
$P_q$	: ZIP yük modeli parametrelerinden reaktif güç için güç bileşen Katsayısı

$P_{\text{Şebeke}}$	: Şebekeden çekilen aktif güç
$Q$	: Reaktif güç
$Q_{\text{Şebeke}}$	: Şebekeden çekilen reaktif güç
$R$	: Hattın direnci
$T$	: Sıcaklık
$V$	: Gerilim
$V_0$	: Anma gerilimi
$V_G$	: Üretim baradaki gerilimin
$v_i$	: Parçacık Hızı
$V_L$	: Yük gerilimi
$V^{j\phi}$	: j barasındaki faz gerilimi
$V^{\text{lim}}$	: Gerilim sınırı
$V_{\text{min}}$	: Minimum gerilim
$V_{\text{alt}}$	: Minimum gerilim
$V_{\text{üst}}$	: Maksimum gerilim
$X$	: Hattın endüktansı
$X_i$	: Parçacık konumu
$X_{i,\text{pbest}}$	: Parçacıkların en iyi konumu
$X_{g,\text{pbest}}$	: Tüm parçacıklar arasındaki en iyi konum
$Y$	: Admitans matrisi
$Y_{\text{Prim}}$	: Primitif admitans matrisi
$Z_P$	: ZIP yük modeli parametrelerinden aktif güç için empedans bileşen katsayısı
$Z_q$	: ZIP yük modeli parametrelerinden reaktif güç için empedans bileşen katsayısı
$\lambda$	: Ceza faktörü

## TABLO LİSTESİ

### Sayfa

<b>Tablo 2.1.</b> Kapasitesine göre DÜ sınıflandırması [48].....	18
<b>Tablo 2.2.</b> Farklı tüketicilerin ZIP katsayıları ve bağlı oldukları bara numaraları [44]. .....	21
<b>Tablo 2.3.</b> Farklı tüketicilerin ZIP katsayıları ve bağlı oldukları baraları. ....	24
<b>Tablo 3.1.</b> Tüketicilere göre ZIP katsayıları [44].....	38
<b>Tablo 4.1.</b> GA, PSO, GWO, GWOCS ve AGWOCS parametreleri. ....	46
<b>Tablo 5.1.</b> Senaryoların modellenmesi. ....	50
<b>Tablo 5.2.</b> Senaryo 2B'de PSO algoritması ile DÜ yerleşimi. ....	54
<b>Tablo 5.3.</b> Senaryo 2B'de optimal 3 DÜ yerleşimi.....	55
<b>Tablo 5.4.</b> Senaryo 2A'de optimal 3 DÜ yerleşimi. ....	55
<b>Tablo 5.5.</b> Senaryo 2D optimal 3 DÜ yerleşimi. ....	56
<b>Tablo 5.6.</b> Senaryo 2C optimal 3 DÜ yerleşimi.....	57
<b>Tablo 5.7.</b> Senaryo 4'te PSO ile 3 DÜ yerleşimi. ....	60
<b>Tablo 5.8.</b> Senaryo 3'te PSO ile 3 DÜ yerleşimi. ....	60
<b>Tablo 5.9.</b> Senaryo 3'te GWO ile 3 DÜ yerleşimi. ....	61
<b>Tablo 5.10.</b> Senaryo 4'te GWO ile 3 DÜ yerleşimi.....	62
<b>Tablo 5.11.</b> Senaryo 6'da PSO ile 3 DÜ yerleşimi. ....	62
<b>Tablo 5.12.</b> Senaryo 5'te PSO ile 3 DÜ yerleşimi. ....	63
<b>Tablo 5.13.</b> Senaryo 6'da GWO ile 3 DÜ yerleşimi. ....	64
<b>Tablo 5.14.</b> Senaryo 5'te GWO ile 3 DÜ yerleşim. ....	64
<b>Tablo 5.16.</b> Önerilen yöntemlerle 3 DÜ tahsisinin, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması. ....	68



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Dünyada üretilen elektrik enerjisinin kaynaklara göre dağılımı [6].	2
Şekil 1.2. Geleneksel elektrik şebekesinin bileşenleri [12].	4
Şekil 2.1. Yakıt türüne göre DÜ sınıflandırılması [43].	17
Şekil 2.2. Modifiye edilmiş IEEE 13 baralı test fideri [59].	21
Şekil 2.3. Farklı tüketicilere ait yük profilleri [60].	22
Şekil 2.4. Güneşli, yarı bulutlu ve kapalı günler için ışıınım eğrileri.	23
Şekil 2.5. Güneşli, yarı bulutlu ve kapalı günler için panel sıcaklık eğrileri.	23
Şekil 2.6. Tek fazlı sistemin tek hat şeması [66].	26
Şekil 2.7. Farklı DÜ boyutları için aktif güç kaybı değişimi.	28
Şekil 2.8. 812 numaralı barada DÜ yerleşimi ve güç kaybı değişimi.	29
Şekil 2.9. 812 nolu barada DÜ yerleşimi ve şebekeden çekilen aktif güç değişimi.	30
Şekil 2.10. 812'nolu barada DÜ yerleşimi ve şebekeden çekilen reaktif güç değişimi.	30
Şekil 3.1. Güç dönüşüm elemanlarının Enjeksiyon Akım Modeli [30].	35
Şekil 3.2. OpenDSS Çözüm Döngüsü [30].	36
Şekil 3.3. IEEE 34 dağıtım test sistemi [59].	39
Şekil 3.4. Modifiye edilmiş IEEE 34 dağıtım test sistemi.	40
Şekil 4.1. DÜ yerleşimi için önerilen yaklaşımın akış şeması.	48
Şekil 5.1. Senaryo 1-GA ve Senaryo 2-GA için gerilim profili.	58
Şekil 5.2. Senaryo 1-GWO ve Senaryo 2-GWO için gerilim profili.	58
Şekil 5.3. Senaryo 1-PSO ve Senaryo 2-PSO için gerilim profili.	59
Şekil 5.4. Senaryo 3 ve Senaryo 4'te GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.	65
Şekil 5.5. Senaryo 3 ve Senaryo 5'te GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.	66
Şekil 5.6. Senaryo 4 ve Senaryo 6'da GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.	67
Şekil 5.7. Senaryo 5 ve Senaryo 6'da GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.	67



## DENGESİZ DAĞITIM SİSTEMİNDE DAĞITIK ÜRETİMİN OPTİMAL YERLEŞİMİ VE BOYUTLANDIRILMASI

### ÖZET

Küresel nüfus artışına bağlı olarak elektrik enerjisi tüketimindeki büyük artış, elektrik enerjisinin merkezi olarak tedarik edilmesinde zorluklar yaratmıştır. Geleneksel olarak elektrik, farklı gerilim seviyelerinde birbirine bağlı iletim sistemlerinden oluşan geniş bir şebeke aracılığıyla elektrik santrallerinden tüketim merkezlerine aktarılmaktadır. Ancak bu durum büyük güç kayıplarına ve gerilim düşümü sorunlarına yol açmıştır. Bu sorunlar güç sisteminin hem performansını hem de güvenilirliğini olumsuz etkilemektedir. Güneş ve rüzgâr enerjisi gibi yenilenebilir enerji teknolojilerindeki son gelişmeler sayesinde, artan yük taleplerini Dağıtık Üretim (DÜ) kaynaklarını kullanarak karşılamak artık mümkün hale gelmiştir. Dağıtık üretimin dağıtım şebekeleri üzerinde olumlu etkileri vardır. DÜ sahaları tasarlanırken yatırım getirisini en üst düzeye çıkarmak için DÜ ünitelerinin boyutu ve konumu gibi parametrelerin seçimi dikkatle değerlendirilmelidir. Bu ünitelerin etkinliği, dağıtım şebekesine optimal şekilde yerleştirilmelerine ve boyutlandırılmalarına bağlıdır. Dağıtım şebekelerinin karmaşıklığı nedeniyle planlama karmaşık bir görev haline gelmektedir. Bu nedenle, dağıtım şebekelerinde DÜ'lerin optimum şekilde yerleştirilmesi ve boyutlandırılması konusunda şebeke planlamacılarına yardımcı olacak yeni teknikler geliştirilmelidir. Bu tezde, sezgisel optimizasyon algoritmaları kullanılarak üç fazlı dengesiz dağıtım güç sistemlerinin enerji kaybını minimize etmek ve tüm bara gerilimleri belirlenen sınırlar içinde tutmak için DÜ'nün optimal yerleşimi ve boyutlandırılması probleminin incelenmesi amaçlanmıştır. Birim güç faktöründe ve optimal güç faktöründe çalışan DÜ sistemlerinin optimal konumunu ve boyutunu bulmak için Genetik Algoritma (GA), Hibrit Gri Kurt Optimizasyonu ve Guguk Kuşu Araması Algoritması (GWOCS), Parçacık Sürü Optimizasyonu (PSO), Hibrit Arttırılmış Gri Kurt Optimizasyonu ve Guguk Kuşu Araması Algoritması (AGWOCS), Gri Kurt Optimizasyon (GWO) algoritmaları kullanılmıştır. Bu çalışma kapsamında, önerilen yöntemler MATLAB ve OpenDSS programları kullanılarak dengesiz yüklenme ve hatlara sahip IEEE 34 baralı test sistemine uygulanmıştır. Dağıtım sistemindeki yükleri doğru bir şekilde modellemek için gerilime bağlı yük modeli olan ZIP yük modeli kullanılmıştır. Gerçeğe yakın sonuçlar elde etmek için ticari, konutsal ve endüstriyel tüketicilerin ZIP katsayıları kullanılmıştır. Ayrıca, literatürdeki çalışmalarla karşılaştırmak için IEEE 34 bara sisteminin orijinal yükleri de kullanılarak benzetimler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, optimum yerleştirilmiş ve boyutlandırılmış DÜ'lerin yalnızca güç kaybını azaltmakla kalmayıp aynı zamanda sistemin gerilim profilini ve karalılığını da iyileştirdiğini göstermektedir. Ayrıca, DÜ'lerin reaktif güç kapasitesinin kullanılmasıyla güç kaybındaki azalmanın ve gerilim profilleri iyileştirmelerinin daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



## **OPTIMAL ALLOCATION AND SIZING OF DISTRIBUTED GENERATION IN THE UNBALANCED DISTRIBUTION SYSTEM**

### **SUMMARY**

Energy demand in the world is growing exponentially and traditional energy sources are exhaustible and limited in supply. Therefore, there is an urgent need to conserve the remaining energy resources and explore alternative energy sources. Renewable energy sources are increasingly being used to meet energy needs and are seen as potential solutions to tackle serious energy crises and environmental concerns. The massive increase in electrical energy consumption due to global population growth has also created challenges in the centralized supply of electrical energy. Traditional electricity systems are built according to a centralized model. Electric energy is generated in large power plants located far away from consumers. Transmission lines are used to deliver electrical energy to consumers. Most of the time, these transmission lines are constructed over long distances and have high voltage. Once the electrical energy is transported close to the consumption centers, it must be distributed through a larger number of short length distribution lines with low nominal power. From a technical and economical point of view, it is desirable to reduce voltage levels. All these networks and substations together form what is called the distribution system. Traditionally, this is a passive network as there are no Distributed Generation (DG) units connected to the distribution network. Thus, the power flow is unidirectional from the transmission to the distribution network.

However, this centralized model has led to high power losses and voltage drop problems. These problems adversely affect both the performance and reliability of the power system. Among the various renewable energy sources, solar and wind energies are the most promising energy sources for humanity. Due to their abundant availability, renewable energy sources will form the backbone of the future energy system. These sources will gradually replace coal, oil, and gas in energy consumption schemes over time. To integrate large amounts of renewable energy into the power system requires a restructuring of existing energy systems. The smart grid is the key to this transformation. In the future, smart grid systems will consist of various elements such as distributed renewable energy sources, a robust electricity grid, flexible consumption, and an intelligent power control system. Distributed renewable energy sources and energy storage devices are expected to play a vital role in meeting the future energy demand of the smart grid system.

Thanks to recent advances in renewable energy technologies, it is now possible to meet increasing load demands using DG resources. DGs has positive impacts on distribution networks. When designing Distributed Generation sites, the choice of parameters such as the size and location of DG units should be carefully considered to maximize the return on investment. The effectiveness of these devices depends on their optimal placement and sizing within the distribution network. Traditional power systems are

designed to be radial and unidirectional, so adding DG units to distribution systems can cause some problems. These problems are related to how to choose the size and location of DG units. Many benefits can be obtained from integrating DG units into distribution systems, such as reducing power losses and improving voltage profiles. These benefits can be maximized if the size and location of DG units are optimized. Many researchers have investigated different aspects of this problem using various optimization methods, such as heuristic methods, analytical approaches, and computational artificial intelligence. However, there are still some limitations in both the problem formulations and the methods used. Due to the complexity of distribution networks, planning becomes a complex task. Therefore, new techniques should be developed to assist network planners in the optimal placement and sizing of distributed generation in distribution networks.

This thesis aims to investigate the problem of optimal placement and sizing of Distributed Generation in three-phase unbalanced distribution systems to minimize energy loss and keep voltage magnitudes within specified limits using heuristic optimization algorithms. In this thesis, Genetic algorithm (GA), Hybrid Grey Wolf Optimization and Cuckoo Search algorithm (GWOCS), Particle Swarm Optimization (PSO), Hybrid Augmented Grey Wolf Optimization and Cuckoo Search algorithm (AGWOCS), Grey Wolf Optimization and Cuckoo Search algorithm (GWO) are used to find the optimal location and sizing of DG systems. Due to the unbalanced nature of distribution systems, the IEEE 34-bus test system, which is three-phase unbalanced, is used in the simulations. The effectiveness of the proposed algorithms is tested on the IEEE 34-bus test system. An open-source software called OpenDSS is used for the three-phase unbalanced power flow solution. Optimization algorithms for the placement of DGs in the distribution system are developed in MATLAB.

To analyze the power system, loads should be modeled such that they closely represent the actual system loads. No load consists entirely of constant power, constant impedance, or constant current. Each of the loads in the power system has its own characteristics that can be represented by ZIP (constant impedance, constant current, constant power) coefficients. For this reason, exponential and polynomial load models have started to be preferred since constant power, constant impedance and constant current load models do not reflect the real loads. Therefore, in this thesis, ZIP load model, which is a voltage dependent load model, is used to model the loads in the distribution system accurately. The ZIP coefficients of commercial, residential, and industrial customers are used to obtain accurate results. In addition, simulations are also performed using the original loads of the IEEE 34 bus system to compare with the studies in the literature.

In this thesis, six scenarios have been designed. By creating different scenarios, the optimal sizing and placement of a DG operating at unit power factor and a DG operating at optimal power factor and their impact on the grid are also analyzed. Simulations have been performed to compare with the results obtained in the literature. DG placement has been done with and without voltage regulator in the distribution system.

The results show that the proposed methods provide better results in terms of power losses in finding the optimal location and size of the DGs compared to other existing studies due to their robustness and efficiency. The results also show that optimally located and sized DGs not only reduce power loss but also improve the voltage profile

of the distribution system. It is found that the power loss reduction and voltage profile improvements are further enhanced by utilizing the reactive power capacity of the DGs. By comparing the results of DGs operating at unit power factor and DGs operating at optimum power factor, the best results are obtained when DGs are operated at optimum power factor. The location, size, and power factor of DGs are very important in the placement of DGs in distribution networks, and when they are properly placed, they can reduce losses and consequently carbon emissions.





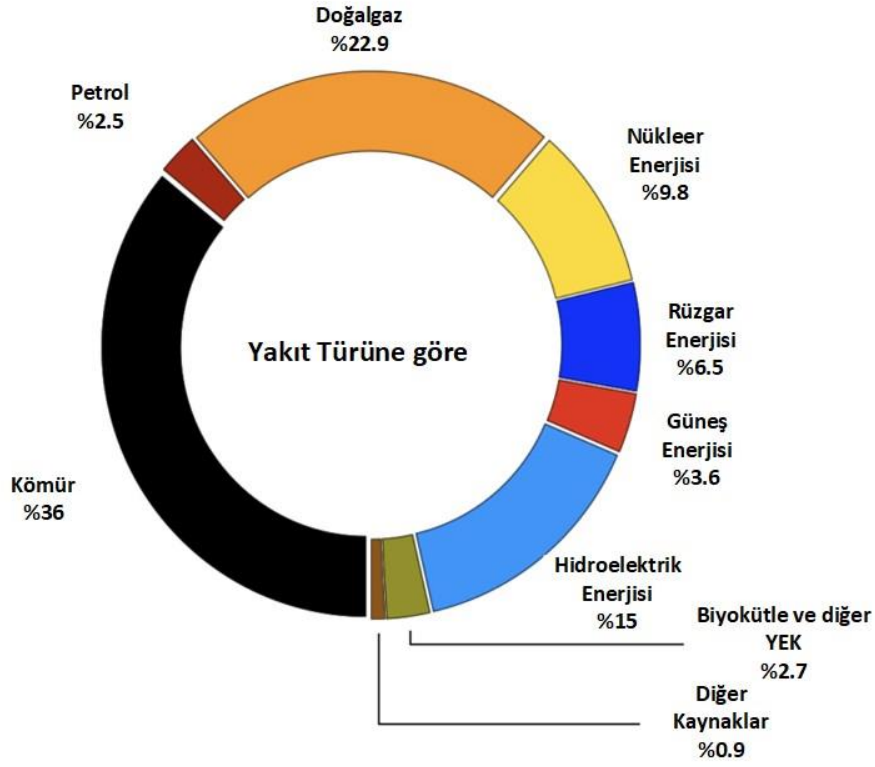
## 1. GİRİŞ

Teknolojinin ilerlemesi, sanayinin gelişmesi ve dünya nüfusunun artmasıyla birlikte enerji ihtiyacı da hızla artmaktadır. Nitekim 2022 yılında dünyada tüketilen toplam birincil enerji miktarı 595 EJ'e ulaşmıştır. 2022 yılın verilerine göre, dünyadaki birincil enerji tüketiminin dağılımı petrol (%30,95), kömür (%26,9), doğal gaz (%24,4), hidroelektrik enerji (%6,76), yenilenebilir enerji kaynakları (%6,7) ve nükleer enerji (%4,25) olduğu görülmüştür [1].

Dünya enerji ihtiyacının %80'inden fazlasını karşılayan fosil yakıtlar sınırlıdır ve mevcut kullanım seviyelerinde 50 yıl içinde kritik bir şekilde azalacağı öngörülmektedir [2]. Dolayısıyla, enerji talebindeki artış, fosil yakıtların tükenmesine ve sera gazı emisyonlarının artmasına yol açarak iklim krizini daha da kötüleştirmektedir [3].

Küresel enerji sistemlerinin dekarbonizasyonu, 21. yüzyılda insanlığın karşılaştığı en büyük ve en önemli zorluklardan biridir. Zira küresel karbondioksitin yaklaşık üçte ikisini oluşturan enerji sektörü, iklim değişikliğiyle mücadelede hayati önem taşımaktadır. Enerji geçiş yoluyla sera gazı emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğinin etkilerini azaltabilir ve hatta önleyebilmektedir. Bugüne kadar 130'dan fazla ülke, 21. yüzyılın ortasına kadar net sıfır karbon emisyonuna ulaşmak olan karbon nötrlüğü hedefini belirlemiştir [4].

Enerji türleri arasında elektrik tüketimi, toplumun ulaştığı gelişmişlik düzeyinin önemli bir göstergesidir. Bir yandan gelişmiş ülkelerdeki elektriğe erişim yaygınlığı göz önüne alındığında, gelişmekte olan birçok ülkede elektrifikasyon oranlarının çok düşük olduğu görülmektedir [5]. Diğer yandan elektrik üretimi, sürdürülebilir kalkınmayı tehdit eden küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olan sera gazı emisyonlarının önde gelen kaynaklarından biridir. Bunun nedeni, küresel elektriğin çoğunun fosil yakıtlı enerji kaynaklarından üretilmesidir.



**Şekil 1.1.** Dünyada üretilen elektrik enerjisinin kaynaklara göre dağılımı [6].

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi elektrik sektöründe kullanılan yakıtların %61,4’ünü fosil yakıtlar oluşturmakta olup, kömür yaklaşık %36’lık oranla baskın kaynaktır ve CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık 40% katkıda bulunmaktadır. 2021 yılın verilerine göre dünyadaki yıllık elektrik üretimi 28466 TWh civarındadır [1] ve çoğunlukla fosil yakıtlarla çalışan büyük elektrik santrallerinde üretilmektedir. Elektrik sektörü en hızlı büyüyen emisyon kaynağıdır ve 2050 yılına kadar dört kat artacağı tahmin edilmektedir. Stern’e göre, atmosferik konsantrasyonun 550 ppm’de sabitlenmesi ve böylece felaket boyutundaki iklim değişikliği riskinin azaltılması için elektrik sektörün 2050 yılına kadar en az %60 oranında karbondan arındırılması gerekmektedir [7].

Dünyada şimdiye kadar üç enerji geçiş süreci meydana gelmiştir. İlk geçiş, ana enerji kaynağı olarak odunun yerini kömürün almasıyla gerçekleşmiştir. İkinci geçişte petrol, ana enerji kaynağı olarak kömürün yerini almıştır. Üçüncü geçişte ise fosil yakıtların yenilenebilir enerjiyle değiştirilmesi yönünde küresel bir kararlılık söz konusudur. Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (IRENA) enerji geçişi kavramını, küresel

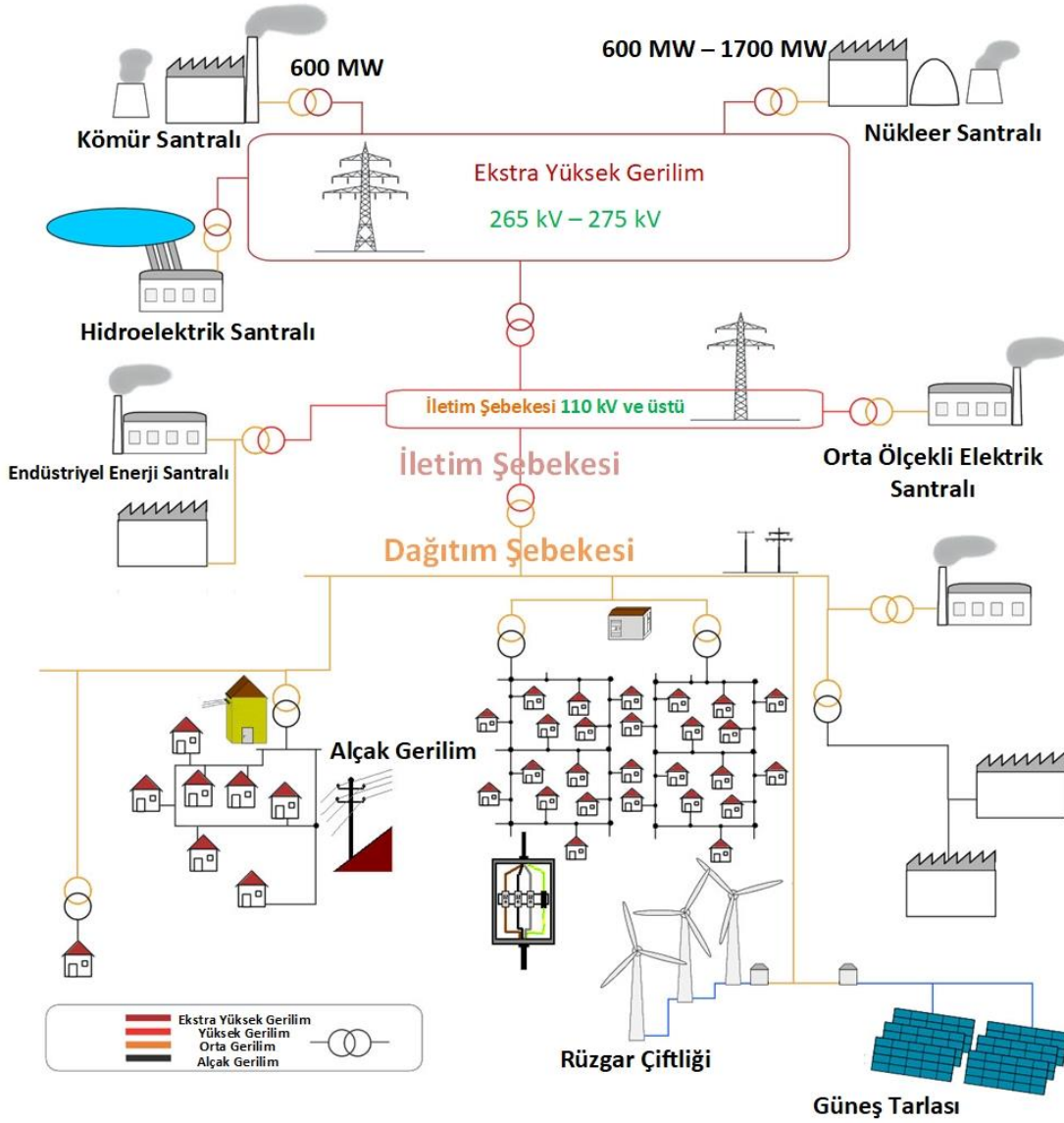
enerji sektörünün 21. yüzyılın ikinci yarısına kadar fosil ağırlıklı karışımdan sıfır karbona dönüşümündeki yol olarak tanımlamaktadır [8].

Yenilenebilir ve düşük karbonlu temiz enerji kaynaklarının kullanımının artırılması yoluyla sürdürülebilir enerji geçişinin arkasındaki ana motivasyon, fosil yakıt bazlı enerji santrallerinin genellikle pahalı, kıt, tükenbilir, kirlenici ve güvensiz olmasından kaynaklanmaktadır. Bu yenilenebilir ve düşük karbonlu kaynaklar, fosil yakıt bağımlılığını ve sera gazı emisyonlarını azaltırken enerji arz güvenliğini de sağlamaktadır [8].

Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), doğal olarak oluşan ve doğal yollarla kendini yenileyen kaynaklardan gelmektedir. YEK, tükenmeyen temiz bir enerji kaynağı olarak enerji geçiş sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. YEK'nin erişimi ve kullanımını artırmaya yönelik stratejiler arasında dönüşüm verimliliğinin artırılması, YEK'nin istikrarsız ve değişken doğasıyla başa çıkmak için enerji depolama teknolojilerinin kullanılması ve fosil yakıtların daha fazla tüketimini engelleyen politikalar yer almaktadır [9].

YEK, sera gazı emisyonlarının, iklim değişikliğinin ve çevre kirliliğinin azaltılması için ana çözüm olarak tanımlanmıştır. Bu kaynaklar, ekonomik, sosyal ve çevresel enerji sürdürülebilirliğine büyük ölçüde katkıda bulunabilir. YEK, genellikle yerel olarak mevcut olduklarından, sera gazı emisyonlarını azalttıklarından ve istihdam yaratarak yerel sosyoekonomik kalkınma için fırsatlar yaratabildiklerinden, nüfusun çoğunun enerjiye erişimini kolaylaştırmak için kullanılabilir [8].

Gelecekte tüm dünyanın neredeyse %100 oranında YEK'den elektrik üretmesi beklenmektedir [10]. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre, 2040 yılına kadar YEK'ye dayalı toplam elektrik üretimi, dünya genelindeki kömür ve doğal gazla kurulu elektrik üretimine eşit olacaktır. Akıllı şehirlerde yenilenebilir enerjinin uygulanmasına yönelik yol haritasında, maksimum performans ve minimum emisyon elde etmek amacıyla enerji kullanımında verimliliği artırmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu mantıklı bir çözüm olarak görülmüştür [11].



**Şekil 1.2.** Geleneksel elektrik şebekesinin bileşenleri [12].

Elektrik şebekesi üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. Şekil 1.2’de üretim, iletim ve dağıtım sistemlerinden oluşan geleneksel elektrik şebekesinin bileşenlerini göstermektedir. Geleneksel enerji sistemi, merkezi elektrik santrali, şebekeye bağlı bir iletim hattı ve radyal dağıtım sisteminden oluşmaktadır.

Elektrik üretimi, kömür, hidroelektrik, doğal gaz, nükleer ve petrol gibi birincil enerji kaynakları kullanılarak merkezi bir üretim istasyonunda üretilir. Bu üretim tesisleri genellikle nihai tüketicilerden uzak mesafelerde kuruludur. Genel olarak iletim,

üretileen enerjinin uzun bir elektrik hattı şebekesi boyunca taşınmasını ifade eder. Bu kavram genellikle 115 kV ve üzeri elektrik için kullanılır, ancak bazı durumlarda 30 kV ve üzeri iletim seviyesi olarak kabul edilir. Son olarak dağıtım, enerjinin yüksek gerilimli iletim hatlarından son tüketiciye olan müşteriye taşınması sürecini ifade eder [13].

Elektrik santrallerinde üretilen enerji, havai iletim hatları ve yeraltı kabloları ile tüketicilere iletilir. Bir kablonun kaçınılmaz dirençsel ısınmasından kaynaklanan enerji kaybı, taşıdığı akımın  $I$  karesi ile orantılıdır [14]. Gelişmiş ülkelerde, iyi kurulmuş dağıtım şebekesine sahip olmalarına rağmen güç kaybı %6'dır. Ancak gelişmekte olan ülkelerde güç kaybı toplam üretilen elektriğin %38'ine kadar ulaşabilmektedir [15]. Dağıtım şebekesi, yüksek R/X oranı ve radyal yapısı nedeniyle iletim şebekesine kıyasla daha yüksek aktif güç kaybına, yüksek gerilim sapsmasına ve düşük gerilim kararlılık endeksine sahiptir. Toplam üretilen enerjinin yaklaşık %10'u iletim ve dağıtım sırasında kayıp olurken, bu toplam kaybın %40'ı sadece dağıtım hattında meydana gelmektedir [6].

Elektrik şebekenin yaşlanması ve enerji talebinin artması ile iletim ve dağıtım şebekesinin büyük ölçüde yenilenmesi gerekmektedir. Güç sistemindeki yenileme, ekonomik, çevresel ve politik engellerle karşılaşma eğilimindedir. Bu engeller birçok zorluğu beraberinde getirirse de enerji şirketlerinin müşterilere güvenli ve güvenilir enerji sağlama sorumluluğu devam etmektedir. Elektrik şirketleri genellikle enerji tüketimindeki artışı karşılamak için büyük merkezi enerji santralleri inşa ederler, ancak elektriğin eskimiş ve kompleks bir şebeke üzerinden taşınması elektrik sisteminin güvenliğini ve istikrarını tehdit eder [16].

Elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri, başlangıçta elektriği merkezi elektrik santrallerinden kilometrelerce uzaktaki tüketicilere dağıtmak üzere tasarlanmıştı. Temel olarak YEK'e dayanan DÜ sistemlerinin artması ve şebekeye bağlı elektrikli arabalar gibi değişken yük kullanıcılarının sayısının artması nedeniyle bu yaklaşım artık geçerli olmamaktadır [17]. Dolayısıyla günümüzde yeni büyük ölçekli enerji santrallerinin yapımı, büyük sermaye maliyetleri, çevresel kısıtlamalar ve aşırı iletim maliyetleri nedeniyle zorlaşmaktadır. Sunulabilecek çözümlerden biri, DÜ'nin radyal elektrik güç dağıtım sistemine yerleştirilmesidir.

IEEE ve IEA'ya göre DÜ güç sistemi, elektriğin merkezi güç sistemine kıyasla yeterince küçük olan ve yüke yakın konumlandırılmış güç üretim kaynakları tarafından üretilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bununla birlikte, DÜ'lerin doğrudan YEK kullanımı anlamına gelmediğinin altını çizmekte fayda vardır. Aslında IEA bir DÜ'yü yerel bir tüketiciyi beslemek ve dağıtım şebekesini desteklemek için doğrudan dağıtım şebekesine bağlanan bir elektrik kaynağı olarak tanımlamaktadır. DÜ teknolojileri, içten yanmalı motorlar, yanmalı türbinler, mikro türbinler, rüzgâr türbinleri, fotovoltaiik, biyokütle, hücreler, jeotermal ve sınırlı hidroelektrik enerjiyi içermektedir. Ancak, DÜ teknolojileri karbon emisyonunu azaltmak için öncelikle güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilmektedir [18].

YEK önemli avantajlara sahip olsa da düşük dönüşüm verimliliği ve arzda değişkenlik ve öngörülemezlik gibi zorluklarla karşı karşıya kalabilmektedir. Bu zorlukların üstesinden gelmek için bazı olası çözüm önerileri arasında yenilenebilir enerji üretim tahmini, talep karşılama ve esnek üretim yer almaktadır. [8].

DÜ, geleneksel veya yenilenebilir enerji kaynağı türleri olabileceğinden, konuma ve kullanılabilirliğe göre seçilebilir. Yenilenebilir DÜ'nün optimal yerleşimi gerilim profilini iyileştirir ve güç kayıplarını azaltabilir, ancak optimal şekilde yerleştirmedikleri takdirde ters güç akışları, aşırı güç kayıpları ve kabloların aşırı ısınması nedeniyle dağıtım sisteminin istikrarını tehlikeye atabilir [19]. Bu nedenle, bu sorunların üstesinden gelmek ve sistemi iyileştirmek için DÜ'ler uygun şekilde boyutlandırılmalı ve dağıtım sistemlerinde konumlandırılmalıdır.

### **1.1. Literatürde Yapılan Çalışmalar**

DÜ, yüke daha yakın konumlandırılmış ve güç sistemi boyunca dağılmış küçük ölçekli enerji üretim birimleri olarak tanımlanabilir [20]. DÜ ünitelerinin etkileri enerji sektörü için büyük önem taşımaktadır, çünkü sadece şebekenin çalışmasını değil aynı zamanda ekonomik ve çevresel maliyetleri de etkileyebilirler. DÜ uygun şekilde şebekeye yerleştirilirse olumlu etkiler elde edilebilir, bu da güç sistemi özelliklerinin yanı sıra mevcut üretim kaynaklarının incelenmesini gerektirir. Doğru planlama, gerçekçi benzetimlere ve optimizasyon tekniklerinin uygulanmasına bağlıdır.

DÜ tahsis problemi, tam sayı ve sürekli değişkenlerden oluşan doğrusal olmayan zorlu doğası nedeniyle son yirmi yılın araştırma konusu olmuştur [21]. DÜ tahsis problemine etkin bir çözüm üretmek için önerilen yaklaşımlar arasında sezgisel, metasezgisel, sayısal, analitik ve hibrit yöntemlere dayalı optimizasyon algoritmaları yer almakta olup, sezgisel ve metasezgisel yöntemler çok modlu optimizasyon problemleriyle başa çıkma kabiliyetleri nedeniyle ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.

Bu alt bölümde, dengeli ve dengesiz dağıtım sistemlerinde DÜ'nün optimal yerleşimi ve boyutlandırma probleminin çözümü için farklı optimizasyon yöntemleri kullanılarak yapılan literatürdeki başlıca çalışmalar sunulmuştur.

Gözel ve Hocaoğlu, DÜ yerleştirme ve boyutlandırma problemini analitik bir yöntemle çözmeyi amaçlamışlardır. Çalışmada, eşdeğer akım enjeksiyonu tekniğine dayalı analitik bir yöntem sunulmuş ve admitans, empedans veya Jacobian matrisi kullanmadan toplam güç kayıplarını en aza indirecek şekilde DÜ optimum boyutunun ve konumunun belirlenmesi hedeflenmiştir. Optimum DÜ boyutu ve yerleştirme için önerilen yöntemle belirlenmiş ve üç dağıtım test sistemi (12 baralı, 34 baralı ve 69 baralı) için ardışık yük akışları ve uygulanan klasik ızgara arama algoritması ile elde edilen sonuçlarla doğrulanmıştır. Önerilen yöntemin hesaplama süresinde diğer yöntemlerden daha hızlı olduğu ve dağıtım sistemleri için uygun olduğu ortaya çıkmıştır [22].

Nagaraju ve arkadaşları radyal dağıtım sistemlerinde DÜ birimlerin optimum boyutu ve konumu bulmak için yeni bir yöntem önermiştir. Hem aktif güç kayıplarını hem de gerilim kararlılığını dikkate alan yeni bir endeks ve dağıtım yük akışı algoritması kullanarak sistemdeki toplam güç kayıplarını en aza indirmeyi amaçlamışlar. Önerilen yöntemin tekli ve çoklu DÜ'lere sahip 69 baralı radyal dağıtım sistemi üzerinde uygulanmıştır [23]. Murty ve Kumar, radyal dağıtım şebekelerinde DÜ optimum konumu ve boyutlandırılması için güç kaybı hassasiyeti, güç kararlılığı endeksi ve gerilim kararlılığı endeksi yöntemlerinin karşılaştırmasını sunmuşlardır. DÜ yerleşimi için uygun barayı belirledikten sonra DÜ'nün optimum boyutunu belirlemek için arama tekniği kullanarak toplam güç kayıplarını azaltmayı ve sistemdeki gerilim kararlılık marjını iyileştirmeyi amaçlamışlar. Ayrıca yük büyümesinin ve birleşik yük güç faktörünün optimum DÜ yerleşimi üzerindeki etkisini de dikkate alarak, üç

yöntemin performansını IEEE 12 baralı, değiştirilmiş 12 baralı, 69 baralı ve 85 baralı olmak üzere dört test sistemi üzerinde değerlendirmişler [24].

Samajpati ve Ganguly adaptif Genetik Algoritma (GA) kullanarak yük ve üretim belirsizlikleri altında radyal dağıtım şebekeleri için DÜ tahsis stratejisi önermişler. Çalışma, bulanık tabanlı bir yaklaşım kullanarak yük ve üretim belirsizliklerini modellemekte ve şebeke güç kaybını ve maksimum bara gerilimi sapmasını en aza indirerek DÜ'lerin optimum konumlarını ve boyutlarını belirlemektedir. Ayrıca Çalışmada, bulanık tabanlı yaklaşımın sonuçlarını deterministik yaklaşımla karşılaştırmakta ve DÜ ünitelerinin konumları ve üretimleri için istatistiksel varyasyonları göstermektedir. Önerilen yaklaşımın uygulanabilirliğini IEEE 33 baralı ve 52 baralı Hindistan dağıtım şebekesi üzerinde gösterilmiştir [25].

Sanjay ve arkadaşları yeni bir metasezgisel algoritma olan hibrit gri kurt optimizasyon algoritması (HGWO) kullanarak radyal dağıtım şebekelerinde DÜ birimlerinin optimum tahsisine yönelik bir çözüm sunmuşlar. DÜ yerleşim problemi, gerçek ve reaktif güç taleplerini karşılarken şebeke güç kaybını ve maksimum düğüm gerilim sapmasını en aza indirmeyi amaçlayan dışbükey olmayan, ayrık bir optimizasyon problemi olarak modellemişlerdir. Önerilen HGWO'nun performansını GA, PSO ve GWO gibi diğer metasezgisel algoritmalarla IEEE 33 baralı, IEEE 69 baralı ve Hindistan 85 baralı sistemler üzerinde karşılaştırmışlar [26]. Uniyal ve Kumar dağıtım üretim birimlerinin optimum konumu ve boyutlandırılması için hassasiyete ve optimizasyona dayalı yaklaşım karşılaştırması yapmışlar. Güç kaybı duyarlılık faktörü, indeks vektör yöntemi, gerilim kararlılık indeksi yöntemi ve GA gibi çeşitli teknikler kullanılarak birim ve 0,9 geri güç faktörlerinde optimum DÜ konumu ve boyutu bulunmuştur. İki yaklaşımın performansını IEEE 33 baralı radyal dağıtım sistemi üzerinde değerlendirilmiştir [27]. Selim ve arkadaşları tarafından dağıtım şebekelerinde DÜ'nin optimum konumunu ve boyutunu belirlemek için Sinüs Kosinüs Algoritmasının (SCA) değiştirilmiş versiyonu olan Kaotik Sinüs Kosinüs Algoritmasını (CSCA) kullanılmıştır. Güç kayıplarının en aza indirilmesi ve dağıtım şebekesinin gerilim profilinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Önerilen yöntem IEEE 33 ve 69 baralı sistemlerinde test edilmiş ve PSO, GA ve Diferansiyel Evrim (DE) gibi diğer optimizasyon teknikleriyle karşılaştırılmıştır. CSCA'nın yakınsama oranı, çözüm

kalitesi ve sağlamlık açısından diğer tekniklerden daha iyi performans gsterdiği ortaya koyulmuştur [28].

Yukarıda bahsedilen çalışmaların ve literatürdeki diğer çalışmaların çoğu DÜ yerleşimi için dengeli dağıtım şebekeleri üzerine değerlendirilmiştir. Fakat dağıtım şebekesi doğası gereği dengesizdir ve DÜ sistemlerinin şebeke üzerindeki etkisini doğru bir şekilde analiz etmek için üç fazlı dengesiz dağıtım şebekesinde test edilmelidir. Dengesiz dağıtım şebekesinde DÜ yerleşimi ve boyutlandırması ilgili yapılan başlıca çalışmalar şunlardır:

Pham ve arkadaşları, dengesiz dağıtım sistemlerinde PV dayalı dağıtık üretim birimlerinin optimum konum ve boyutlandırma problemi, geliştirilmiş Balçık Kalıbı Algoritması ve En Dik İniş Algoritması (ISMA-SD) olarak adlandırılan yeni bir hibrit optimizasyon yöntemi kullanarak ele almışlardır. Çalışmada, gerilim limitleri, hat kapasite limitleri ve PV dayalı dağıtık üretim birimlerinin kapasite limitleri gibi çeşitli kısıtlar altında dengesiz dağıtım sistemlerin toplam güç kayıplarını ve gerilim sapma indeksini en aza indirme amaçlanmıştır. Ayrıca önerilen ISMA-SD'nin performansı, Ayçiçeği Optimizasyonu (SFO), Sosyal Kayak Sürücüsü (SSD), Guguk Kuşu Arama Algoritması (CSA), Salp Sürüsü Algoritması (SSA), Bonobo algoritması (BO) ve Balçık Kalıbı Algoritması (SMA) gibi diğer mevcut metasezgisel algoritmalarla karşılaştırılmıştır. Önerilen yöntemin etkinliği, IEEE 123 baralı test sistemlerine MATLAB [29] ve OpenDSS [30] programları kullanılarak detaylı bir şekilde analiz edilmiştir [31].

Kazeminejad ve arkadaşları da dengesiz dağıtım sistemlerinde dağıtık üretim birimlerinin optimum yerleşimini ve boyutlandırmasını bulmak için yeni bir gerilim kararlılığı indeksi ve Emperyalist Rekabet Algoritması (ICA) önermişler. IEEE 34 baralı çok fazlı dağıtım sistemindeki toplam kayıpları azaltmanın yanı sıra gerilim profilini ve kararlılığını iyileştirmek amaçlanmıştır. Önerilen yöntemin çok fazlı yüklere ve DÜ'lere sahip dengesiz dağıtım sistemlerinde optimum DÜ yerleşimi için güvenilir ve etkili bir çözüm sağlayabileceği sonucuna varılmıştır. [32]. Gómez-González ve arkadaşları, ikili karıştırılmış kurbağa sıçrama algoritması (BSFLA) ile olasılıksal üç fazlı güç akışını birleştiren hibrit bir teknik kullanarak dengesiz radyal sistemlerde biyokütle DÜ birimlerinin optimum şekilde tahsis edilmesi ve

boyutlandırılması sorununu ele almışlardır. Yazarlar, biyokütlenin düşük ısıl değerinin ve yükün rastgele doğasının yanı sıra voltaj regülasyonu ve güç kayıpları gibi sistemin teknik kısıtlamalarını da dikkate almışlar. Önerilen yöntem IEEE 13 baralı test sistemine uygulanmış ve biyokütle DÜ'lerin şebekeye entegre edilmesi ile güç kayıplarını ve gerilim dengesizliğini azalttığını göstermiştir [33].

Pushkarna ve arkadaşları dengesiz bir dağıtım sisteminde Tip-IV (aktif güç sağlayan ve reaktif güç absorbe eden DÜ ünitelerdir) DÜ ünitelerinin optimum planlaması için yeni bir analitik yöntem önermişler. Temel güç akışı denkleminde yeni bir güç ekonomisi faktörü türeterek ve ardından DÜ birimlerinin optimum boyutunu ve konumunu elde etmek için güç kaybını minimize etmişler. IEEE 34 ve 123 baralı sistemlere kullanarak yöntemin etkinliğini test edilmiş ve yöntemlerinin, empedans, admitans veya akım enjeksiyon yöntemlerini kullanan mevcut yöntemlerden daha basit ve daha doğru olduğunu ileri sürmüşler [34].

Alzaidi ve arkadaşları [35], radyal dağıtım sistemlerinde çoklu DÜ'lerin optimum yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için yeni bir hibrit optimizasyon yöntemi önermişler. Balina Optimizasyon Algoritması (WOA) ve SSA ile iki yeni metasezgisel algoritmanın kombinasyonunu kullanarak radyal dağıtım sistemin toplam gerçek güç kayıpları ve gerilim sapması en aza indirmeyi amaçlamışlar. Önerilen hibrit WOA-SSA algoritmasının çeşitli radyal dağıtım sistemleri ve çoklu DÜ üniteleri için güç kayıplarını etkili bir şekilde azaltabileceği ve gerilim profilini iyileştirebileceği sonucuna varmışlar.

Ghatak ve arkadaşları, üç fazlı dengesiz dağıtım şebekesinde güneş enerjisi kaynağının (GES) batarya ve DSTATCOM ile optimum entegrasyonu için kapsamlı ve sağlam bir planlama modeli sunmuşlar. Gerilim dengesizliği, güç akışı ve güç faktörü gibi tüm güç sistemi güvenlik kısıtlarını karşılarken teknik, ekonomik, çevresel ve güvenilirlik unsurlarını en üst düzeye çıkarmayı hedeflemişler. Çalışmada, gerçekçi senaryolar oluşturmak için K-ortalama kümeleme algoritmasını kullanarak güneş enerjisi üretiminin ve yük talebinin aralıklılığını dikkate alınmıştır. Ayrıca GES, batarya ve DSTATCOM cihazlarının optimum konumunu ve boyutunu bulmak için NSGA II'nin genişletilmiş versiyonu (E\_NSII) olarak adlandırılan çok amaçlı bir Bulanık tabanlı E\_NSII algoritma kullanılmıştır. Önerilen yaklaşımın etkinliğini,

müşterilerin gerçek güç verilerini sağlamak için akıllı sayaçlarla donatıldığı gerçek bir üç fazlı dengesiz 240 baralı ABD şebekesi üzerinde değerlendirilmiştir [36].

Othman ve arkadaşları, dengesiz dağıtım sistemlerinde gerilim kontrollü DÜ optimum yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için geleneksel Büyük Patlama Büyük Çöküş (BB-BC) algoritmasının bir modifikasyonuna dayanan verimli ve hızlı yakınsayan bir optimizasyon tekniği önermektedir. Makalenin amacı, arama sürecini yönlendirmek için bir Bulanık Mantık Denetleyicisi (FLC) içeren denetimli BB-BC yöntemi kullanarak dengeli/dengesiz dağıtım sistemlerinde güç ve enerji kaybı minimizasyonu olmuştur. Yöntemin performansını IEEE 33 ve IEEE 37 baralı test sistemi üzerinde değerlendirmiştir [37].

Madjid ve arkadaşları, harmonikleri standart sınırdan tutarken güç kaybını azaltmak ve gerilim sapmasını iyileştirmek için dengesiz radyal dağıtım sistemlerinde çok tipli DÜ'lerin (Tip I, Tip II, Tip III, Tip IV) eşzamanlı olarak yerleştirilmesini ve boyutlandırılmasını incelemişlerdir. Çalışmanın amacı, Bireysel Harmonik Bozulma (IHD) ve Toplam Harmonik Bozulma (THD) üzerindeki kısıtlamaları karşılarken, dengesiz radyal dağıtım sistemlerinde toplam aktif güç kayıplarını ve gerilim sapma indeksini en aza indirebilecek en uygun DÜ konumunu, boyutunu ve tipini tespit etmektir. Optimizasyon problemini çözmek için bir GA kullanılarak 10 baradan oluşan Kaliasin East Java radyal şebeke sistemi ile test edilmiştir [38]. Coelho ve arkadaşları, dengesiz radyal dağıtım sistemlerinde DÜ optimum yerleşimi için kapsamlı arama tekniğini kullanmışlar. IEEE 13 ve 37 baralı dengesiz dağıtım sistemleri üzerinde önerilen yöntemin etkinliği doğrulanmıştır [39].

Patnaik ve arkadaşları dengesiz radyal dağıtım sistemlerinde DÜ'nin optimum planlaması için Karga Arama Optimizasyon Algoritmasını (CSOA) önermişler. Amaç fonksiyonunu aktif güç kayıpları, gerilim sapması ve dengesiz radyal dağıtım sistemlerindeki yük dengeleme indeksinin doğrusal olmayan bir kombinasyonu olarak formüle ederek, DÜ'lerin optimum boyutunu, yerini, güç faktörünü bulmak için Karga Arama Optimizasyon Algoritmasını (CSOA) kullanmaktadır. Önerdikleri yöntemin 33 baralı dengesiz bir radyal dağıtım sistemi üzerinde test etmişler ve diğer optimizasyon algoritmaları ile karşılaştırmışlar. DÜ'nin uygun entegrasyonu sayesinde yıllık enerji kaybı maliyeti azaltılmıştır [40]. Routray ve arkadaşları da aktif güç kayıplarını

azaltmak için dengesiz radyal dağıtım sistemlerinde DÜ'lerin optimum yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için Kara Dul Optimizasyon Algoritmasını (BWO) kullanmışlar. Optimum çözümü bulmak için karadul örümceklerinin çiftleşme davranışından esinlenen yeni bir meta sezgisel algoritma olan BWO önermişler. Ayrıca dengesiz radyal dağıtım sisteminin güç akışı analizi için yük empedans matrisi yöntemi kullanılmıştır. Önerilen yöntem, IEEE 19 baralı sistem üzerinde test edilmiş ve diğer optimizasyon algoritmalarıyla karşılaştırılmıştır [41].

Suresh ve arkadaşları dengesiz radyal dağıtım sistemlerinin Yerçekimsel Arama Algoritması (GSA) kullanılarak çeşitli tiplerdeki DÜ birimlerinin optimum yerleştirilmesini ve boyutlandırılmasını ele almışlar. Çalışmada, bara gerilim sapma indeksi formüle edilerek dağıtım sistemi yük akışı problemini çözmek için yeni bir metodoloji ve farklı DÜ'ler için optimum bir yerleştirme stratejisi ile GSA kullanarak bir optimizasyon problemi önermişler. Önerilen yöntemin etkinliğini 13 ve 35 baralı sistemler üzerinde test edilmiş ve yenilenebilir kaynakların dahil edilmesinin güç kaybının azaltılması, gerilim profili ve kararlılığın iyileştirilmesi açısından dengesiz radyal dağıtım sistemlerin performansı artırabileceği gösterilmiştir [42].

## **1.2. Tezin Amacı ve İçeriği**

Yapılan kapsamlı literatür araştırmasından elde edilen sonuçlara bakıldığında, DÜ sistemlerinin dengeli dağıtım radyal şebekeye yerleştirilmesi için birçok araştırma yapıldığı sonucuna varılmıştır [43]. Ancak, çok az araştırmacı dengesiz radyal dağıtım sistemleri için DÜ yerleştirme teknikleri önermiştir. Bu nedenle, çeşitli optimizasyon teknikleri kullanılarak DÜ sistemlerinin dengesiz radyal dağıtım sistemlerinin üzerindeki etkisini analiz edilmesine ihtiyaç vardır. Bu tez çalışmasında üç fazlı dengesiz dağıtım şebekesinde DÜ ünitelerinin konumlarının ve boyutlarının tahsis edilmesi amaçlanarak verimli optimizasyon algoritmaları önerilmiştir. Bu çalışmanın temel amacı, üç fazlı dengesiz dağıtım şebekesinde DÜ'leri optimum şekilde boyutlandırılması ve yerleştirilmesidir.

DÜ tahsis problemi üç bölüme ayrılmıştır: DÜ ünitelerinin yerleştirilmesi, boyutlandırılması ve optimal güç faktörün elde edilmesi. Üç fazlı dengesiz güç akışının çözümü, açık kaynak kodlu olan OpenDSS yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.

Ayrıca optimizasyon problemini çözmek için MATLAB programı kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında, DÜ ünitelerin optimal konumunu ve boyutunu ayrıca optimal güç faktörünü bulmak için GA, Hibrit Gri Kurt Optimizasyon ve Guguk Kuşu Araması Algoritması (GWOCS), PSO, Hibrit Arttırılmış Gri Kurt Optimizasyon ve Guguk Kuşu Araması Algoritması (AGWOCS) ve GWO algoritması kullanılmıştır.

Önerilen yöntemler üç fazlı dengesiz dağıtım sistemi olan IEEE 34 baralı dağıtım sistemi üzerinde test edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Güç sistemini analiz etmek için yükler gerçeğe yakın bir şekilde modellenmelidir. Yükler genel olarak tamamen sabit güç, sabit empedans ya da sabit akım yükten oluşmamaktadır [44]. Bu nedenle, sabit güç, sabit empedans ve sabit akım yük modellerinin gerçek yükleri yansıtmadığı için üstel ve polinom yük modelleri tercih edilmeye başlanmıştır. Güç sistemdeki yüklerin her biri, ZIP (sabit empedans, sabit akım, sabit güç) katsayıları ile temsil edilebilen kendine has özelliklere sahiptir. Bu tez çalışmasında dağıtım şebekesindeki yükler gerçeğe yüklerle yakın olması için ZIP yük modeli olarak modellenmiştir. Dağıtım şebekesindeki farklı tüketici türlerinin de hesaba katılarak, ticari, konutsal ve endüstriyel tüketicilerin ZIP katsayıları da kullanılmıştır. Ayrıca, literatürdeki çalışmalar ile karşılaştırmak için IEEE 34 baralı sistemin orijinal yükleri de kullanılarak benzetimler yapılmıştır. Son olarak, farklı senaryolar oluşturularak birim güç faktöründe çalışan ve optimal güç faktöründe çalışan DÜ sistemlerinin optimal boyutlandırılması ve yerleşimi sağlanarak şebekeye olan etkileri de incelenmiştir.

### **1.3. Tezin Organizasyonu**

Bu tez çalışması altı bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde, konu ile ilgili genel bilgiler, literatür taraması, tezin amacı ve kapsamı sunulmuştur.

İkinci bölümde, dağıtık üretim sistemlerinin özellikleri, sınıflandırılması, faydaları ve dağıtım şebekesi üzerindeki etkileri bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümde, dağıtım şebekesinin yapısı, IEEE 34 test sistemi ve yüklerin OpenDSS'te modellenmesi anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, DÜ optimum şekilde tahsis edilmesi için problem tanıtımı, amaç fonksiyonu, kısıtlar ve optimizasyon algoritmalarından bahsedilmiştir.

Beşinci bölümde, optimum DÜ yerleşim problemi için elde edilen benzetim sonuçları verilmiş ve farklı senaryolar oluşturularak karşılaştırmalar yapılmıştır.

Altıncı bölümde, elde edilen sonuçları sunulmuş ve DÜ'nin dağıtım sistemine sağladığı yararlar belirtilmiştir.



## 2. DAĞITIK ÜRETİM SİSTEMLERİ

Dünyada enerji talebi katlanarak artmaktadır ve geleneksel enerji kaynakları tükenmektedir. Bu nedenle, kalan enerji kaynaklarının korunması ve elektrik enerjisi üretimi için alternatif kaynakların keşfedilmesi gerekmektedir. Çeşitli YEK arasında, güneş ve rüzgâr enerjileri insanlık için en umut verici enerji kaynaklarıdır. YEK, bol miktarda bulunmaları nedeniyle gelecekteki enerji sisteminin bel kemiğini oluşturacaktır. Bu kaynaklar zaman içinde kömür, petrol ve gazın enerji tüketim modellerin yavaş yavaş yerini alacaktır. Büyük miktarda yenilenebilir enerjiyi güç sistemine entegre etmek için mevcut enerji sistemlerinin yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Akıllı şebeke bu dönüşümün anahtarıdır. Akıllı şebeke sistemleri gelecekte dağıtık yenilenebilir enerji kaynakları, sağlam bir elektrik şebekesi, esnek tüketim ve akıllı bir güç kontrol sistemi gibi çeşitli unsurlardan oluşacaktır. Dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarının ve enerji depolama cihazlarının, akıllı şebeke sisteminin gelecekteki enerji talebini karşılama hayati bir rol oynaması beklenmektedir [45].

Geleneksel elektrik sistemleri merkezi bir modele göre oluşturulmuştur. Elektrik enerjisi, tüketicilerden uzak yerlerde kurulan büyük santrallerde üretilmektedir. Elektrik enerjisi tüketicilere ulaştırmak için iletim hatları kullanılmaktadır. Çoğu zaman bu iletim hatları uzun mesafeler boyunca, dolayısıyla yüksek gerilimle gerçekleştirilmektedir. Elektrik enerjisi, tüketim merkezlerinin yakınlarına taşındıktan sonra, kısa uzunlukta ve düşük nominal güce sahip daha fazla sayıda hat üzerinden dağıtılması gerekmektedir. Teknik ve ekonomik açıdan bakıldığında gerilim seviyelerinin düşürülmesi arzu edilir. Tüm bu şebekeler ve trafo merkezleri birlikte dağıtım sistemi olarak adlandırılan sistemi oluşturur. Geleneksel olarak, bu dağıtım şebekesine bağlı DÜ birimlerinin bulunmadığından pasif bir şebeke olarak kabul edilmektedir. Bu durumda güç akışı iletimden dağıtım şebekesine doğru tek yönlüdür [46].

DÜ, yük merkezlerinin yakınına kurulan küçük üretim birimlerinin kullanımıyla ilgilidir. DÜ yeni bir uygulama değildir ve elektrik üretiminin ilk günlerinde DÜ

kullanımı yaygındı. İlk elektrik santralleri sadece üretim tesisinin yakın çevresindeki müşterilere elektrik sağlıyordu. İlk şebekeler Doğru Akım (DA) esaslıydı ve bu nedenle, üretim ile tüketici arasındaki mesafe gibi besleme gerilimi de sınırlıydı. Talep ve arzın dengelenmesi DA şebekesine doğrudan bağlanabilen bataryalar kullanılarak yapılmıştır [47].

DÜ'nin tanımı konusunda literatürde hala bir fikir birliği bulunmamakla birlikte bazı ülkelerde bu tanım enerji santralin derecesine veya bağlı olduğu gerilim seviyesine dayanmaktadır. DÜ'nin tanımı üzerinde tam bir anlaşma olmamasına rağmen, bu tür üretimin temel özellikleri aşağıdaki gibi tanımlanabilir [46]:

- Dağıtım şebekesine bağlıdır.
- Üretimin bir kısmının aynı tesis tarafından tüketilmesi ve geri kalanının dağıtım şebekesine verilir (örneğin- kojenerasyon).
- Bu üretim için birleşik bir planlama yoktur ve genellikle merkezi olarak sevk edilmez.
- Bu ünitelerin güç değeri genelde 100 MW'tan düşüktür.

Son on yılda, teknolojik yenilikler ve değişen ekonomi, DÜ'ye olan ilginin yeniden artmasına neden olmuştur. IEA, bu gelişmeye katkı sağlayan beş ana faktör aşağıdaki maddelerde sıralamıştır [47]:

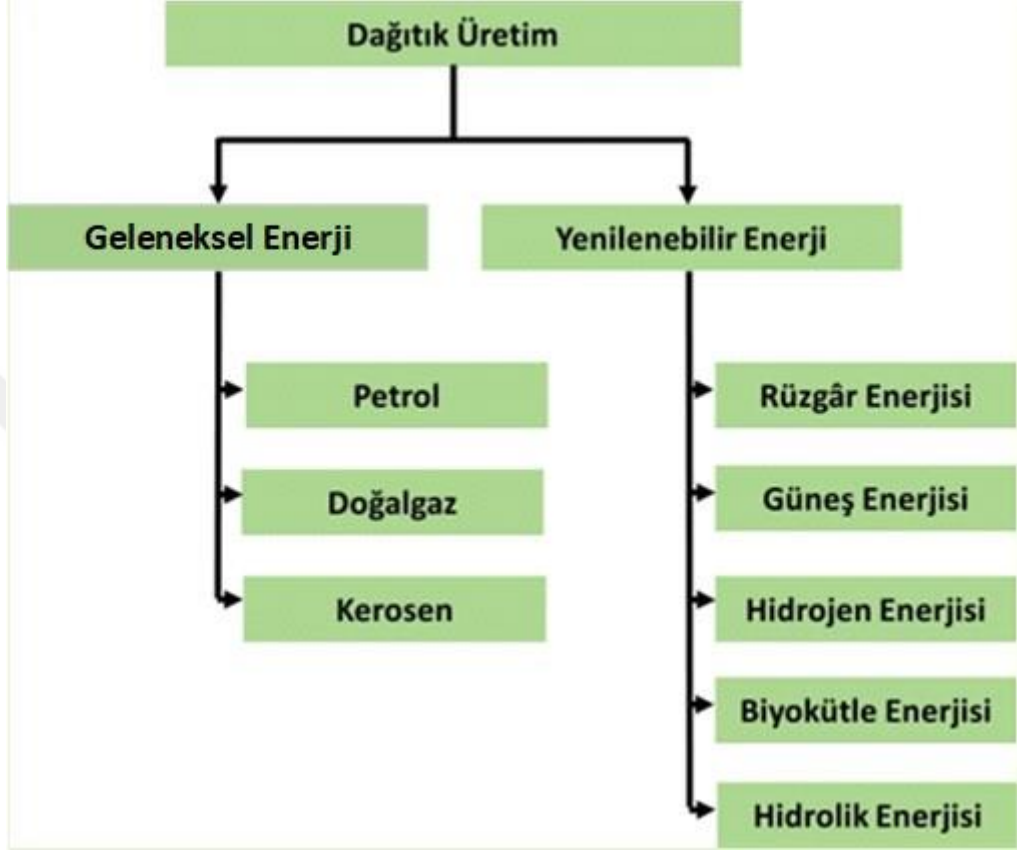
- DÜ teknolojilerindeki gelişmeler,
- Yeni iletim hatlarının inşası üzerindeki kısıtlamalar,
- Yüksek güvenilirliğe sahip elektrik için artan müşteri talebi,
- Elektrik piyasasının serbestleştirilmesi ve
- İklim değişikliği ile ilgili endişeler.

## **2.1. Dağıtık Üretimin Sınıflandırılması**

DÜ sistemleri yakıt türüne, kapasitesine ve tipine göre sınıflandırılabilir.

### 2.1.1. Yakıt türüne göre DÜ sınıflandırılması

DÜ, kullanıcılara yakın yerlerde küçük ölçekli güç sağlayan birçok yenilenebilir teknoloji de dahil olmak üzere geniş bir teknoloji alanını kapsamaktadır. Yakıt türüne bağlı olarak DÜ, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi sınıflandırılabilir [43].



Şekil 2.1. Yakıt türüne göre DÜ sınıflandırılması [43].

Yenilenebilir kaynakları kullanan enerji üretim sistemleri, geleneksel fosil yakıtlı üretim sistemlerine göre bazı avantajlara sahiptir. Bunlardan biri, çoğu yenilenebilir enerji teknolojisi sera gazı üretmemesi ve elektrik üretmek için petrol, kömür veya doğal gaz yakmaktan çok daha az kirlilik yaymasıdır.

### 2.1.2. Kapasitesine göre DÜ sınıflandırması

DÜ'ler üretim kapasitelerine göre mikro, küçük, orta ve büyük olarak 4 gruba ayrılır . Kapasitelerine göre DÜ sınıflandırması Tablo 2.1'de verilmiştir.

**Tablo 2.1.** Kapasitesine göre DÜ sınıflandırması [48].

Mikro DÜ	1 Watt - 5 kW
Küçük DÜ	5 kW - 5 MW
Orta DÜ	5 MW - 50 MW
Büyük DÜ	50 MW - 300 MW

### 2.1.3. DÜ'nün çıkış gücüne göre sınıflandırılması

Dağıtık üretimin çıkış gücüne bağlı olarak aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir [49].

- Tip I DÜ ünitesi: sadece aktif güç enjekte etme kapasitesine sahiptir. Dönüştürücüler/invertörler yardımıyla ana şebekeye entegre edilen fotovoltaik (PV), mikro türbinler ve yakıt pilleri Tip I'e örnek olarak verilebilir.
- Tip II DÜ ünitesi: sadece reaktif güç enjekte edebilir, örneğin senkron kompensatör kullanan gaz türbinleri.
- Tip III DÜ ünitesi: hem aktif hem de reaktif güç enjekte edebilir. Kojenerasyon ve gaz yakıtlı dağıtılmış üretimde kullanılan senkron jeneratörler tip III'e örnektir.
- Tip IV DÜ ünitesi: Aktif güç enjekte edebilir ve reaktif güç absorbe edebilir.

## 2.2. Dağıtık Üretimin Faydaları ve Sorunları

Elektrik dağıtım sistemlerinde özellikle merkezi üretimin uygun olmadığı veya iletim sisteminde eksikliklerin bulunduğu yerlerde DÜ hem tüketiciler hem elektrik dağıtım şirketleri için faydalar sağlamaktadır. Bu bağlamda, dağıtım şirketlerinin bağımsız üreticilere DÜ üniteleri tesis etmeleri için dağıtım şebekesine erişim sağlama yükümlülüğü, şebekeyi kontrol etme, uygun güvenlik ve güvenilirlik seviyelerini garanti etme ihtiyacı ile karşı karşıya kalmaktadır.

Dağıtık enerji kaynaklarından beklenen faydalar şunlardır [47]:

- YEK ve diğer DÜ kullanımının artması, enerji ithalatını azaltarak ve çeşitli enerji portföyü oluşturarak arz güvenliğine katkıda bulunacaktır.

- YEK'nin geniş ölçekli kullanımı fosil yakıt tüketimini ve sera gazı emisyonlarını azaltacaktır.
- Mevcut iletim şebekelerindeki sıkışıklığın aşılmasına yardımcı olur.  
Bu da iletim ve dağıtım kapasitesine yapılan yatırımların yerine geçebilir [50].
- DÜ, merkezi santralden iletilmesi gereken güç miktarını ve ortaya çıkan iletim ve dağıtım kayıplarının yanı sıra iletim ve dağıtım maliyetlerini de azaltır.

Ancak dağıtık üretim olumsuz çevresel etkilere de yol açabilir:

- Dağıtık üretim sistemleri son kullanıcıya daha yakın yerlerde bulunur, bu nedenle bazı dağıtık üretim sistemleri göze hoş görünmeyebilir veya arazi kullanımıyla ilgili endişelere neden olabilir.
- Özellikle de fosil yakıtların yakılmasını içeren dağıtık üretim teknolojileri, hava kirliliği gibi daha büyük fosil yakıtlı enerji santralleriyle aynı türden etkilerin çoğunu üretebilir.
- Atık yakma, biyokütle yakma ve birleşik ısı ve güç gibi bazı dağıtık üretim teknolojileri, buhar üretimi veya soğutma için su gerektirebilir.
- Yanma kullanan DÜ sistemleri, ölçek verimliliği nedeniyle merkezi enerji santrallerinden daha az verimli olabilir.

### **2.3. Güneş Enerji Sistemlerinin Güç Dağıtım Sistemlerine Etkisi**

Fotovoltaik (PV) teknolojisi en hızlı büyüyen DÜ teknolojilerinden biridir ve güneş enerjisinden elde edilen elektrik enerjisinin son zamanlarda yüksek bir hızla büyümektedir. PV sistemlerinin ilk versiyonları şebekeden bağımsız üniteler olarak inşa edilmiş ve izole sistemlerin tedariği olarak kullanılmıştır. Bu sistemler, geleneksel dağıtımın bazı teknik ve ekonomik dezavantajlara sahip olduğu çeşitli kırsal uygulamaların ihtiyaçlarını karşılamak için kullanılmıştır. Ancak, teknik gelişmeler, PV sistemlerinin hem şebekeye bağlı hem de şebekeden izole edilmiş uygulamalar için kullanılmasına olanak sağlamıştır [51].

Fotovoltaik sistemler giderek daha popüler hale gelmekte ve dağıtım sistemleri için ideal olarak uygun sistemlerdir. Sıkı çevre düzenlemeleri, yüksek gerilim iletim sistemleri inşa etmek için yeterli koridorların bulunmaması ve güvenlik sorunları nedeniyle birçok bölgede büyük enerji santralleri ekonomik olmaktan çıkmıştır. Buna

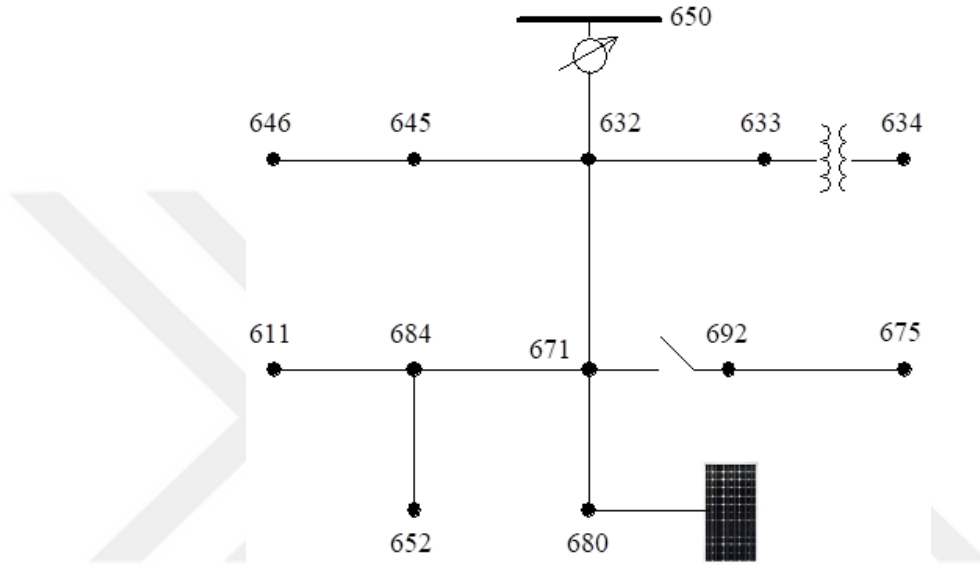
ek olarak, DÜ, güç elektroniği ve enerji depolama cihazlarındaki son teknolojik gelişmeler, yüklere daha yakın konumlandırılmış PV sistemleri için yeni bir fırsat sağlamıştır. Sera etkisi ve hava kirliliği gibi çevresel sorunları azaltmak için fotovoltaiik üretim sistemleri aktif olarak teşvik edilmektedir. Fotovoltaiik panellerin herhangi bir hareketli parçası bulunmamakta, sessiz çalışmakta ve emisyon üretmemektedir. Bir diğer avantajı ise güneş enerjisi teknolojisinin son derece modüler olması ve farklı yükler için gerekli gücü sağlamak üzere kolayca ölçeklendirilebilmesidir [52].

Tipik bir ticari PV sistemi, batarya sistemi, invertör, elektrik sayacı ve diğer birkaç izleme ve kontrol cihazı dahil olmak üzere PV Dizisi olmak üzere 4 temel bileşenden oluşmaktadır. Bir PV hücre tarafından üretilen güç çeşitli faktörlere bağlıdır ve bunlar PV sistemi, maliyet, kurulum, çevresel ve çeşitli faktörler olarak kategorize edilir. Gölge, toz, sıcaklık ve güneş radyasyonu gibi çeşitli çevresel faktörler PV sisteminin çıkış gücünü etkilemektedir [53]. Enerji planlamasını zorlaştırabilecek ve enerji sektöründeki yatırım fırsatlarını tehlikeye atabilecek önemli bir belirsizlik faktörü, PV sistemlerinin gelecekteki iklim modellerine karşı savunmasızlığıdır. Hava ve iklim koşullarının PV güç çıkışları üzerindeki etkileri literatürde incelenmiştir [54]. Yüksek sıcaklıklar, gölgelenme ve bulut kaplaması, PV sistemin çıkış gücünü azaltmaktadır [55].

Geleneksel olarak, dağıtım sistemi en yüksek talep gücüne göre planlanmaktaydı, ancak PV gibi dağıtık kaynakların yaygınlaşmasıyla birlikte, şebeke planlayıcılarının dinamik koşulları analiz etmesi ve tasarlaması çok önemli hale gelmiştir . Bu nedenle, gerçek hava koşulları altında PV güç çıkışını doğru bir şekilde tahmin etmek çok önemlidir. PV penetrasyonunun dağıtım şebekesi üzerindeki etkisine ilişkin çeşitli çalışmalar [56],[57],[58] yapılmıştır. Ancak bu çalışmalar, PV sistemlerinin ortam sıcaklığı ve invertör verimliliği dağıtım şebekeleri üzerindeki etkisini dikkate alınmadan incelenmiştir. Bu nedenle, bu bölümde ortam sıcaklığı ve invertör verimliliğini dikkate alınarak PV sistemlerinin üç fazlı dengesiz dağıtım şebekeleri üzerindeki etkisi analiz edilmiştir.

Bu alt bölümde, PV sistemlerinin dağıtım şebekesine olan etkisini analiz etmek için bir uygulama yapılmıştır. Bu uygulamada, PV'ye dayalı DÜ sisteminin dengesiz

dağıtım sistemi üzerindeki etkisini değerlendirmek için ZIP yük modele sahip modifiye edilmiş IEEE 13 baralı test fideri kullanılmıştır. Modifiye edilmiş IEEE 13 baralı test fideri Şekil 2.2’de verilmiş ve bu test sistemi için gerekli parametreler [59]’dan alınmıştır. Fidere bağlı yükler Tablo 2.2’deki ZIP katsayıları kullanılarak modellenmiştir. Şekil 2.3’te gösterilen üç tüketicinin (ticari, endüstriyel ve konutsal) günlük yük profilleri kullanılarak OpenDSS’te 1 dakikalık aralıklarla günlük (24 saatlik) güç akışı benzetimi gerçekleştirilmiştir.

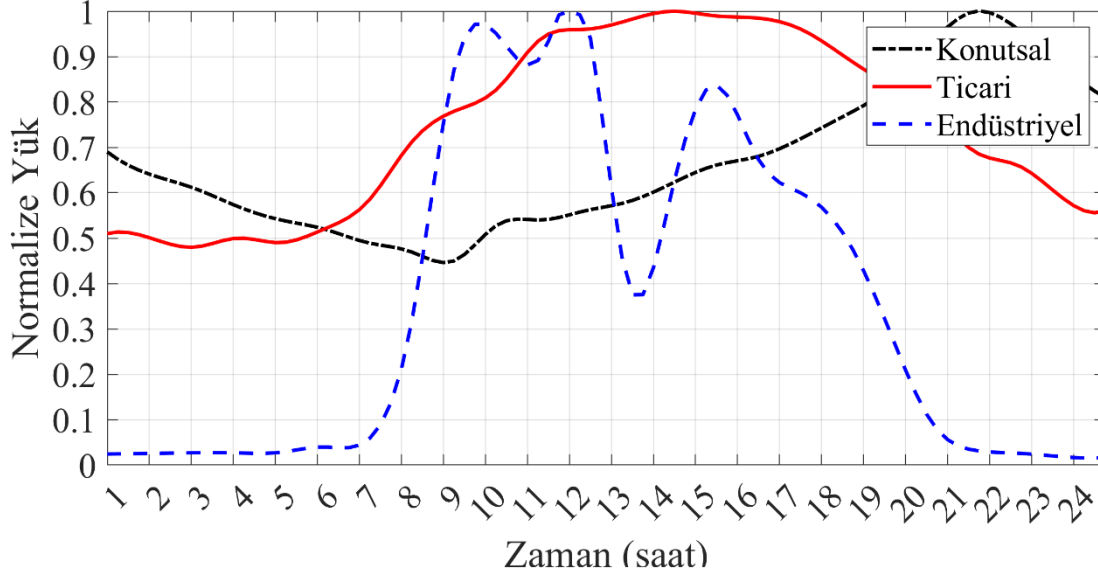


Şekil 2.2. Modifiye edilmiş IEEE 13 baralı test fideri [59].

Tablo 2.2. Farklı tüketicilerin ZIP katsayıları ve bağlı oldukları bara numaraları [44].

Tüketici	$Z_P$	$I_p$	$P_p$	$Z_q$	$I_q$	$P_q$	Bara numarası
Konutsal	0.85	-1.12	1.27	10.96	-18.73	8.77	671-634-652-611
Ticari	0.43	-0.06	0.63	4.06	-6.65	3.59	692-645-646
Endüstriyel	0	0	1	0	0	1	670-675

Şekil 2.3’te sunulan yük profilleri konut, ticari ve endüstriyel tüketiciler için 24 saatlik normalize edilmiş yük profillerini göstermektedir ve [60] kaynaktan alınmıştır. Tüketicilerin türüne bağlı olarak puant güç talebinin değiştiği görülmektedir.

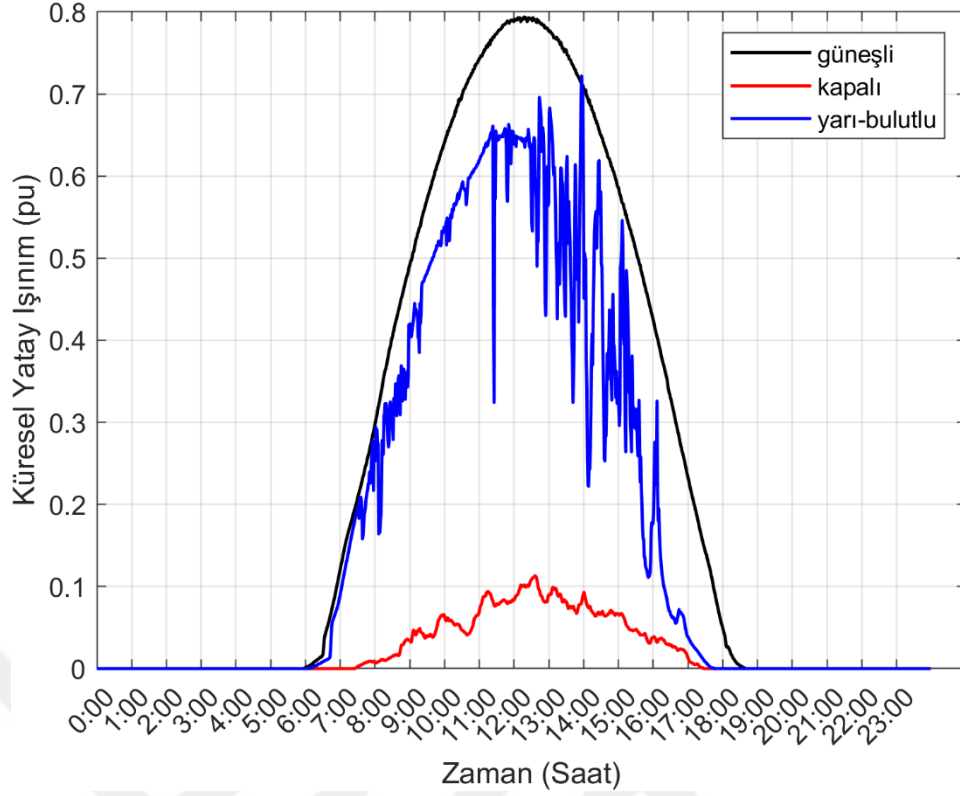


**Şekil 2.3.** Farklı tüketicilere ait yük profilleri [60].

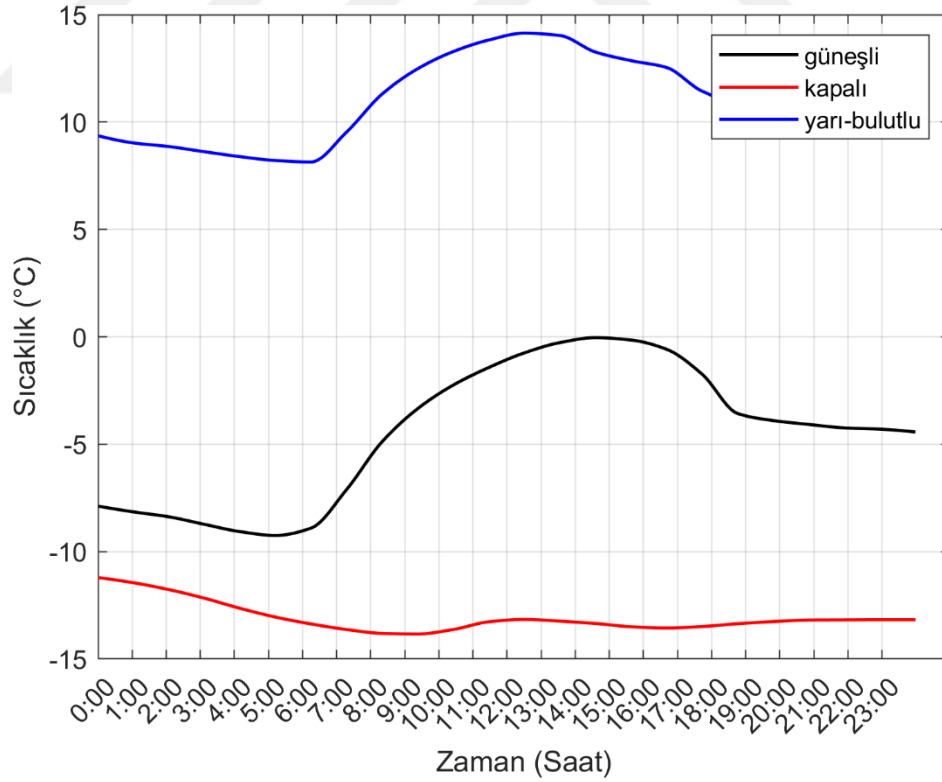
PV sistemin performansı güneşli, yarı bulutlu ve kapalı olmak üzere üç hava koşulu altında farklı senaryolar için benzetimler gerçekleştirilmiştir. PV paneli Şekil 2.2'de gösterildiği gibi IEEE 13 baralı sistemin 680 numaralı barasına bağlanmıştır. Bu bara transformatörden uzak olması, üç fazlı hat yapısına sahip olması ve literatürdeki çalışmalarda [61] kullanılması nedeniyle seçilmiştir. OpenDSS'te, PV dizisinin çıkış gücünü ( $P_{PV}$ ) hesaplamak için,  $1 \text{ kW/m}^2$  ışınım ve sabit panel sıcaklığında ( $25^\circ\text{C}$ ) tanımlanan maksimum güç noktasındaki ( $P_{mpp}$ ) panelin ışınım ( $E_e$ ), sıcaklık ( $T$ ) faktörü ve nominal güç verilerini gerek duyulmaktadır [30]. PV dizisinin  $P_{mpp}$  değeri  $1000 \text{ kW}$  ve güç faktörü ise 1 olarak seçilmiştir. Panelin maksimum güç çıkışı 2.1 denklemi kullanılarak hesaplanmıştır.

$$P_{PV} = P_{mpp} \times E_e \times T \quad (2.1)$$

Burada ışınım ve sıcaklık sırasıyla Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.4. Güneşli, yarı bulutlu ve kapalı günler için ışınım eğrileri.



Şekil 2.5. Güneşli, yarı bulutlu ve kapalı günler için panel sıcaklık eğrileri.

Yapılan benzetimde, 1 dakika aralığında toplam 24 saat için güç akışı gerçekleştirilmiştir. PV entegrasyonunun şebekeye etkisini değerlendirmek için üç durum tasarlanmıştır:

**Durum 1 (BASECASE):** Bu durum simülasyonun PV içermeyen orijinal IEEE 13 baralı test sistemi üzerinde gerçekleştirildiği durumdur.

**Durum 2 (GENCASE):** Bu durum sıcaklık etkisi olmadan sadece günlük güneş ışınımı dikkate alınarak 680 numaralı barayı 1000 kW'lık PV bağlandığı durumu ifade eder. Şekil 2.4'te verilen güneşli, yarı bulutlu ve kapalı ışınım eğrileri kullanılarak PV sistemi modellenmiştir.

**Durum 3 (PVCASE):** Bu durum güneş ışınımı, sıcaklık ve invertör verimliliği etkilerine dikkate alınarak 680 numaralı düğüme 1000 kW'lık PV bağlandığı durumu ifade etmektedir. Şekil 2.4'te verilen güneşli, yarı bulutlu ve kapalı ışınım eğrileri kullanılarak PV sistemi modellenmiştir.

**Tablo 2.3.** Farklı tüketicilerin ZIP katsayıları ve bağlı oldukları baraları.

Durumlar	$E_0$ (kWh)	$E_{PV}$ (kWh)	$E_{680}$ (kWh)	$E_{Yük}$ (kWh)	$E_{Kayıp}$ (kWh)	%Enerji Kaybı
<b>BASECASE</b>	52664	-	-	51574	1090	
<b>GENCASE(güneşli)</b>	46570	-	5859	51551	878	%19,44
<b>GENCASE(yarı-bulutlu)</b>	48378	-	4155	51599	934	%14,31
<b>GENCASE(kapalı)</b>	52117	-	531	51580	1068	%2,01
<b>PVCASE(güneşli)</b>	46501	6044	5926	51552	875	%19,72
<b>PVCASE(yarı-bulutlu)</b>	48500	4118	4037	51599	938	%13,94
<b>PVCASE(kapalı)</b>	52059	600	587	51580	1066	%2,2

Tüm durumlar için yapılan benzetim çalışmalarının sonuçları Tablo 2.3'te verilmiştir. Trafo merkezinden çekilen enerji ve şebekenin enerji kayıpları tüm GENCASE ve PVCASE senaryoları için azaltılmıştır. En yüksek enerji kaybı azalması %19,72 ile PVCASE (güneşli) senaryosunda elde edilirken, %13,94 ile PVCASE (yarı bulutlu) ve %2,2 ile PVCASE (kapalı) senaryolarında elde edilmiştir. GENCASE senaryosu için, PV'nin bağlı olduğu 680 numaralı düğümde üretilen güç GENCASE (güneşli) senaryosunda 5859 kWh ile en yüksek iken, GENCASE (parçalı bulutlu) ve

GENCASE (bulutlu) senaryoları sırasıyla 4155 kWh ve 531 kWh olarak takip etmektedir. Ayrıca, GENCASE'in senaryolarında şebekeden çekilen enerji ve kayıpları da BASECASE'e kıyasla azalmıştır.

GENCASE'te invertör verimliliği ve sıcaklık etkisi dikkate alınmadığında, PV çıkışında ölçülen enerji ( $E_{PV}$ ) güneşli havada 5859 kWh, yarı bulutlu havada 4155 kWh ve kapalı havada ise 531 kWh'dir. Sıcaklık etkisi dikkate alındığında ise, PV çıkışında ölçülen enerji ( $E_{PV}$ ), GENCASE'e kıyasla güneşli ve bulutlu hava koşullar için sırasıyla %3,06 ve %11,5 oranında artmıştır. Ancak, yarı bulutlu hava için PV enerji çıkışı %0,9 oranında azalmıştır. Bunun nedeni, seçilen bölgedeki sıcaklığın güneşli ve bulutlu günlerde 25 °C'nin altında, yarı bulutlu günlerde ise 25 °C'nin üzerinde olmasıdır. Bu sonuç, sıcaklığın PV güç çıkışı üzerindeki etkisini göstermektedir. PV'nin çıkışı ( $E_{PV}$ ) ile PVCASE durumunda ölçülen enerji arasındaki fark güneşli havalarda 118 kWh, bulutlu havalarda 81 kWh ve kapalı havalarda 13 kWh olarak elde edilmiştir. Bu enerji farkları invertör kaybından kaynaklanmaktadır.

Sonuç olarak, yapılan benzetimde, PV dayalı DÜ kaynaklarının dengesiz dağıtım şebekeye bağlanması, sıcaklık ve invertör verimi dikkate alınmasıyla sistemin enerji kayıpları ve trafo merkezinden gelen enerji talebi azalmıştır.

#### **2.4. Dağıtık Üretimin Güç Dağıtım Sistemlerine Etkisi**

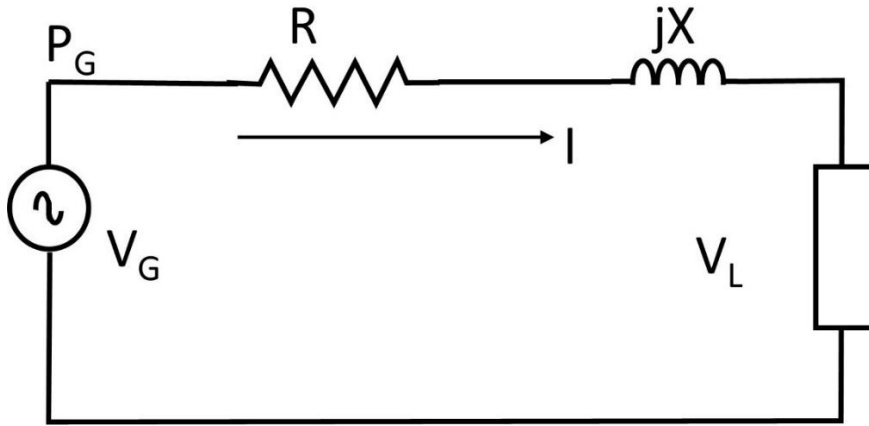
Dağıtık üretim ünitelerinin dağıtım şebekesine büyük ölçekli entegrasyonu sadece şebeke planlamasını etkilemez, aynı zamanda dağıtım şebekesinin de işleyişi üzerinde bir etkiye sahiptir. DÜ ünitelerinin entegrasyonunun etkilediği hususlar [62] aşağıdaki gibidir:

- Gerilim kontrolü;
- Güç kalitesi
- Koruma sistemi;
- Arıza seviyesi;
- Şebeke kayıpları.

DÜ ünitelerinin bu büyüklükler üzerindeki etkisi büyük ölçüde DÜ'in türüne ve şebekenin türüne bağlıdır [63].

#### 2.4.1. DÜ'nin dağıtım şebekesi kayıplarına etkisi

Elektrik enerjisinin üretim merkezlerinden yük merkezlerine iletimi sırasında iletim ve dağıtım hattı dirençleri nedeniyle güç kayıpları meydana gelmektedir. Dağıtım sistemi, iletim sistemine göre daha düşük bir gerilim seviyesinde çalışır ve daha yüksek dirence sahiptir. Dolayısıyla dağıtım sistemindeki güç kayıpları iletim sistemindekinden daha yüksektir [64]. Dağıtım şebekesindeki kayıplar değişken ve sabit kayıplardan oluşmaktadır. Sabit kayıplar demir kayıpları olarak adlandırılır ve esas olarak trafoların ve motorların çekirdeklerinde meydana gelirken, değişken kayıplar bakır kayıpları olarak adlandırılır ve hatlar, kablolar ve trafo bakır parçaları gibi güç dağıtım ekipmanlarında meydana gelir. Kayıpların en önemli kısmı olan değişken kayıp, hattan veya cihazdan geçen akımın karesi ile orantılıdır [65].



Şekil 2.6. Tek fazlı sistemin tek hat şeması [66].

Herhangi bir elemandaki güç kayıpları, o elemanın üzerinden geçen akım ve seri direnci ile ilişkilidir. 'n' daldan oluşan bir dağıtım şebekesindeki toplam gerçek güç kaybı şu şekilde verilir:

$$P_{Kayıp} = \sum_{i=1}^n I_i R_i \quad (2.2)$$

Burada,  $P_{Kayıp}$  sistemdeki toplam gerçek güç kaybı,  $I_i$  ve  $R_i$  sırasıyla  $i$ 'nci elemanın akımı ve direncidir. Her elemandaki akım, yük akışı analizinden elde edilebilir.

Şekil 2.6'da gösterildiği gibi basit bir üç fazlı dengeli eşdeğer radyal iletim hattı düşünüldüğünde, gerçek güç kayıpları şu şekildedir:

$$P_{Kayıp} = 3I^2R \quad (2.3)$$

Burada,  $R$  hattın faz başına direnci ve  $I$  hattan akan akımdır ve eşitlik (2.4) kullanılarak elde edilebilir:

$$I = \frac{P_G}{\sqrt{3}V_G \cos \theta_G} \quad (2.4)$$

Burada,  $P_G$  üretilen gücü,  $V_G$  üretim düğümündeki gerilimin büyüklüğünü ve  $\cos \theta_G$  generatör güç faktörünü ifade eder. Güç kaybı,  $I$  ifadesi kullanılarak (2.5)'teki gibi ifade edilebilir:

$$P_{Kayıp} = \frac{R(P_G)^2}{|V_G|^2(\cos \theta_G)^2} \quad (2.5)$$

Generatör gerilimi ve güç faktörü sabit kabul edildiğinde, kayıplar şu şekilde yazılabilir:

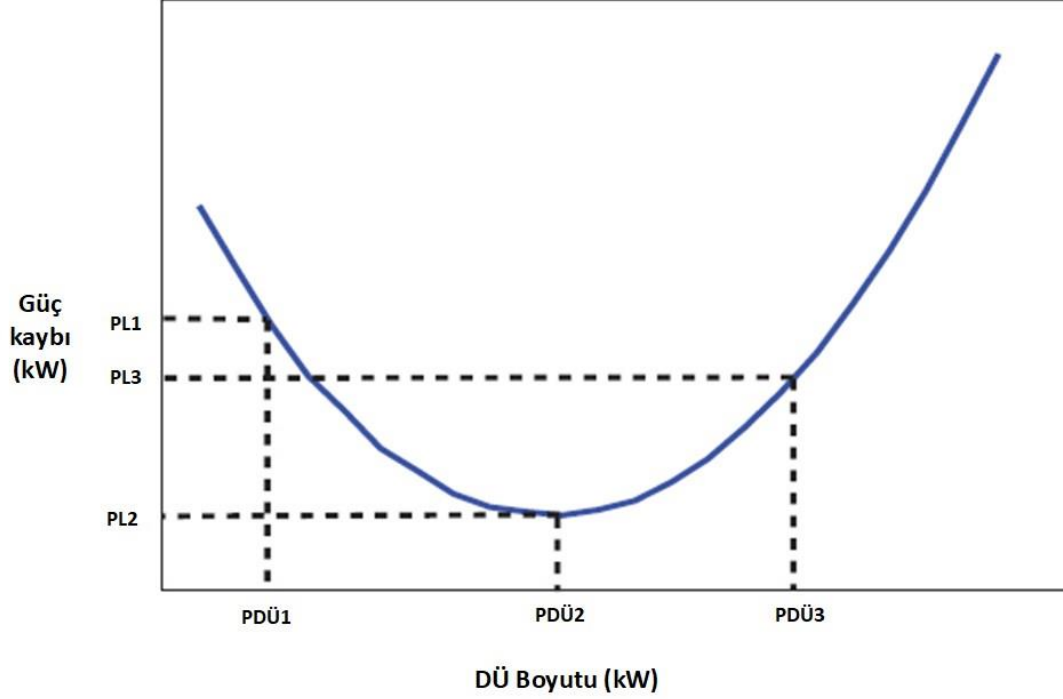
$$P_{Kayıp} = kP_G^2 \quad (2.6)$$

Burada :

$$k = \frac{R}{|V_G|^2(\cos \theta_G)^2} \quad (2.7)$$

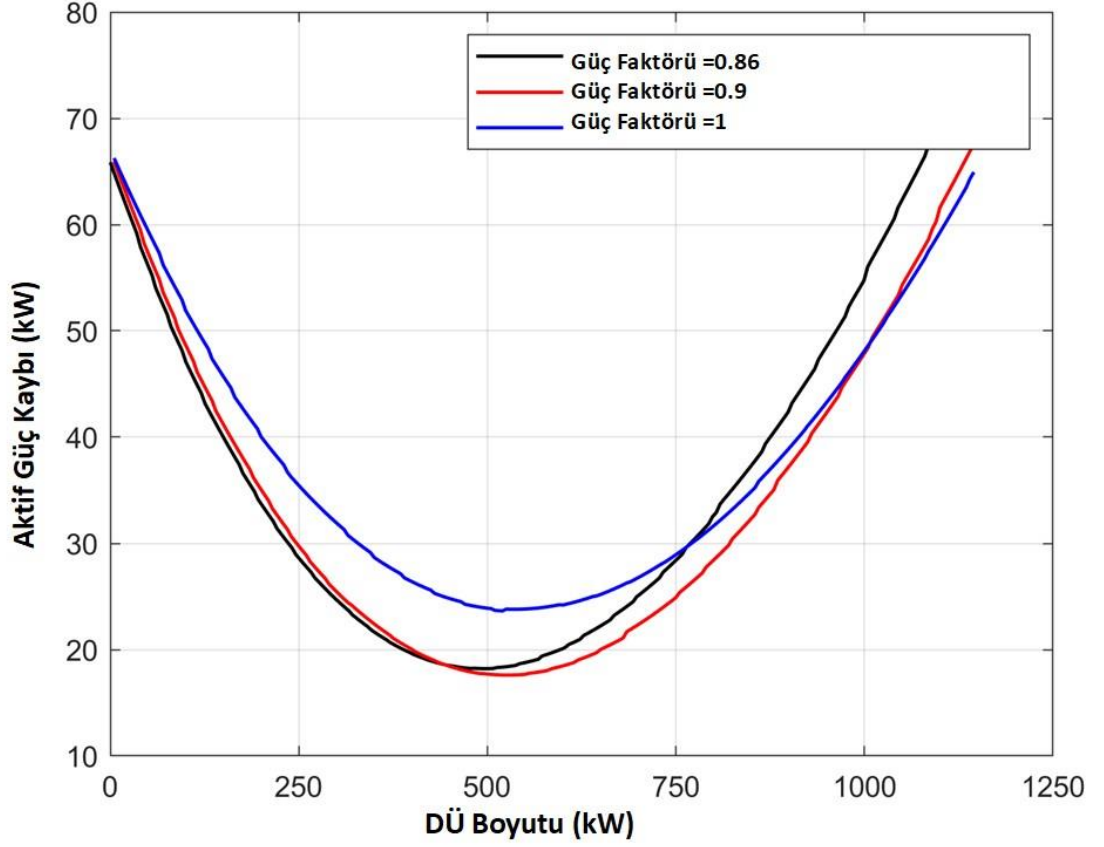
Yukarıdaki denklemden, sistemdeki güç kayıplarının üretilen aktif gücün yaklaşık ikinci dereceden bir fonksiyonu olduğunu söyleyebiliriz. Dağıtım şebekesine DÜ yerleştirilmesi sistemin güç kaybı profilini etkilemektedir. Belirli bir konumdaki

DÜ'nün boyutu değiştirildiğinde güç kaybı eğrisi yaklaşık olarak ikinci dereceden bir fonksiyondur. DÜ boyutu bir noktaya kadar artırıldığında toplam sistem kayıpları azalır. Eğer DÜ boyutu bu noktadan ötesinde artırıldığında, sistem kaybı artmaktadır. Bu nokta optimal DÜ boyutu olarak adlandırılır. DÜ boyutundaki değişimler ile güç kaybının değişimi Şekil 2.7'de gösterilmiştir ve [67]'te tartışılmıştır.



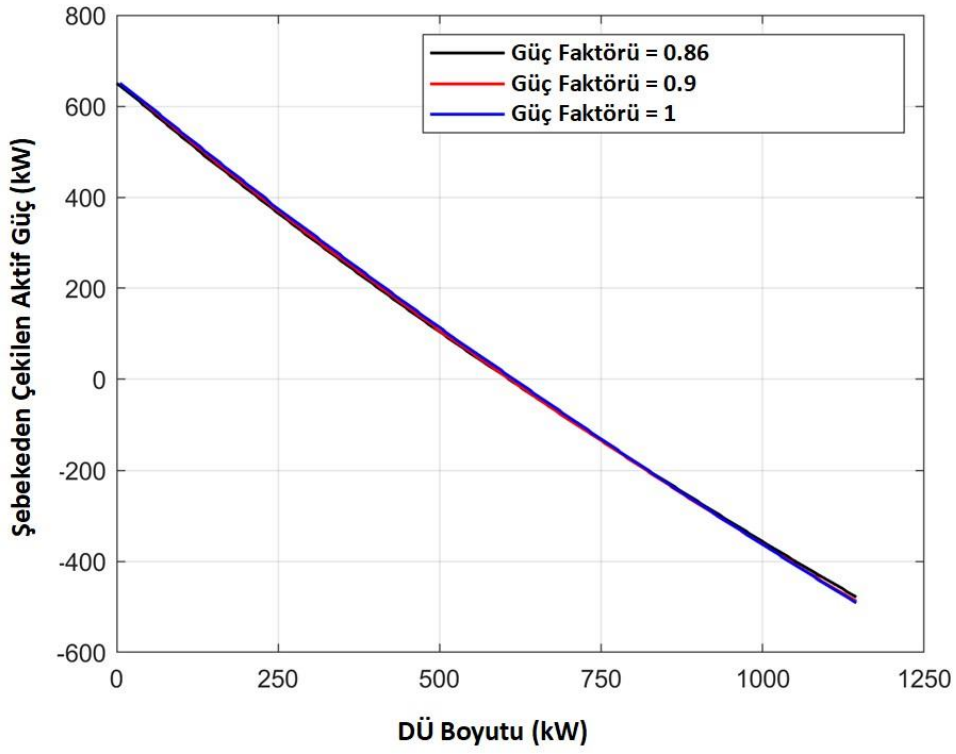
**Şekil 2.7.** Farklı DÜ boyutları için aktif güç kaybı değişimi.

Elektrik dağıtım sistemi genellikle dağıtım trafo merkezlerinden son kullanıcılara tek yönlü güç akışı için tasarlanmıştır. Dağıtım şebekesine bir DÜ yerleştirildiğinde, gücün dağıtım sistemi içinde tüketilmesi, böylece ters güç akışından kaçınılması ve sistem kayıplarının azaltılması arzu edilir. Ancak, optimum kapasiteden daha büyük bir DÜ ünitesinin yerleştirilmesi, dağıtım trafo merkezine doğru ters güç akışına neden olacaktır. IEEE 34 baralı sistemde 812. barada bir DÜ yerleştirilmiş ve farklı güç faktöründe DÜ'nün boyutu arttırılmıştır. DÜ boyutundaki değişim ile aktif güç kaybı değişimi Şekil 2.8'de gösterilmiştir.

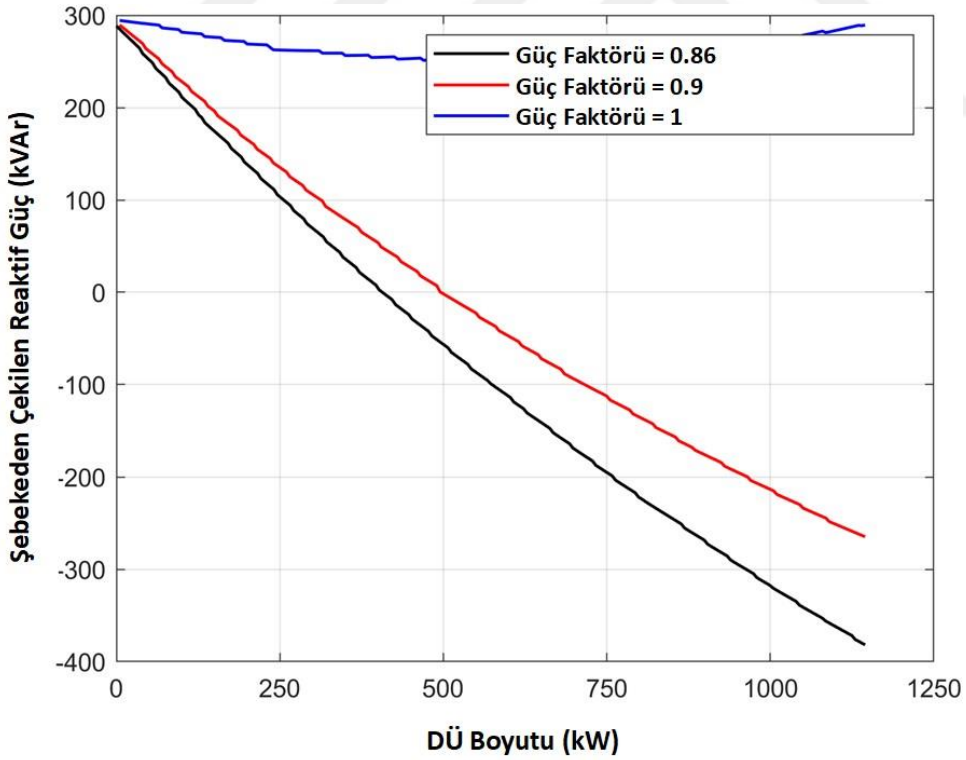


**Şekil 2.8.** 812 numaralı barada DÜ yerleşimi ve güç kaybı değişimi.

Farklı güç faktöre sahip DÜ'nün boyutu değiştirildiğinde güç kaybı da değişmektedir. DÜ boyutu bir noktaya kadar artırıldığında toplam sistem kayıpları azalır, bu nokta optimal DÜ boyutu denir. Eğer DÜ boyutu optimal boyutun ötesinde artırıldığında, sistem kaybı artmaktadır. Şekil 2.8'e bakıldığında, üç farklı güç faktörü (GF=1, GF=0,9 geri ve GF=0,86 geri) için aktif güç kaybı azalımı açısından bu sistem için en iyi sonucun 0,9 geri güç faktöründe elde edildiği görülmektedir. DÜ boyutu değişimi ile şebekeden çekilen aktif ve reaktif güç değişimi sırasıyla Şekil 2.9 ve Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.9. 812 nolu barada DÜ yerleşimi ve şebekeden çekilen aktif güç değişimi.



Şekil 2.10. 812'nolu barada DÜ yerleşimi ve şebekeden çekilen reaktif güç değişimi.

#### 2.4.2. DÜ'nün gerilim kontrolüne etkisi

Dağıtım şebekesindeki gerilim seviyesi belirli bir aralıkta tutulmalıdır, çünkü gerilim bu aralıkta tutulursa güç sistemi ve müşteri ekipmanları düzgün çalışabilmektedir. Normal çalışma için gerilim aralığı farklı uluslararası standartlarda tanımlanmıştır. Dağıtım şebekesinde gerilim dalgalanmaları, hatların dirençleri ve reaktif empedansları üzerinden akan yük akımı değiştiğinde meydana gelir. Bu gerilim değişimleri, dağıtım şebekesindeki aktif ve reaktif yüklerin zaman içerisindeki değişimlerinden kaynaklanır. Dalgalanmalar genellikle hattın sonuna doğru daha büyüktür ve yük sistemin sonuna yakın bir yerde yoğunlaşmışsa daha da artar [62].

Geleneksel olarak, dağıtım şebekelerinde gerilim kontrolü iki şekilde gerçekleştirilir [62]:

- Trafo merkezindeki kademe dönüştürücüleri kullanılarak gerilim kontrolü
- Şönt kapasitörler/şönt reaktörler, seri kapasitörler, senkron kompanzasyon veya statik var kompanzasyon (SVC) kullanılarak sistem genelinde reaktif gücün kontrol edilmesi.



### 3. DAĞITIM SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Dağıtım sistemlerinin modellenmesi konusunda önemli sayıda çalışma yapılmıştır. Bu bölümde dağıtım sistemlerinin modellenmesi ve analizi ile ilgili bazı önemli hususlar sunulmaktadır. Elektrik devrelerini analiz etmek için yıllar boyunca geliştirilen modeller ve algoritmalar iletim şebekeleriyle sınırlıydı ve enerji yönetim sistemleri olarak adlandırılıyordu. Bu algoritmaların dağıtım sistemlerine uygulanması, hesaplamaların verimliliğinin azalmasına ve çözümlerin yakınsamamasına neden olmuştur. Son yıllarda dağıtım şebekeleri için özel algoritmalar ve modeller geliştirilmiş ve bunlar dağıtım yönetim sistemleri olarak adlandırılmıştır [68].

#### 3.1. Dağıtım Şebekesinde Güç Akışı Analizi

Bu alt bölümde, DÜ içeren dağıtım sistemlerinde yük akışı hesaplaması için kullanılan tekniklerin mevcut durumunu incelemektedir. Yük akışı hesaplamaları, gerilim profilini, güç akışlarını ve kayıpları değerlendirmek, DÜ'nün şebeke bağlantısıyla ilgili kapasite ve gerilim düzenleme sorunlarını belirlemek ve ayrıca güvenilirlik, güç kalitesi veya geçici durumlar gibi sonraki analizleri yapmak için gereklidir. Bu hesaplamaları yapıldıktan sonra, tüm yüklere belirlenen çalışma sınırları dahilinde güç sağlanmasını temin edecek şekilde model tasarlanabilir.

Geleneksel yük akış yöntemleri, dağıtım sistemlerinin çözümüne uygulandığında her zaman yakınsamayabilir. Dağıtım sistemleri radyal veya zayıf ağı ve yüksek R/X oranına sahip sistemlerdir. Bu tür sistemler, genel Newton-Raphson güç akışı algoritmaları için kötü koşullu problemler yaratabilir. Benzer şekilde Gauss-Seidel yöntemleri zayıf yakınsamaya sahiptir [69]. Dağıtım sistemleri için verimli ve sağlam bir çözüm yöntemi, topolojisi radyal ve dengesiz yüklerin ve rastgele yapıdaki DÜ kaynaklarının bağlanabildiği binlerce düğüm ve çeşitli gerilim seviyelerine sahip sistemler için yük akışı problemini çözebilmelidir. Yüksek DÜ penetrasyonuna sahip dağıtım sistemlerinin güç akışı için çeşitli algoritmalar birçok araştırmacı tarafından önerilmiştir [70]. Elde edilen bulgulara göre, düğüm tabanlı ve dal tabanlı yöntemler olarak iki kategoriye ayrılabilir [71]. Düğüm tabanlı yöntemlerde, güç akışı problemlerini çözmek için düğüm gerilimi veya enjekte edilen akımı durum değişkeni

olarak kullanılır. Bunlar arasında Z bara yöntemi, Newton Raphson algoritması ve hızlı ayrıştırılmış algoritması gibi yöntemleri içermektedir. Diğer yandan, dal tabanlı yöntemlerde, güç akışı çözümü için durum değişkeni olarak dal akımlarının veya güçlerinin kullanılır. Bu yöntemler arasında tarama tabanlı ve döngü empedansı yöntemlerine içermektedir [71].

### 3.2. Dağıtım Şebekesinin OpenDSS'te Modellenmesi

OpenDSS (Açık Dağıtım Sistemi Simülatörü) kapsamlı bir elektrik dağıtım sistemi benzetim programıdır. Bu program, EPRI tarafından geliştirilmiş bir açık kaynak kodludur. OpenDSS, şebeke dağıtım sistemleri için yaygın olarak gerçekleştirilen tüm kararlı durum analizlerini desteklemektedir. Ayrıca OpenDSS'in en önemli avantajı, dağıtık üretim entegrasyonu ve zaman serisi güç akışı analizlerini desteklemesidir [30].

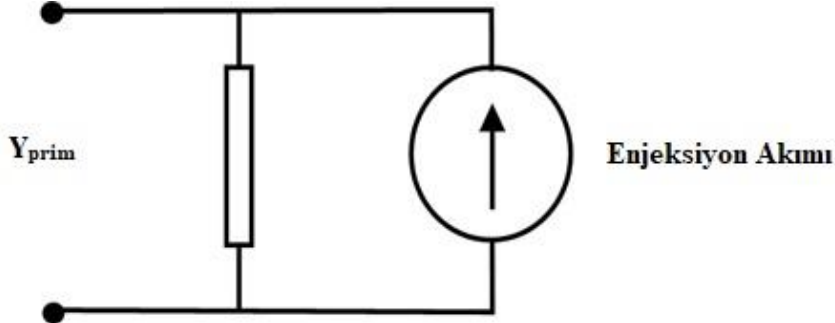
OpenDSS, DÜ kaynakları entegrasyonunu ve şebeke modernleştirme çabalarını desteklemek için geliştirilen bir elektrik dağıtım sistemi simülatörüdür (DSS). OpenDSS'in bileşenleri beş nesne sınıfına ayrılmıştır:

- Güç iletim elemanları
- Güç dönüştürme elemanları
- Kumandalar
- Sayaçlar
- Genel

Güç iletim elemanları genellikle iki veya daha fazla çok fazlı terminalden oluşur. Temel işlevleri enerjiyi bir noktadan diğerine taşımaktır. Güç sisteminde en yaygın güç iletim elemanları hatlar ve transformatörlerdir. Bu nedenle, genellikle birden fazla terminale sahiptirler. Güç iletim elemanları primitif Y matrisi ( $Y_{prim}$ ) ile tam olarak temsil edilebilmektedir [30].

Elektrik enerjisinin başka bir enerjiye dönüştürülmesi güç dönüştürme elemanları tarafından gerçekleştirilir. Bu bileşenler enerjiyi geçici olarak da depolayabilir. Güç dönüşüm elemanlarının çoğunun güç sistemine tek bir bağlantısı vardır. Güç dönüşüm elemanları, empedansları tanımlanarak veya akım enjeksiyonlarını modellemek için

karmaşık bir diferansiyel denklem seti kullanılarak modellenir. En yaygın güç dönüşüm elemanları yükler ve generatörlerdir. OpenDSS içerisinde, güç dönüşüm elemanının genel uygulaması Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Doğrusal olmayan elemanlar, özellikle yük ve generatör elemanları, sabit bir  $Y_{prim}$  ve doğrusal olmayan kısmı telafi eden enjeksiyon akımı ile Norton eşdeğerleri olarak modellenmektedir.



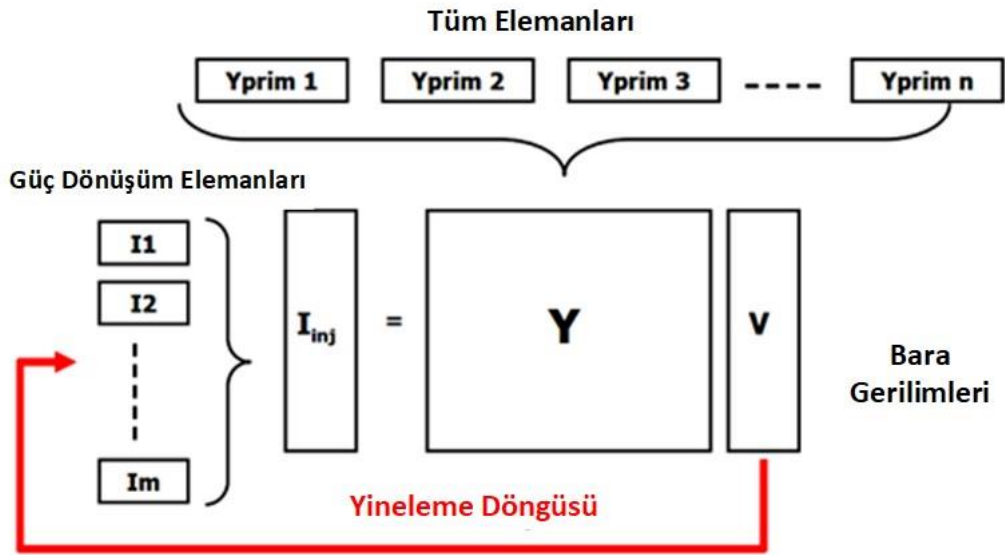
**Şekil 3.1.** Güç dönüşüm elemanlarının Enjeksiyon Akım Modeli [30].

OpenDSS programı başlangıçta dağıtılmış üretim için dağıtım planlamasının harmonik analiz unsurlarını gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır. Bu yazılım, güç sisteminin baskın enerji kaynağı olduğu küçük ve orta ölçekli fiderler için bir dağıtım güç akışı gerçekleştirmek üzere tasarlanmıştır [68]. Devre modeli çok fazlı ve/veya pozitif sıralı bir model olabilir. Güç akışı, Tek anlık (snapshot) görüntü modu, Günlük mod, Görev Döngüsü modu ve Monte Carlo modu gibi çok sayıda çözüm modunda gerçekleştirilebilir. Zaman süresi herhangi bir keyfi zaman dilimi olabilir ve genellikle planlama amaçları için 24 saatlik gün, bir ay veya bir yıl olarak belirlenebilir.

OpenDSS'in sunduğu iki temel güç akışı çözüm tipi vardır: yinelemeli ve doğrudan güç akışı çözümleri. Yinelemeli güç akışı modunda, yükler ve DÜ enjeksiyon kaynakları olarak ele alınır. Yinelemeli güç akışı modu için normal akım enjeksiyon modu ve Newton akım enjeksiyon modu olmak üzere iki güç akışı algoritması kullanılmaktadır. Normal mod genellikle daha hızlıdır, ancak Newton modu çözülmesi zor devreler için daha sağlamdır. Normal mod basit bir sabit nokta iteratif yöntemi olup neredeyse tüm dağıtım sistemleri için iyi sonuç vermektedir. Hızı nedeniyle yıllık simülasyonlar için tercih edilen yöntemdir. Doğrudan çözüm modunda ise, yükler sistem admitans matrisine admitans olarak dahil edilir ve daha sonra yineleme

yapılmadan doğrudan çözülür. Genellikle güç akışı hesaplamalarında doğrusal olmayan yük modelleriyle iteratif bir çözüm kullanılırken arıza çalışmalarında doğrusal yük modelleriyle doğrudan çözüm modu kullanılır [30].

OpenDSS programı Delphi programlama dili ile yazılmıştır ve modellenen sistemdeki her bir eleman için primitif Y matrisini oluşturur. Başlangıç gerilimlerini elde etmek için sistem Y matrisi oluşturulduktan ve sıfır yük güç akışı gerçekleştirildikten sonra program iterasyon sürecine başlar. Bir sonraki gerilim tahmini, Şekil 3.2'de görüldüğü gibi devredeki tüm güç dönüştürme elemanlarından gelen enjeksiyon akımlarının  $I_{inj}$  vektörüne eklenmesinden sonra elde edilir. Bu işlem sistem yakınsayana kadar tekrarlanır.



Şekil 3.2. OpenDSS Çözüm Döngüsü [30].

Güç akışı tamamlandıktan sonra, her bir bileşen için kayıplar, gerilimler, akımlar ve diğer bilgiler mevcuttur. Kayıplar her bir zaman aralığı için kW kayıpları olarak raporlanır ve gücü bir zaman aralığına entegre etmek için enerji sayaç modelleri kullanılır. Bu tezde OpenDSS, IEEE 34 baralı üç fazlı dengesiz dağıtım sisteminde güç akışını gerçekleştirmek için kullanılmıştır.

### 3.3. Yük Modelleri

Güç sistemi modellemesinde üretim, iletim hatları ve yük modellemesi yer almaktadır. Yük modellemesi bu üç bileşen arasında en az gerçeğe yakın temsil edendir. Şebekenin kararlılık sorunlarına maruz kalmasını değerlendirmek, uygun kontrol çözümlerini tasarlamak ve uygulamak için doğru yük modeline ihtiyaç vardır. Elektrik dağıtım şirketleri, müşterilere elektrik sağlarken yük türlerini ve kombinasyonlarını her zaman bilmemektedir. Bunun yerine, trafo merkezindeki toplam üretim miktarını, talebi ve çalışma gerilimini ölçmektedirler.

Yük modellemesi, bir yük barasındaki güç ve gerilim arasındaki ilişkinin matematiksel gösterimini ifade etmektedir. Yük modelleri iki ana kategoride sınıflandırılabilir: statik ve dinamik modeller [72]. Statik yük modeller, bara gerilim büyüklüklerinin ve frekansının fonksiyonları olarak anlık aktif ve reaktif gücü ifade etmektedir. Dinamik modeller ise aktif ve reaktif güçleri gerilim ve zamanın bir fonksiyonu olarak ifade eder. Literatürde yapılan çalışmaların sonuçlarına göre [73], en yaygın statik yük modelleri sabit güç, sabit akım ve sabit empedans modeli olup, bunları üssel ve polinom (ZIP) yük modeli takip etmektedir. Gerçek uygulamalarda, üstel ve ikinci dereceden polinom (ZIP) yük modeli yaygın olarak kullanılmaktadır [73].

Literatürdeki çalışmalarda güç sistemindeki yüklerin büyük bir kısmının ağırlıklı olarak sabit güç olduğu varsayılmaktadır. Ancak gerçek uygulamalarda durum böyle değildir. Literatürde yapılan deneylerin sonuçları yüklerin tamamen sabit güç, sabit empedans ya da sabit akım yükü olmadığını göstermiştir [44].

Statik bir yük modeli olan ZIP yük modeli, gerilim büyüklüğü ile güç ilişkisini temsil etmektedir. Sabit empedans (Z), sabit akım (I) ve sabit güç (P) terimlerinin toplamından oluşan bu model "ZIP" modeli olarak da adlandırılır. ZIP yük modelinin aktif ve reaktif güç eşitlikleri, Denklem (3.1) ve Denklem (3.2)'de verilmiştir [44].

$$P = P_0 \left[ Z_p \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \left( \frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad (3.1)$$

$$Q = Q_0 \left[ Z_q \left( \frac{V}{V_0} \right)^2 + I_q \left( \frac{V}{V_0} \right) + Q_q \right] \quad (3.2)$$

Burada  $V_0$  cihazın nominal gerilim,  $P_0$  ve  $Q_0$  nominal gerilimde tüketilen güçtür. Burada  $Z_p$ ,  $I_p$  ve  $P_p$  ZIP aktif güç katsayılarıdır ve toplamı 1'e eşittir. Yine  $Z_q$ ,  $I_q$ ,  $P_q$  ZIP reaktif güç katsayılarıdır ve toplamı 1'e eşittir.

Uygun yük modelinin belirlenmesinde tüketicilerin yük bileşimi önemli bir rol oynamaktadır. Yük bileşimi, müşterinin türü, boyutu, davranışı ve ekipman teknolojisindeki son gelişmeler gibi birçok faktöre göre değişiklik göstermektedir. Tüketiciler genel olarak konutsal, ticari ve endüstriyel olmak üzere üç ana sınıfa ayrılır. Güç sisteminin gün içinde farklı yük tipi ve kapasite bağlanabilir veya çıkarılabilir. Her tüketicinin yük bileşiminin hava koşulları, ekonomik durum ve kültürdeki değişimle birlikte farklı davranışlar sergilediği bilinmektedir. Yüklerin OpenDSS'te modellenirken kullanılan farklı tüketicilerin yük modeli için ZIP katsayıları Tablo 3.1'de verilmiştir.

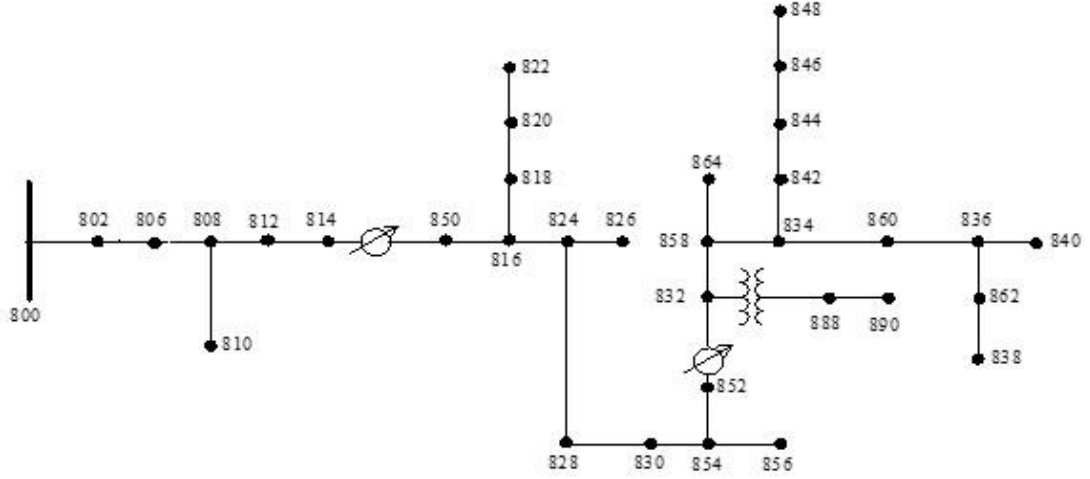
**Tablo 3.1.** Tüketicilere göre ZIP katsayıları [44].

<b>Yük</b>	<b>Z</b>	<b>I</b>	<b>P</b>	<b>Z</b>	<b>I</b>	<b>P</b>
<b>Ticari</b>	0.47	-0.53	1.06	5.3	-8.73	4.43
<b>Konutsal</b>	0.85	-1.12	1.27	10.96	-18.73	8.77
<b>Endüstriyel</b>	0	0	1	0	0	1

### 3.4. Test Sistemi

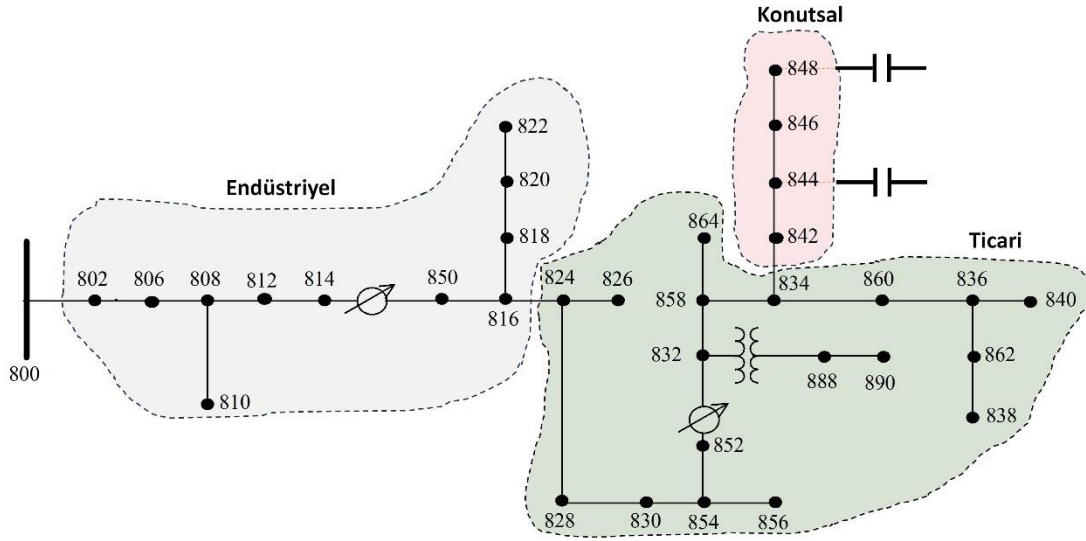
Bu tezde, DÜ sistemlerinin dengesiz dağıtım sistemi üzerindeki etkisini değerlendirmek için IEEE 34 baralı test sistemi kullanılmıştır. IEEE 34 baralı test sistemi, yük tipi (noktasal ve dağıtılmış yükler), hat tipleri (tek / üç fazlı havai ve yeraltı hatları), 2 adet gerilim regülatörü, 2 adet şönt kapasitörler ve transformatörler ile karakterize edilmiştir. Gerilim regülatörü hat düşümü kompanzasyonuna dayalı olarak çalışmaktadır. Bu şebekenin tüm özellikleri Referans [59]'da verilmiştir. Bu orijinal sistemin toplam aktif ve reaktif güç yükleri sırasıyla 2039,8 kW ve 281,8

kVAr'dır. Sistemin başlangıç durumundaki aktif ve reaktif güç kayıpları 272,2 kW ve 35,24 kVAr'dır. IEEE 34 test fiderinin tek hat diyagramı Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. IEEE 34 dağıtım test sistemi [59].

Bu çalışmada, şebekedeki yüklerin gerçeğe yakın olması için gerilime bağlı yük modeli olan ZIP yük modeli olarak modellenmiştir. Farklı yük senaryoları oluşturularak DÜ yerleşimi gerçekleştirilmiştir. Birinci senaryoda IEEE 34 baralı sistemin orijinal yüklerini kullanarak benzetim yapılmıştır. Ardından Tablo 3.1'de verilen üç tüketicinin ZIP katsayıları kullanarak şebekedeki yüklerin tamamı ticari yüklerden oluştuğunu varsayılarak DÜ yerleştirilmiştir. Benzer şekilde sadece konutsal ve sadece endüstriyel yüklerden oluşan yük modelleri kabul edilip benzetimler yapılmıştır. Son olarak bu üç tüketicinin karışımı yapılarak bazı baralarda ticari yükler, bazıları konutsal yükler ve bazıları ise endüstriyel yük modeli olarak modellenmiştir. Karışık yüklere sahip modifiye edilmiş IEEE 34 baralı test Şekil 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.4. Modifiye edilmiş IEEE 34 dağıtım test sistemi.

## 4. OPTİMAL DAĞITIK ÜRETİM BOYUTLANDIRMA VE YERLEŞİM PROBLEMİNİN TANIMLANMASI

### 4.1. Problemin Tanımlanması

Dağıtık üretimin yerleştirilmesi ve boyutlandırılması elektrik güç sistemindeki güç kayıpları, gerilim seviyeleri, arıza akımı seviyeleri, işletme maliyeti ve güvenilirliği üzerinde büyük bir etkiye sahiptir. Optimum DÜ boyutu ve konumu bulmak, dikkate alınması gereken birçok değişkeni olan karmaşık bir problemdir. Problemin kapsamı temel olarak dağıtım sisteminin büyüklüğüne ve olası DÜ konfigürasyonlarının sayısına bağlıdır. Dağıtım güç sisteminin ana bileşenleri hatlar, kablolar, transformatör, regülatörler, anahtarlar, kapasitörler ve yüklerdir. Her bileşen benzersiz özelliklere sahiptir ve belirli sistem koşullarına göre tepki vermektedir. Dağıtım sistemini değerlendirmek için, sistemdeki güç bileşenlerinin doğru bir şekilde modellenmesi gerekir. Bu tez çalışmada, dağıtım şebekesini analiz etmek için dağıtım sistemi simülatörü olan OpenDSS kullanılacaktır.

Dağıtık Üretimini dağıtım güç sistemi üzerindeki teknik etkisinin incelenmesi, ancak dağıtım sistemin DÜ'ye verdiği tepkiye değerlendiren indekslerin geliştirilmesinden oluşabilmektedir. Bu indeksler (gerilim profili, güç sistemi kayıpları, yük verileri ve DÜ kapasitesi), sistem parametrelerinin kombinasyonunu dikkate alarak DÜ'nün olumlu ve olumsuz etkisini yansıtmaktadır.

Bu bölümde, optimum DÜ boyutlandırma ve yerleştirme problemi tanımlanmaktadır. Bu tezin amacı, dağıtık üretimin dengesiz dağıtım güç sistemi üzerindeki etkisini değerlendirmek için güç kayıpları ve gerilimleri limit içinde tutulmasını sağlayan etkili bir metodoloji geliştirmektir. DÜ'nün optimal yerleştirme ve boyutlandırma problemi çözmek için GA, GWOCS, PSO, AGWOCS ve GWO algoritmaları kullanılacaktır.

### 4.2. Amaç Fonksiyonu

Bu tezde, amaç fonksiyonu aktif güç kayıplarını ( $P_{Kayıp}$ ) en aza indirerek gerilim seviyelerini kabul edilebilir seviyelerde tutmak olarak belirlenmiştir. Şebekedeki

toplam aktif güç kayıpları ( $P_{Kayıp}$ ) OpenDSS'te yapılan güç akışı analizi sonucunda elde edilmektedir.

$$\text{Min } F_a = \left( P_{Kayıp} + \lambda \sum_{j \in N} \sum_{\phi \in Ph} (V_j^\phi - V^{lim})^2 \right) \quad (4.1)$$

$$V^{lim} = \begin{cases} V_{min}, & \text{eğer } V_j^\phi < V_{min} \\ V_{maks}, & \text{eğer } V_j^\phi > V_{min} \\ V_j^\phi, & \text{aksi halde} \end{cases} \quad (4.2)$$

Burada,  $F_a$  amaç fonksiyonu,  $P_{Kayıp}$  toplam aktif güç kaybı,  $\lambda$  ise  $10^7$  değerinde olan ceza faktörü,  $V_j^\phi$  j barasındaki faz gerilimi,  $V^{lim}$  ise gerilim sınırı ( $V_{min}$  veya  $V_{maks}$ ).  $\lambda \sum_{j \in N} \sum_{\phi \in Ph} (V_j^\phi - V^{lim})^2$  ifadesi gerilimi kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutulması için eklenmiştir. Bu  $\lambda$  değeri, [74] tarafından deneysel olarak elde edilmiştir.

### 4.3. Kısıtlar

Elektrik güç sistemi belirli kısıtlamaları içinde çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Bu kısıtlar, güç sisteminin güvenilir bir şekilde çalışmasını sağlamak için tasarlanmıştır. Pratik sonuçlar elde etmek için, DÜ yerleştirme ve boyutlandırma problemi aşağıdaki kısıtlara sahiptir.

#### 4.3.1. Güç akışı kısıtları

Güç akışı denklemleri aşağıda verilmiştir. Güç akışı denklemleri optimizasyon probleminde eşitlik kısıtı olarak ele alınmaktadır.

$$P_{\text{Şebeke}} + P_{DÜ} - P_{Yük} - P_{Kayıp} = 0 \quad (4.3)$$

$$Q_{\text{Şebeke}} + Q_{DÜ} - Q_{Yük} - Q_{Kayıp} = 0 \quad (4.4)$$

Burada;  $P_{\text{Şebeke}}$  = Ana şebekeden çekilen toplam aktif güç

$Q_{\text{Şebeke}}$  = Ana şebekeden çekilen toplam reaktif güç

$P_{DÜ}$  = DÜ ürettiği aktif güç,

$Q_{DÜ}$  DÜ ürettiği reaktif güç,

$P_{Yük}$  = Yükün çektiği aktif güç

$Q_{Yük}$  = Yükün çektiği reaktif güç

$P_{Kayıp}$  = Toplam aktif güç kaybı

$Q_{Kayıp}$  = Toplam reaktif güç kaybı

#### 4.3.2. Dağıtık üretim kısıtları

Önerilen DÜ'lerin toplam kapasitesi toplam yük talebini aşmamalıdır ve her bir DÜ'nün kapasite limiti aşağıdaki gibi kısıtlanmıştır.

$$\sum_{k=1}^{N_{DÜ}} P_{DÜ}^k \leq \sum_{k=1}^{N_{Yük}} P_{Yük}^k \quad (4.5)$$

Burada, dağıtım şebekesine yerleştirilecek toplam DÜ boyutu 2048 kW olan yük talebini geçmemelidir.

#### 4.3.3. Gerilim kısıtları

Tüm baralardaki gerilimler, minimum ve maksimum sınırları dahilinde sınırlandırılmıştır.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{maks} \quad (4.6)$$

Burada  $V_{min}$  her baradaki minimum gerilim,  $V_{maks}$  her baradaki maksimum gerilim ifade etmektedir. Bu çalışmada  $V_{min}=0,95$  pu ve  $V_{maks}=1,05$  pu olarak belirlenmiştir. DÜ boyutu belirlenen üst sınıra yaklaştıkça, gerilimde bir yükselme eğilimi olur, belki de baradaki gerilim sınırının ötesine geçer. Bu nedenle, bu doğrusal olmayan gerilim kısıtıyla başa çıkmak için bir ceza faktörü ( $\lambda$ ) ile amaç fonksiyonuna eklenerek kısıtsız probleme dönüştürülmüştür ve böylece gerilim limiti sağlanması amaçlanmıştır.

#### 4.3.4. Güç faktörü kısıtları

Bu çalışmada birim güç faktöründe çalışan ve optimal güç faktöründe çalışan iki tür DÜ kullanılmıştır. Optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün güç faktörü limiti 0,01 ile 1 (ileri veya geri) arasında sınırlandırılmıştır.

$$0,01 \leq GF_i \leq 1 \quad (\text{ileri veya geri}) \quad (4.7)$$

İleri güç faktörü DÜ'nün reaktif güç absorbe ettiği anlamına geldiğine dikkat edilmelidir. Öte yandan, geri güç faktörü ise DÜ'nün reaktif güç sağladığı anlamına gelir.

#### 4.4. Önerilen Yöntemler

DÜ'nün tahsisi ve boyutlandırılması sorununa büyük önem verilmelidir. DÜ ünitelerinin optimum olmayan yerlere kurulması sistem kayıplarının artmasına neden olabilir, bu da maliyetlerin artmasına ve dolayısıyla istenen etkinin tam tersine yol açabilir. Bu nedenle, şebekenin özelliklerini iyileştiren DÜ ünitesi tahsisini ve boyutlandırmasını belirleyebilen optimizasyon yöntemlerinin geliştirilmesi, şebeke planlayıcılar için çok faydalı olabilir. Optimum DÜ yerleştirme ve boyutlandırma için geliştirilen algoritmaları, DÜ kurulumunun faydalarını en üst düzeye çıkaran ve maliyetlerini en aza indiren optimum çözümü sağlayabilmelidir. Optimizasyon algoritmaları genel olarak üç kategoriye ayrılmaktadır: 1. Biyoloji tabanlı algoritma; 2. Fizik tabanlı algoritma; 3. Coğrafya tabanlı algoritma [75].

##### 4.4.1. Parçacık sürü optimizasyonu (PSO)

Parçacık sürü optimizasyon algoritmaları Kennedy ve arkadaşları tarafından önerilmiştir [76]. Bu algoritma kuş sürüsü paradigmasından esinlenmiştir. Hareketli parçacıklardan oluşan bir popülasyondan optimum çözümü arar. Her bir parçacık potansiyel bir çözümü temsil eder ve problem uzayında  $X_i$  konum vektörü ile temsil edilen bir konuma sahiptir. Bir parçacık sürüsü problem uzayı boyunca hareket eder ve her bir parçacığın hareket hızı bir  $v_i$  hız vektörü ile temsil edilir. Giriş olarak  $X_i$  kullanılarak her zaman adımında bir kalite ölçüsünü temsil eden bir uygunluk fonksiyonu ' $F$ ' hesaplanır. Her parçacık, o ana kadar elde ettiği en iyi uygunluk ile ilişkilendirilen bireysel en iyi pozisyonu  $X_{i,pbest}$  'in kaydını tutar. Ayrıca, sürüde şimdiye kadar elde edilen tüm parçacıklar arasındaki en iyi konum  $X_{g,pbest}$  olarak takip edilir. Bu bilgi, global en iyi çözüme yakınsama için tüm parçacıklar tarafından paylaşılır [77].

#### **4.4.2. Genetik algoritması (GA)**

GA, doğal seçim mekanizmalarına dayanan stokastik bir global uyarlanabilir arama optimizasyon tekniğidir. John Henry Holland ve David Goldberg tarafından geliştirilmiştir [78]. Bir dizi kromozom içeren bir popülasyona başlatılır ve her biri, performansı bir uygunluk fonksiyonu ile değerlendirilen problemin bir çözümünü temsil eder. Temel olarak GA üç ana aşamadan oluşur: Seçim, Çaprazlama ve Mutasyon. Bu üç temel işlemin uygulanması, ebeveynlerinden daha iyi olabilecek yeni bireylerin yaratılmasına mümkün kılar. Bu algoritma birçok nesil boyunca tekrarlanır ve sonunda problemin optimum çözümü elde edildiğinde durur.

#### **4.4.3. Gri kurt optimizasyonu (GWO)**

GWO, Mirjalili ve arkadaşları [79] tarafından 2014 yılında geliştirilen ve yakın zamanda önerilen sürü zekası tabanlı algoritmalarından biridir. GWO algoritması, doğada avlanmak için en uygun yolu arayan gri kurtlardan esinlenmiştir. GWO algoritması, kurt sürüsündeki farklı rolleri düzenlemek için sürü hiyerarşisini takip ettiği doğadaki aynı mekanizmayı uygular. GWO'da sürü üyeleri, kurdun avlanma sürecini ilerletmeye yardımcı olan rolünün türüne göre dört gruba ayrılır. Bu dört grup alfa, beta, delta ve omega olup, alfa o ana kadar avlanma için bulunan en iyi çözümü temsil etmektedir. Popülasyonun dört gruba ayrılması, orijinal GWO makalesinde gri kurtların doğadaki baskınlık hiyerarşisine uymak için yapılmıştır.

#### **4.4.4. Hibrit gri kurt optimizasyonu ve guguk kuşu araması (GWOCS)**

Mirjalili ve arkadaşları [79] tarafından 2014 yılında geliştirilen GWO algoritması ve guguk kuşlarının benzersiz yuvalama stratejisini taklit eden doğadan ilham alan Guguk Kuş Araması (CS) algoritması [80] ile birleştirilen GWOCS adlı yeni bir hibrit metasezgisel algoritma, Gupta [81] tarafından ortaya konmuştur.

#### **4.4.5. Hibrit artırılmış gri kurt optimizasyonu ve guguk kuşu araması (AGWOCS)**

2018 yılında, daha büyük keşif yeteneklerine sahip olan Artırılmış GWO (AGWO) adlı bir GWO artırımını önerilmiştir [82]. CS Algoritması [80], guguk kuşlarının ve levy uçuşlarının yuvalama stratejisini taklit eden doğadan ilham alan bir optimizasyon tekniğidir. Her iki algoritma da güçlü arama yeteneklerine sahiptir. Sharma ve arkadaşları [83], global optimuma etkili bir şekilde ulaşmak için her iki meta sezgiselin özelliklerini birleştiren AGWOCS adlı yeni bir hibrit metasezgisel ortaya koymuşlar.

Bu algoritma, AGWO'nun keşif yetenekleri ile CS'nin istismar yeteneklerini bir araya getirmektedir.

Bu çalışmada kullanılan GA, PSO, GWO, GWOCS ve AGWOCS algoritma parametreleri Tablo 4.1'de verilmiştir.

Karşılaştırmanın adil olması için, tüm bu yöntemler 20 birey/çözüm içeren aynı başlangıç popülasyonunu ve aynı sayıda (100) maksimum iterasyonu kullanmıştır. Benzetimlerde kullanılan tüm parametreler Tablo 4.1'de sunulmuştur. Tablo 4.1'deki tüm değerler, her bir algoritmanın yazarlarının tavsiyelerine (varsayılan değerler) ve DÜ tahsis problemi ile ilgili deneyimlere göre seçilmiştir.

Her bir algoritma için aynı başlangıç çözümleri kümesinden başlayarak 20 kez çalıştırılmıştır. Hızı 2,8 GHz ve 8 GB RAM olan bir bilgisayar kullanıldığında, IEEE 34 baralı sistemi için tek bir benzetim ortalama 9 dakika sürmektedir.

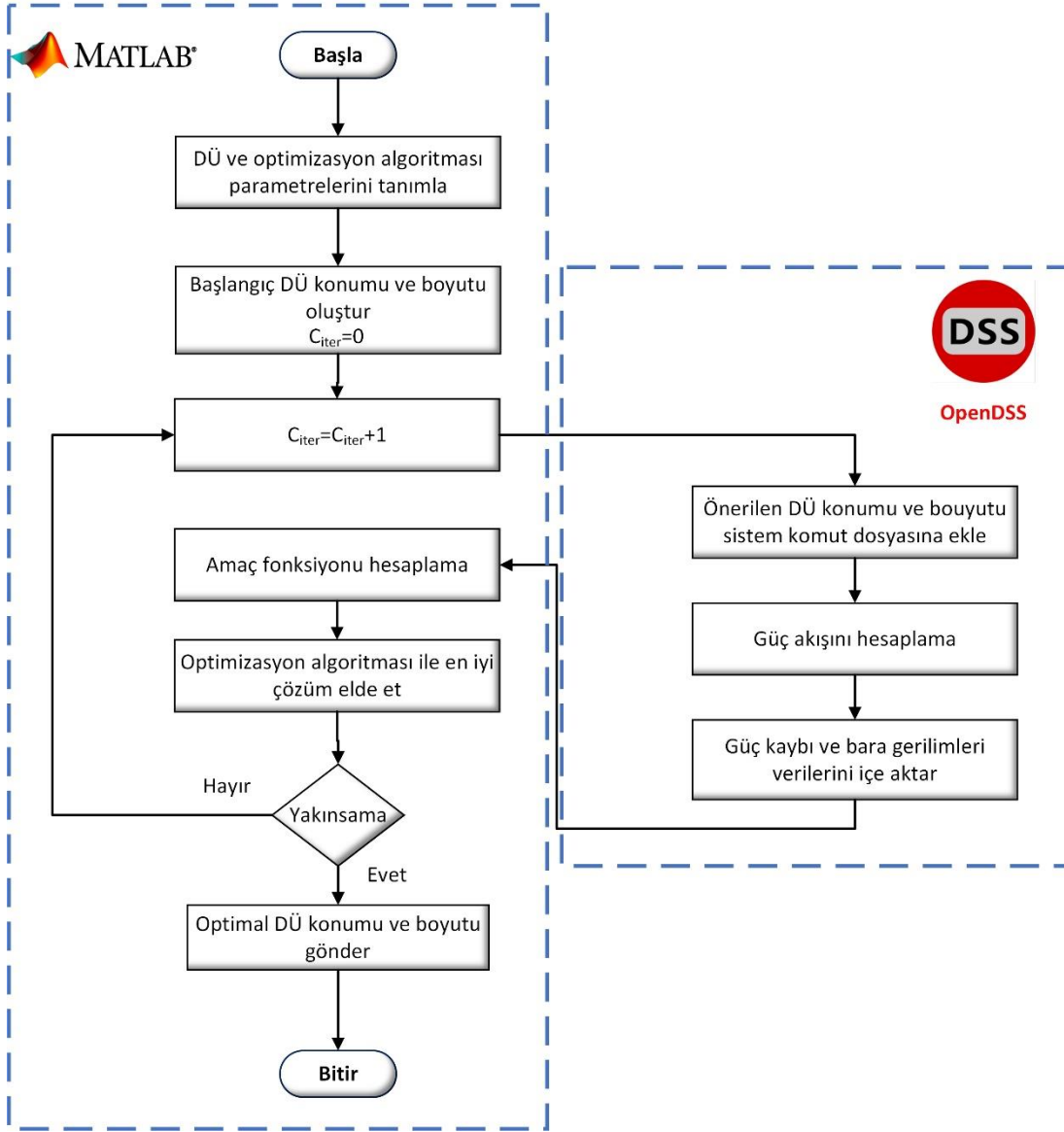
**Tablo 4.1.** GA, PSO, GWO, GWOCS ve AGWOCS parametreleri.

GA	Değeri	PSO	Değeri
Maksimum iterasyon	100	Maksimum iterasyon	100
Popülasyon boyutu	20	Parçacık sayısı	20
Çaprazlama oranı	0,8	c1	0,8
Mutasyon oranı	0,01	c2	0,01
Elitizm oranı	0,05	GWOCS	Değeri
GWO	Değeri	Maksimum iterasyon	100
Maksimum iterasyon	100	Popülasyon boyutu	20
Popülasyon boyutu	20		
AGWOCS	Değeri		
Maksimum iterasyon	100		
Popülasyon boyutu	20		
Atalet ağırlık sönüm oranı	0,99		
Atalet ağırlığı	0,4		

#### 4.5. OpenDSS ve MATLAB ile Algoritmanın Benzetimi

Dengesiz dağıtım sisteminde DÜ'lerin optimum konumunu ve kapasitesini belirlemek için OpenDSS ve MATLAB arasında uygulanan ortak benzetim Şekil 4.1'deki akış şeması ile gösterilmiştir. Bu benzetim iki farklı ortamda gerçekleştirilmiştir. OpenDSS'de, tüm dağıtım sistemini tanımlayan bir kod kullanıcı tarafından yazılır. Bu kod hat modelleme, yük modelleme ve transformatör modelleme gibi ana devre komut

dosyası ve eleman komut dosyalarını içermektedir. OpenDSS, güç akışı problemini çözmek için veri işleme ve hesaplama için ana devre komut dosyasından çalıştırılacaktır. Bu hesaplamadan elde edilen sonuçlar (faz açısı, gerilim büyüklüğü, her daldaki güç kayıpları, vb.) MATLAB giriş verileri olarak işlenmek üzere COM (Bileşen Nesne Modeli) sunucusu aracılığıyla MATLAB'a aktarılacaktır. MATLAB arama alanındaki DÜ'lerin konumu ve boyutlandırılması için analiz yapacak ve olası çözümleri üretecektir. Önerilen çözümler, ilk iterasyonda OpenDSS giriş verileri olarak ek verilerin entegre edilmesi ve işlenmesi için OpenDSS'e geri gönderilecektir. Alınan yeni çözüm, sistemin koduna uygun şekilde eklenecek ve güç akışı hesaplaması gerçekleştirilecektir. OpenDSS'te elde edilen sonuçlar ile amaç fonksiyonu hesaplamak için COM sunucusu aracılığıyla MATLAB'a iletilecektir. MATLAB'da yazılan optimizasyon algoritması, daha iyi çözümler önermek için mevcut çözümlerin performans değerlendirmesine dayanacaktır. Bu yeni çözümler de bir sonraki iterasyonda verilerin işlenmesi için OpenDSS'e aktarılacaktır. Bu süreç, optimizasyon algoritmasının kriteri karşılanana kadar, yani mevcut iterasyon maksimum iterasyona eşit olana kadar tekrarlanır. Her döngü tamamlandıktan sonra, bir öncekinden daha iyi olan bir sonraki çözüm en iyi mevcut çözüm olarak güncellenecek ve yakınsama gerçekleşecektir. Sonuç olarak, dağıtım sistemindeki DÜ'lerin konumu ve kapasitesi için en uygun çözüm bulunacaktır.



Şekil 4.1. DÜ yerleşimi için önerilen yaklaşımın akış şeması.

## 5. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Bu tez çalışmasında DÜ boyutlandırma ve yerleşim problemini çözmek için önerilen optimizasyon algoritmaları kullanılarak dengesiz dağıtım şebekesi olan IEEE 34 baralı dağıtım test sistemine uygulanmıştır. Optimizasyon algoritmaları MATLAB'ta gerçekleştirilmiş ve açık kaynak kodlu OpenDSS programı ile güç akışı benzetimleri gerçekleştirilmiştir. Mevcut özel çözüm modları ve harici COM sunucusu sahip olması nedeniyle OpenDSS seçilmiştir. OpenDSS, COM arayüzü aracılığıyla MATLAB'tan çalıştırılmıştır.

Yapılan benzetimlerde, IEEE 34 baralı dağıtım test sistemindeki yükler gerçeğe yakın olması için gerilim bağımlı ZIP yük modeli olarak tasarlanmıştır. Doğru sonuçlar elde etmek için dağıtım şebekedeki farklı tüketici türleri hesaba katılarak, Bölüm 3.3.1'de bahsedilen ZIP yük modeli ve Tablo 3.1'de verilen ZIP katsayıları kullanılmıştır. Benzetimlerde ticari, konutsal, endüstriyel ve bu üçün karışımı olan "karışık" yük modelleri kullanılmıştır.

Bu çalışmada altı farklı senaryo ele alınmıştır. Birim güç faktöründe ve optimal güç faktörde çalışan iki DÜ sistemleri kullanılarak gerilim regülatörün bulunduğu ve bulunmadığı durumlar için DÜ yerleşimi yapılmıştır. Modellenen senaryoları Tablo 5.1'de verilmiştir.

**Tablo 5.1.** Senaryoların modellenmesi.

Senaryo	Orijinal Yük	ZIP Yük				DÜ YOK	DÜ VAR		Regülâtör	
		T	E	KO	K		Tip I	OPF	VAR	YOK
1	A	✓				✓			✓	
	B	✓				✓				✓
2	A	✓					✓		✓	
	B	✓					✓			✓
	C	✓						✓	✓	
	D	✓						✓		✓
3	A		✓				✓		✓	
	B			✓			✓		✓	
	C				✓		✓		✓	
	D					✓	✓		✓	
4	A		✓				✓			✓
	B			✓			✓			✓
	C				✓		✓			✓
	D					✓	✓			✓
5	A		✓					✓	✓	
	B			✓				✓	✓	
	C				✓			✓	✓	
	D					✓		✓	✓	
6	A		✓					✓		✓
	B			✓				✓		✓
	C				✓			✓		✓
	D					✓		✓		✓

\* T=Ticari ZIP yük

\* E=Endüstriyel ZIP yük

\* KO=Konutsal ZIP yük

\* K=Karışık ZIP yük

### 5.1. Senaryo 1

Birinci senaryoda, DÜ yerleştirilmeden önceki durumu ifade eden (BaseCase) temel durumdur. Bu senaryoda, IEEE 34 baralı sistemin orijinal yükü kullanılarak gerilim regülâtörü varken ve yokken iki alt senaryo incelenmiştir.

- Senaryo 1A: Bu senaryo, orijinal yüke sahip ve gerilim regülâtörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde DÜ'nün olmadığı durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 1B: Bu senaryo, orijinal yüke sahip ve gerilim regülâtörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde DÜ'nün olmadığı durumu ifade etmektedir.

## 5.2. Senaryo 2

İkinci senaryoda, IEEE 34 baralı sistemin orijinal yükü kullanılarak birim güç faktöründe ve optimal güç faktöründe çalışan DÜ yerleştirilmesi durumudur. Alt senaryolar aşağıdaki gibidirler:

- Senaryo 2A: Bu senaryo, orijinal yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 2B: Bu senaryo, orijinal yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 2C: Bu senaryo, orijinal yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 2D: Bu senaryo, orijinal yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

## 5.3. Senaryo 3

Üçüncü senaryoda, IEEE 34 baralı sistemde gerilim regülatörünün bulunduğu ve ZIP yük modeli kullanılarak birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumudur. Alt senaryolar aşağıdaki gibidirler:

- Senaryo 3A: Bu senaryo, Ticari ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 3B: Bu senaryo, Endüstriyel ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 3C: Bu senaryo, Konutsal ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

- Senaryo 3D: Bu senaryo, Karışık ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

#### **5.4. Senaryo 4**

Dördüncü senaryoda, IEEE 34 baralı sistemde gerilim regülatörünün bulunmadığı ve ZIP yük modeli kullanılarak birim güç faktöründe çalışan DÜ yerleştirildiği durumdur.

Alt senaryolar aşağıdaki gibidirler:

- Senaryo 4A: Bu senaryo, Ticari ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 4B: Bu senaryo, Endüstriyel ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 4C: Bu senaryo, Konutsal ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 4D: Bu senaryo, Karışık ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde birim güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

#### **5.5. Senaryo 5**

Beşinci senaryoda, IEEE 34 baralı sistemde gerilim regülatörünün bulunduğu ve ZIP yük modeli kullanılarak optimal güç faktöründe çalışan DÜ yerleştirildiği durumdur.

Alt senaryolar aşağıdaki gibidirler:

- Senaryo 5A: Bu senaryo, Ticari ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 5B: Bu senaryo, Endüstriyel ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

- Senaryo 5C: Bu senaryo, Konutsal ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 5D: Bu senaryo, Karışık ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

## 5.6. Senaryo 6

Altıncı senaryo, IEEE 34 baralı sistemde gerilim regülatörün bulunmadığı ve ZIP yük modeli kullanılarak optimal güç faktöründe çalışan DÜ yerleştirilmesi durumudur. Alt senaryolar aşağıdaki gibidirler:

- Senaryo 6A: Bu senaryo, Ticari ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 6B: Bu senaryo, Endüstriyel ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 6C: Bu senaryo, Konutsal ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.
- Senaryo 6D: Bu senaryo, Karışık ZIP yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün yerleştirildiği durumu ifade etmektedir.

Tablo 5.2'de orijinal yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı durumunda PSO algoritması ile elde edilen sonuçları verilmiştir. Birim güç faktöründe çalışan 1, 2, 3, 4 ve 5 DÜ'nin optimal yerleştirildiğinde oluşan aktif güç kaybı ( $P_{Kayıp}$ ), şebekeden çekilen aktif güç ( $P_{Şebeke}$ ), DÜ'nin boyutu ( $P_{DÜ}$ ) ve minimum gerilimi ( $V_{min}$ ) Tablo 5.2'de verilmiştir. Tablo 5.2'de görüldüğü üzere, sisteme yerleştirilen DÜ sayısı arttıkça şebekeden çekilen aktif güç azalmakta ve buna bağlı olarak aktif güç kaybı da azalmaktadır. Ancak, 3 DÜ yerleşiminden sonra şebekenin kaybı çok fazla azalmamaktadır. Bu nedenle hem ekonomik açısından hem de literatürdeki

çalışmaların sonuçlarıyla karşılaştırma yapabilmek için IEEE 34 baralı test sistemi için DÜ yerleşimi yapılan tüm senaryolarda 3 adet DÜ tahsisi gerçekleştirilmiştir.

**Tablo 5.2.** Senaryo 2B’de PSO algoritması ile DÜ yerleşimi.

	Bara no (konum)	P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
BaseCase			221,8	1789,09		1567,3	0,7931
1 DG	890	763,81	89,66	1051,97	763,81	1726,12	0,951
2 DG	890 844	446,38 955,12	21,34	413,28	1401,78	1793,72	0,9716
3 DG	822* 890 844	108,21 446,46 861,47	17,92	390,99	1415,16	1788,23	0,977
4 DG	820* 810* 842 890	142,91 107,53 913,34 445,21	15,54	205,61	1609,21	1799,28	0,9848
5 DG	844 890 838* 820* 846	791,37 451,84 93,38 150,84 145,17	13,59	194,07	1632,63	1813,11	0,9922

\* 820,822 baraları tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

\* 810,838 baraları tek fazlıdır ve güç “B” fazına enjekte edilir.

Tablo 5.3’te 2B senaryosu için GA, PSO, GWO, GWOCS ve AGWOCS algoritmalarıyla elde edilen sonuçları verilmiştir. Görüldüğü gibi birim güç faktöründe çalışan 3 adet DÜ yerleştirildiğinde aktif güç kaybının azaltılması açısından en iyi sonuç PSO algoritması ile elde edilmiştir. PSO ile aktif güç kaybı 17,92 kW olarak elde edilmiş ve temel duruma göre %91,92 azalma sağlanmıştır.

Tablo 5.4’te orijinal yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunduğu IEEE 34 bara sisteminde GA, PSO, GWO, GWOCS ve AGWOCS algoritmalarıyla birim güç faktöründe çalışan 3 DÜ’nün optimal yerleştirildiğinde elde edilen sonuçları verilmiştir. Bu senaryoda en düşük güç kaybı 17,97 kW olarak GA algoritması ile elde edilmiştir. Bu senaryoda ise aktif güç kaybı, temel duruma (BaseCase) göre % 93,31 oranda azaldığı görülmektedir. Tablo 5.3 ve Tablo 5.4 karşılaştırıldığında, regülatörünün bulunduğu durum (Senaryo 2A), güç kaybı azalma yüzdesi ve minimum gerilim değerinin yükselmesi açısından gerilim regülatörünün bulunmadığı duruma göre (Senaryo 2B) daha iyi sonuç vermiştir.

**Tablo 5.3.** Senaryo 2B’de optimal 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no (konum)	P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
BaseCase			221,8	1789,09		1567,3	0,7931
GA	820*	120,9					
	890	437,23	18,03	388,99	1417,15	1788,1	0,9761
	844	859,04					
PSO	822*	108,21					
	890	446,46	17,92	390,99	1415,16	1788,2	0,977
	844	861,47					
GWO	890	449,46					
	844	841,59	18,04	387,28	1419,33	1788,6	0,9784
	820*	128,26					
GWOCS	890	437,24					
	844	849,19	18,11	387,57	1418,14	1787,6	0,9766
	820*	131,7					
AGWOCS	890	435,85					
	842	880,23	18,1	393,12	1413,46	1788,5	0,9747
	822*	97,38					

\* 820,822 baraları tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

\* 810,838 baraları tek fazlıdır ve güç “B” fazına enjekte edilir.

**Tablo 5.4.** Senaryo 2A’de optimal 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no (konum)	P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
BaseCase			269	2032,8		1763,9	0,923
GA	890	452,55					
	844	835,29	17,97	387,33	1420,1	1825,4	0,988
	820*	132,25					
PSO	890	433,95					
	842	893,09	18,59	407,37	1400,96	1826,9	0,987
	822*	73,91					
GWO	890	455,16					
	842	853,7	18,53	407,14	1403,55	1829,2	0,992
	822*	114,68					
GWOCS	890	462,3					
	842	849,26	18,62	410,47	1401,8	1830,9	0,992
	822*	90,26					
AGWOCS	890	472,31					
	860	941	20,92	372,14	1442	1835,1	0,992
	826	428,69					

\* 820,822 baraları tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

Orijinal yüke sahip ve gerilim regülatörünün bulunmadığı IEEE 34 bara sisteminde GA, PSO, GWO, GWOCS ve AGWOCS algoritmalarıyla optimal güç faktöründe çalışan 3 DÜ'nün optimal yerleştirildiğinde elde edilen sonuçları Tablo 5.5'te verilmiştir. Tablo 5.5'te görüldüğü üzere, aktif güç kaybının azaltılması açısından en iyi sonuç, PSO algoritması ile elde edilmiştir. PSO ile en düşük aktif güç kaybı 3,5 kW olarak elde edilmiş ve temel duruma göre % 98,42 oranda azaldığı görülmektedir.

Tablo 5.6'da verilen senaryo 2C sonuçlarına bakıldığında ise, en düşük aktif güç kaybı 7,97 kW olarak GA algoritması ile elde edilmiştir. Bu senaryoda ise aktif güç kaybı, temel duruma (BaseCase) göre % 97,38 azaldığı görülmektedir. Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 karşılaştırıldığında, gerilim regülatörünün bulunmadığı durum (Senaryo 2D), güç kaybı azalma yüzdesi açısından gerilim regülatörünün bulunduğu duruma göre (Senaryo 2C) daha iyi sonuçlar vermiştir. Ancak, minimum gerilim değerinin yükselmesi açısından ise, iki durum arasında çok büyük bir fark gözlenmemiştir.

**Tablo 5.5.** Senaryo 2D optimal 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no (konum)	P <sub>DÜ</sub> (kW)	GF (pf)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
BaseCase				221,8	1789,09		1567	0,793
GA	890	401,74	0,76(geri)					
	844	1061,8	0,9(ileri)	10,93	291,97	1530,2	1811	1,01
	822*	66,62	0,58(geri)					
PSO	890	467,9	0,89(geri)					
	844	975,2	0,79(geri)	3,5	235,36	1598,1	1830	1,02
	820*	154,93	0,96(ileri)					
GWO	890	435,34	0,89(geri)					
	842	1082,3	0,97(ileri)	4,19	230,13	1606,4	1832	1,03
	820*	266,13	0,55(geri)					
GWOCS	890	430,31	0,8(geri)					
	844	920,23	0,98(ileri)	12,91	308,96	1511,4	1807	0,98
	824	160,79	0,6(ileri)					
AGWOCS	890	515,47	0,9(geri)					
	844	789,7	0,99(ileri)	15,75	448,23	1369	1801	0,98
	814r	63,8	0,45(ileri)					

\* 820,822 baraları tek fazlıdır ve güç "A" fazına enjekte edilir.

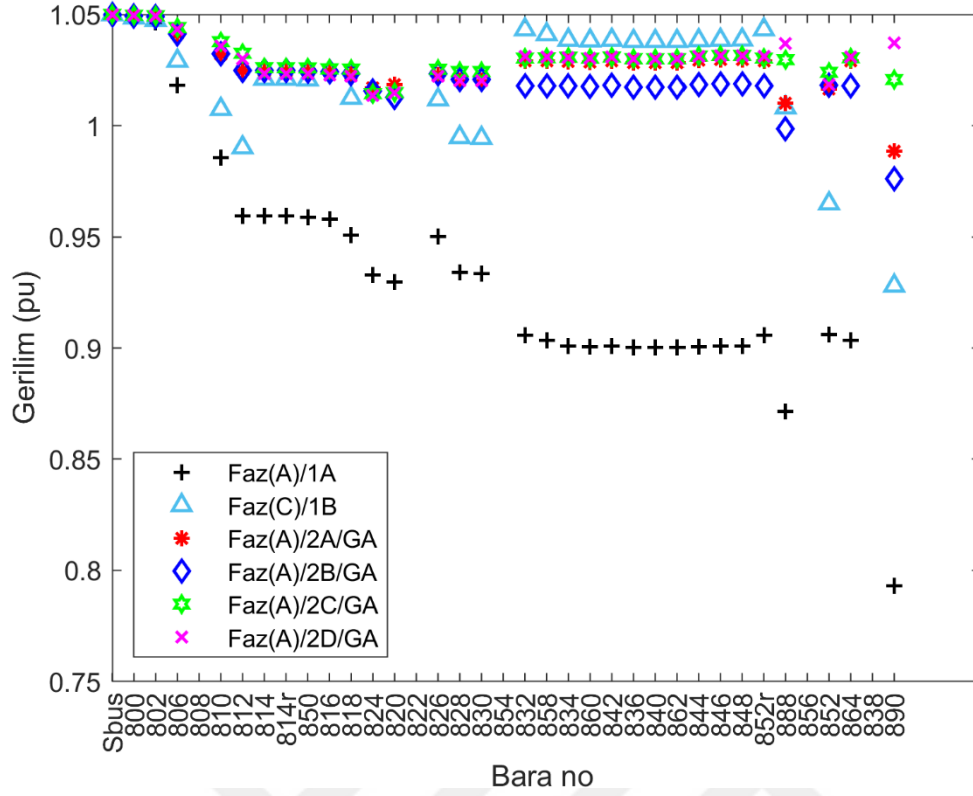
**Tablo 5.6.** Senaryo 2C optimal 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no (konum)	P <sub>DÜ</sub> (kW)	GF (pf)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
BaseCase				269	2032,8		1736,9	0,923
GA	890	371,80	0,81(geri)					
	844	950,54	0,97(ileri)	7,03	318,48	1494,9	1806	1,01
	822*	50,96	0,48(geri)					
PSO	890	427,25	0,93(geri)					
	842	950,54	0,99(ileri)	13,91	432,07	1384,1	1802	1,02
	810*	6,34	0,37(ileri)					
GWO	890	420,25	0,83(geri)					
	844	1017,8	0,97(ileri)	11,83	295,26	1524	1808	1,00
	810*	85,99	0,76(ileri)					

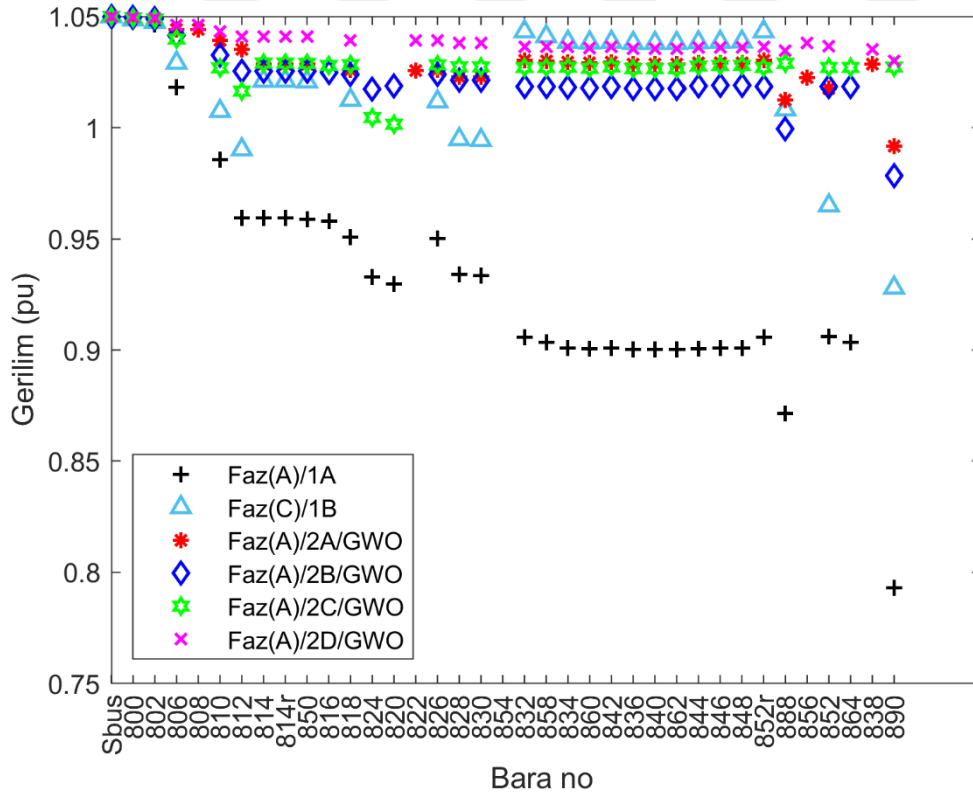
\* 822 barası tek fazlıdır ve güç "A" fazına enjekte edilir.

\* 810 barası tek fazlıdır ve güç "B" fazına enjekte edilir.

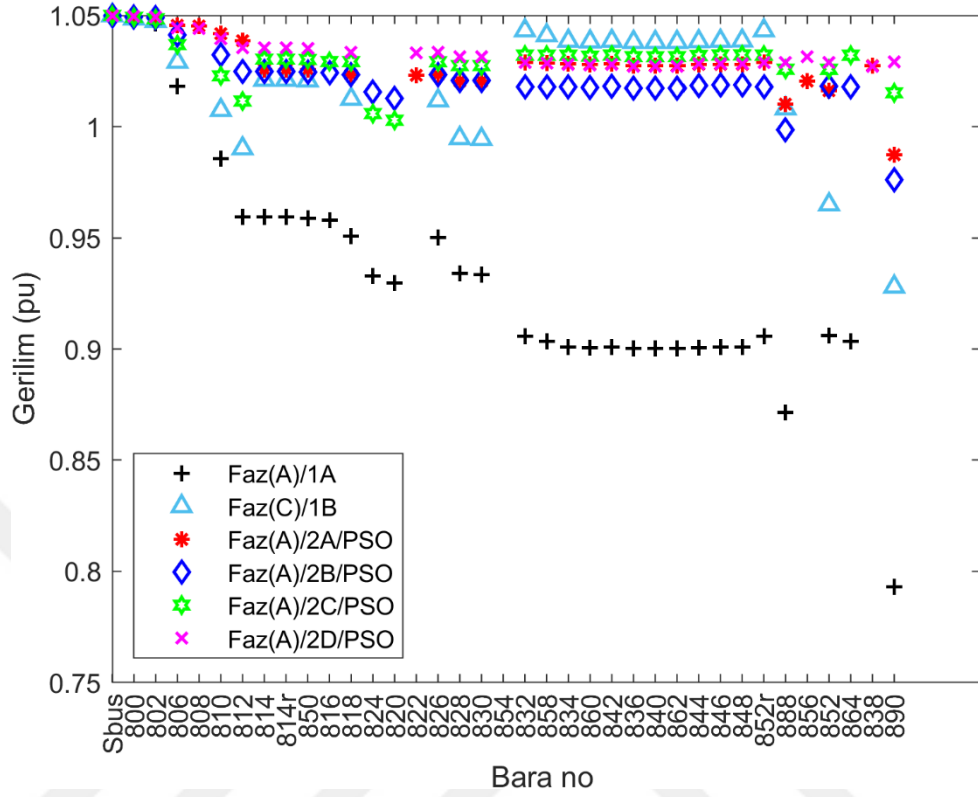
Şekil 5.1 - Şekil 5.3, GA, PSO ve GWO ile orijinal yüke sahip IEEE 34 bara sisteminin DÜ yerleştirilmeden önceki (Senaryo 1) ve sonraki (Senaryo 2) bara gerilim profilini göstermektedir. Senaryo 1'de, DÜ yerleştirilmeden önce 0,95 pu gerilim sınırından daha düşük gerilime sahip birçok bara bulunmaktadır. DÜ yerleştirildikten sonra (Senaryo 2) tüm baraların gerilimlerini 0,95-1,05 pu sınırları içerisinde olduğu görülebilir. DÜ yerleştirilmeden önce, gerilim regülatörü varken ve yokken en düşük gerilim sırasıyla 0,79 pu ve 0,92 pu'dur. DÜ mevcutken ise, en düşük gerilim 0,97 pu'dur. Sonuç olarak DÜ bulunduğu senaryoda gerilim profilinde iyileşme görülmüştür.



Şekil 5.1. Senaryo 1-GA ve Senaryo 2-GA için gerilim profili.



Şekil 5.2. Senaryo 1-GWO ve Senaryo 2-GWO için gerilim profili.



Şekil 5.3. Senaryo 1-PSO ve Senaryo 2-PSO için gerilim profili.

Tablo 5.7’de ZIP yüke sahip IEEE 34 baralı sisteminde PSO algoritması ile 3 adet birim güç faktöründe çalışan DÜ’nün optimum yerleşim sonuçları verilmiştir. En düşük aktif güç kaybı 16,18 kW ile konutsal yüklü senaryoda elde edilmiştir. Tablo 5.8’de verilen Senaryo 3 sonuçlarına bakıldığında da en düşük aktif güç kaybı konutsal yüklerden oluşan dağıtım şebekesinde elde edilmiştir.

Senaryo 3 ve Senaryo 4’te kullanılan konutsal yük sabit empedansa yakın modellenmiştir. Sabit empedans yük modelde gerilim artıkça yükün çektiği akımda artmakta ve buna bağlı olarak aktif güç kaybı da artmaktadır. Bu durum, Tablo 5.7 ve Tablo 5.8’deki konutsal yükündeki aktif güç kaybı sonuçları bakıldığında görülmektedir. Gerilim regülatörünün bulunmadığı temel (BaseCase) durumda aktif güç kaybı 243,3 kW iken gerilim regülatörünün bulunduğu durumda ise aktif güç kaybı artarak 260,3 kW olmuştur.

Endüstriyel yük sabit güç yüke yakın modellendiği için durum tam tersidir. Sabit güç yük modelde gerilim artıkça yükün çektiği akımda azalmakta ve buna bağlı olarak

aktif güç kaybı da azalmaktadır. Tablo 5.7 ve Tablo 5.8 görüldüğü üzere, endüstriyel yük modele sahip gerilim regülatörünün bulunmadığı temel (BaseCase) durumda, aktif güç kaybı 274,9 kW iken gerilim regülatörünün bulunduğu durumda ise aktif güç kaybı 263,6 kW'a düşmüştür.

**Tablo 5.7.** Senaryo 4'te PSO ile 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no (konum)	P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> BC (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük (Endüstriyel)	890	464,7						
	842	762,51	274,9	20,14	433,76	1343,5	1757	0,97
	822*	116,22						
ZIP yük (Ticari)	890	449,36						
	844	711,02	251,7	20,61	401,09	1390	1770	0,97
	836	229,59						
ZIP yük (Konutsal)	890	446,61						
	844	827,5	243,8	16,18	443,2	1350,8	1778	0,98
	822*	230,11						
ZIP yük (Karışık)	890	458,81						
	834	822,39	247,6	18	404,37	1387,9	1774	0,98
	822*	106						

\* 822 barası tek fazlıdır ve güç "A" fazına enjekte edilir.

**Tablo 5.8.** Senaryo 3'te PSO ile 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no (konum)	P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> BC (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Talep</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük (Endüstriyel)	890	445,12						
	842	858,83	263,6	21,55	425,32	1352,5	1756	0,98
	862	48,58						
ZIP yük (Ticari)	890	476,9						
	842	824,15	263,8	18,72	404,1	1385,6	1771	0,99
	822*	84,56						
ZIP yük (Konutsal)	890	459,46						
	842	902,01	260,3	18,43	403,83	1390,7	1776	1
	810*	29,17						
ZIP yük (Karışık)	890	449,28						
	844	773,33	265,9	21,63	442,36	1355,7	1776	0,99
	836	133,07						

\* 822 barası tek fazlıdır ve güç "A" fazına enjekte edilir.

\* 810 barası tek fazlıdır ve güç "B" fazına enjekte edilir.

Tablo 5.9’da ZIP yüke sahip IEEE 34 baralı sisteminde GWO algoritması ile 3 adet birim güç faktöründe çalışan DÜ’nün optimum yerleşimi sonuçları verilmiştir. Endüstriyel, Ticari, Konutsal ve Karışık yük senaryoları için şebeke kayıpları sırasıyla 18,69 kW, 18,95 kW, 16,3 kW ve 19,1 kW’tır. Bu senaryoda, en düşük aktif güç kaybı konutsal yüklerinin bulunduğu senaryoda elde edilmiştir. Senaryo 3’te, en düşük aktif güç kaybına sahip optimal DÜ’nün konumu ve boyutu sırasıyla 890, 842, 822 baraları ve 442,88 kW, 830,54 kW, 77,38 kW’tır.

Senaryo 4 için güç kaybını en aza indiren optimum DÜ konumları ve boyutları Tablo 5.10’da sunulmuştur. Tablo 5.10’a bakıldığında en düşük güç kaybı konutsal yüklerden oluşan dağıtım şebekesinde elde edildiği görülmektedir. Konutsal yükte en düşük aktif güç kaybı 16,49 kW olarak elde edilmiştir. Temel duruma (BaseCase) göre aktif güç kaybının % 93,23 oranda azaldığı görülmektedir.

**Tablo 5.9.** Senaryo 3’te GWO ile 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no	P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Kayıp BC</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük (Endüstriyel)	890	453,33						
	842	800,74	263,6	18,69	416,43	1358,6	1756	0,99
	822*	104,49						
ZIP yük (Ticari)	890	455,93						
	844	879,48	263,8	18,95	404,68	1384,6	1770	0,99
	822*	49,24						
ZIP yük (Konutsal)	890	442,88						
	842	830,54	263,3	16,3	443,1	1350,8	1778	0,98
	822*	77,38						
ZIP yük (Karışık)	890	453,36						
	834	803,64	265,9	19,1	431,34	1362,2	1774	0,99
	822*	105,21						

\* 822 barası tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

**Tablo 5.10.** Senaryo 4’te GWO ile 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no	P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Kayıp BC</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük (Endüstriyel)	890	467,84						
	846	775,96	274,9	19,74	432,08	1344,8	1757	0,97
	822*	100,95						
ZIP yük (Ticari)	890	436,11						
	842	859,25	251,7	17,95	391,36	1395,6	1769	0,97
	822*	100,23						
ZIP yük (Konutsal)	890	442,47						
	842	799,27	243,8	16,49	443,68	1339,7	1767	0,98
	820*	107,94						
ZIP yük (Karışık)	890	510,59						
	848	708,72	247,6	18,05	406,56	1356	1745	0,97
	820*	136,72						

\* 820,822 baraları tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

Tablo 5.11’de PSO algoritması ile 3 adet optimal güç faktöründe çalışan DÜ yerleşimi için optimal konumları, boyutları ve güç faktörleri (GF) sonuçları verilmiştir. Tablo 5.11’de görüldüğü üzere, Senaryo 6’da en düşük aktif güç kaybı 6,75 kW olarak Ticari ZIP yük durumunda elde edilmiştir. Temel duruma (BaseCase) göre aktif güç kaybının % 97,31 oranda azaldığı görülmektedir. Tablo 5.12’te verilen Senaryo 5 sonuçlarına göre en düşük aktif güç kaybı 12,62 kW ile konutsal yüke sahip dağıtım şebekesinde elde edilmiştir.

**Tablo 5.11.** Senaryo 6’da PSO ile 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no	P <sub>DÜ</sub> (kW)	GF (pf)	P <sub>Kayıp BC</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük Endüstriyel	890	474,35	0,95(geri)						
	844	427,85	1	274,9	15,54	455,6	1317	1757	0,98
	846	414,8	1						
ZIP yük (Ticari)	890	432,88	0,91(geri)						
	844	917,4	0,98(ileri)	251,7	6,75	355,3	1430,2	1779	1,01
	822*	239,56	0,8(geri)						
ZIP yük Konutsal	890	496,48	0,95(geri)						
	842	663,64	0,86(ileri)	243,8	12	374,7	1424,4	1787	0,98
	840	264,26	0,87(geri)						
ZIP yük (Karışık)	890	486,67	0,91(geri)						
	844	935,64	0,97(geri)	247,6	11,19	338,8	1460,4	1788	0,98
	810*	114,25	0,9(geri)						

\* 822 barası tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

\* 810 barası tek fazlıdır ve güç “B” fazına enjekte edilir.

**Tablo 5.12.** Senaryo 5'te PSO ile 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no	P <sub>DÜ</sub> (kW)	GF (pf)	P <sub>Kayıp BC</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük (Endüstriyel)	890	445,9	0,96(geri)						
	842	843,6	1	263,6	15,38	445,9	1377,2	1808	1
	838*	87,4	0,99(ileri)						
ZIP yük (Ticari)	890	403,8	0,99(ileri)						
	844	1016	1	263,8	26,35	368,6	1424,8	1767	0,97
	836	4,45	0,98(geri)						
ZIP yük (Konutsal)	890	472,8	0,95(geri)						
	844	647	0,92(geri)	263,3	12,62	396,6	1398,2	1782	0,99
	848	278,3	0,99(geri)						
ZIP yük (Karışık)	890	187,8	0,99(geri)						
	890	297,2	0,78(geri)	265,9	12,92	396,6	1385,6	1769	1
	844	900,5	0,95(ileri)						

\* 838 barası tek fazlıdır ve güç "B" fazına enjekte edilir.

Tablo 5.13'te GWO algoritması ile 3 adet optimal güç faktöründe çalışan DÜ yerleşimi için optimal konumları, boyutları ve güç faktörlerinin (GF) sonuçları verilmiştir. Tabloda görüldüğü üzere, Senaryo 6'da en düşük aktif güç kaybı 3,33 kW ile Konutsal ZIP yük durumunda elde edilmiştir. Temel duruma (BaseCase) göre aktif güç kaybının % 98,63 oranda azaldığı görülmektedir. Bu sonuç, gerçekleştirilen tüm senaryolardaki en düşük aktif güç kaybıdır.

GWO algoritması ile Senaryo 5 için güç kaybını en aza indiren optimum optimal güç faktöründe çalışan DÜ'nün konumları, boyutları ve güç faktörü Tablo 5.14'te sunulmuştur. Tabloya bakıldığında, güç kaybı bakımından en iyi sonucun konutsal yüklerden oluşan dağıtım şebekesinde elde edildiği görülmektedir. En düşük aktif güç kaybı 7,97 kW ile konutsal yüklü senaryoda elde edilmiştir. Temel duruma (BaseCase) göre aktif güç kaybının % 96,97 oranda azaldığı görülmektedir

Senaryo 5 ve Senaryo 6 karşılaştırıldığında, gerilim regülatörünün bulunmadığı durum (Senaryo 6), aktif güç kaybı azalma yüzdesi gerilim regülatörünün bulunduğu duruma (Senaryo 5) göre daha fazla olduğu görülmektedir.

**Tablo 5.13.** Senaryo 6’da GWO ile 3 DÜ yerleşimi.

	Bara no	P <sub>DÜ</sub> (kW)	GF (pf)	P <sub>Kayıp BC</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük (Endüstriyel)	890	433,3	0,88(geri)						
	842	920,4	0,97(ileri)	274,9	12,98	328,2	1442	1783	0,98
	810*	88,3	0,57(ileri)						
ZIP yük (Ticari)	890	461,1	0,88(geri)						
	844	974,3	0,97(ileri)	251,7	3,96	267,3	1523,2	1795	1,03
	820*	87,8	0,61(geri)						
ZIP yük (Konutsal)	890	469,2	0,9(geri)						
	844	985,1	0,96(ileri)	243,8	3,33	230,8	1575	1809	1,03
	820*	120,6	0,97(geri)						
ZIP yük (Karışık)	890	441,6	0,88(geri)						
	842	1027	0,95(ileri)	247,6	10,22	312,9	1519	1842	0,99
	864	50,5	0,48(geri)						

\* 820 barası tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

\* 810 barası tek fazlıdır ve güç “B” fazına enjekte edilir.

**Tablo 5.14.** Senaryo 5’te GWO ile 3 DÜ yerleşim.

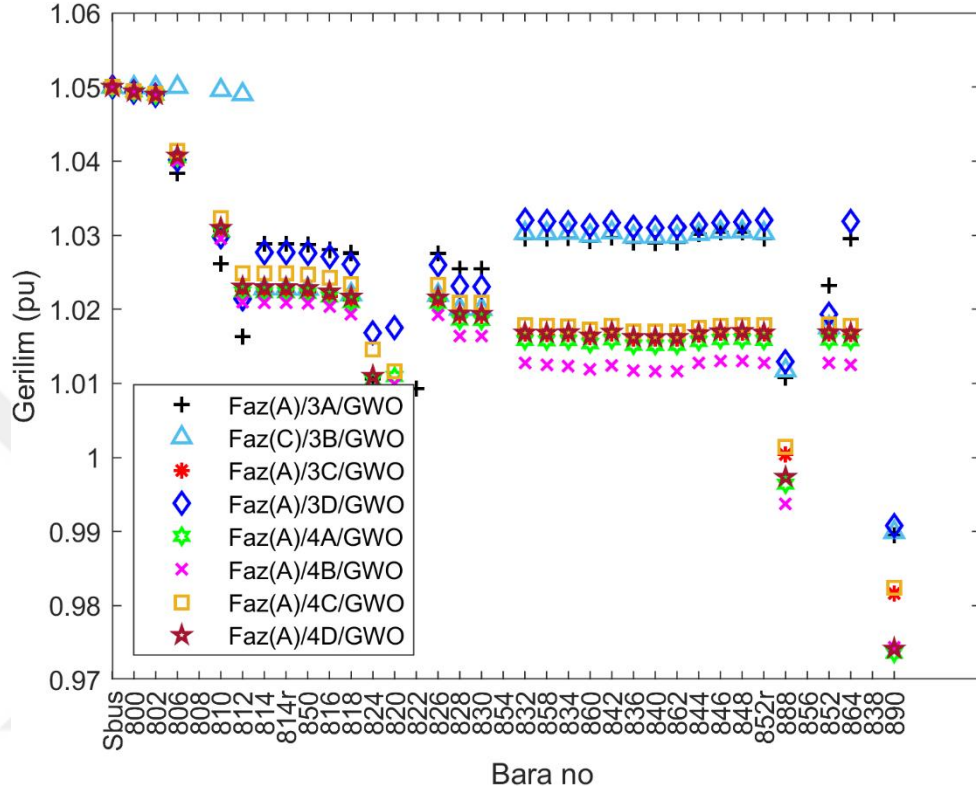
	Bara no	P <sub>DÜ</sub> (kW)	GF (pf)	P <sub>Kayıp BC</sub> (kW)	P <sub>Kayıp</sub> (kW)	P <sub>Şebeke</sub> (kW)	Toplam P <sub>DÜ</sub> (kW)	P <sub>Yük</sub> (kW)	V <sub>min</sub> (pu)
ZIP yük (Endüstriyel)	890	416,09	0,88(geri)						
	834	1020,87	0,97(ileri)	263,6	12,11	319,81	1448,6	1756	0,998
	808	11,66	0,04(ileri)						
ZIP yük (Ticari)	890	457,35	0,86(geri)						
	844	910,39	0,99(ileri)	263,8	12,54	402,5	1387,5	1777	1,003
	814r	19,76	0,14(geri)						
ZIP yük (Konutsal)	890	453,84	0,9(geri)						
	844	949,43	0,94(ileri)	263,3	7,97	351,28	1441,4	1785	1,01
	822*	38,13	0,75(geri)						
ZIP yük (Karışık)	890	473,36	0,9(geri)						
	844	905,16	0,97(ileri)	265,9	12,14	382,18	1411,9	1782	0,999
	810*	33,37	0,66(ileri)						

\* 822 barası tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir.

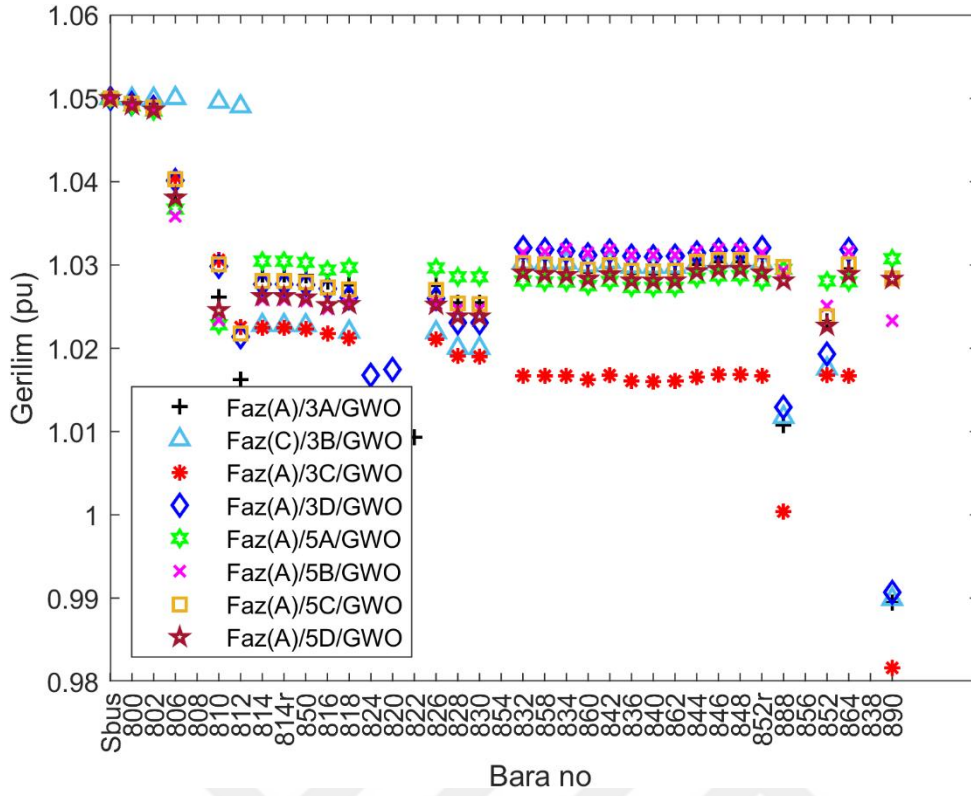
\* 810 barası tek fazlıdır ve güç “B” fazına enjekte edilir.

Senaryo 3 ve Senaryo 4 durumlarda GWO algoritması ile 3 adet birim güç faktöründe çalışan DÜ yerleştirilen dağıtım şebekeye ait bara gerilimleri Şekil 5.4’te verilmiştir. Her iki senaryoda, tüm baraların gerilimi 0,95 pu ile 1,05 pu limitin içerisinde olduğu görülmektedir. Gerilim regülatörünün bulunduğu durumda (Senaryo 3) ve bulunmadığı duruma (Senaryo 4) göre daha yüksek gerilim profiline sahip olduğu görülmektedir.

Hattın sonunda olduğu için her iki senaryoda da en düşük gerilim 890. barada görülmüştür. Senaryo 3 ve Senaryo 5 durumlara ait bara gerilimleri Şekil 5.5'te verilmiştir. Her iki senaryoda, tüm baraların gerilimi belirlenen limitin içinde olduğu görülmektedir.



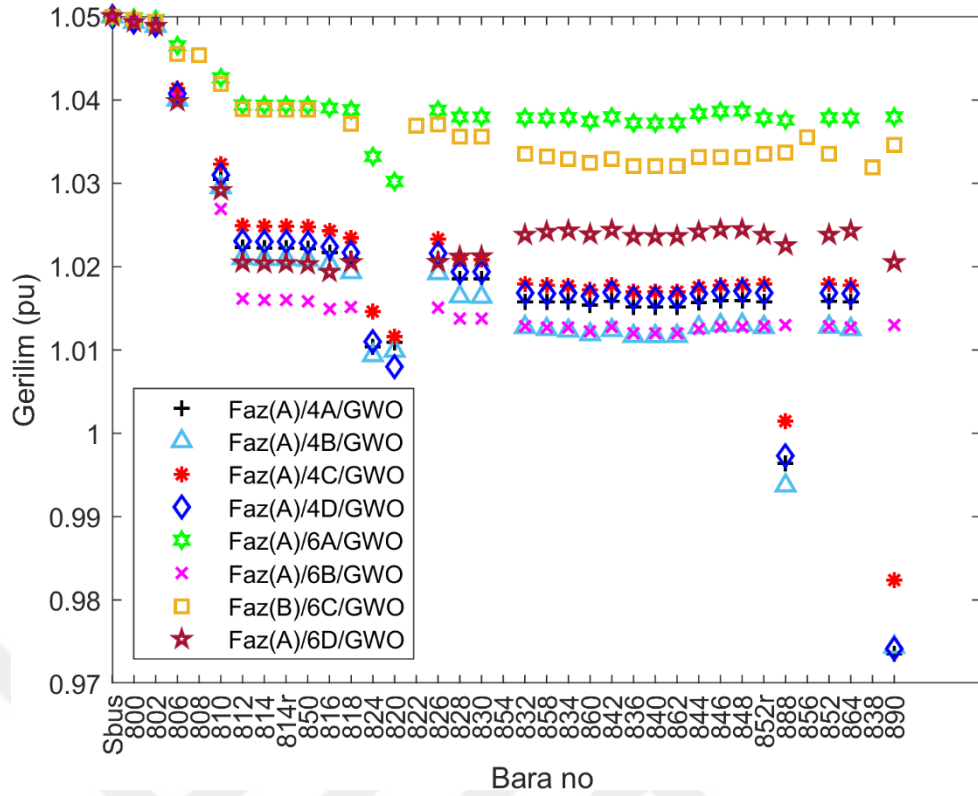
Şekil 5.4. Senaryo 3 ve Senaryo 4'te GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.



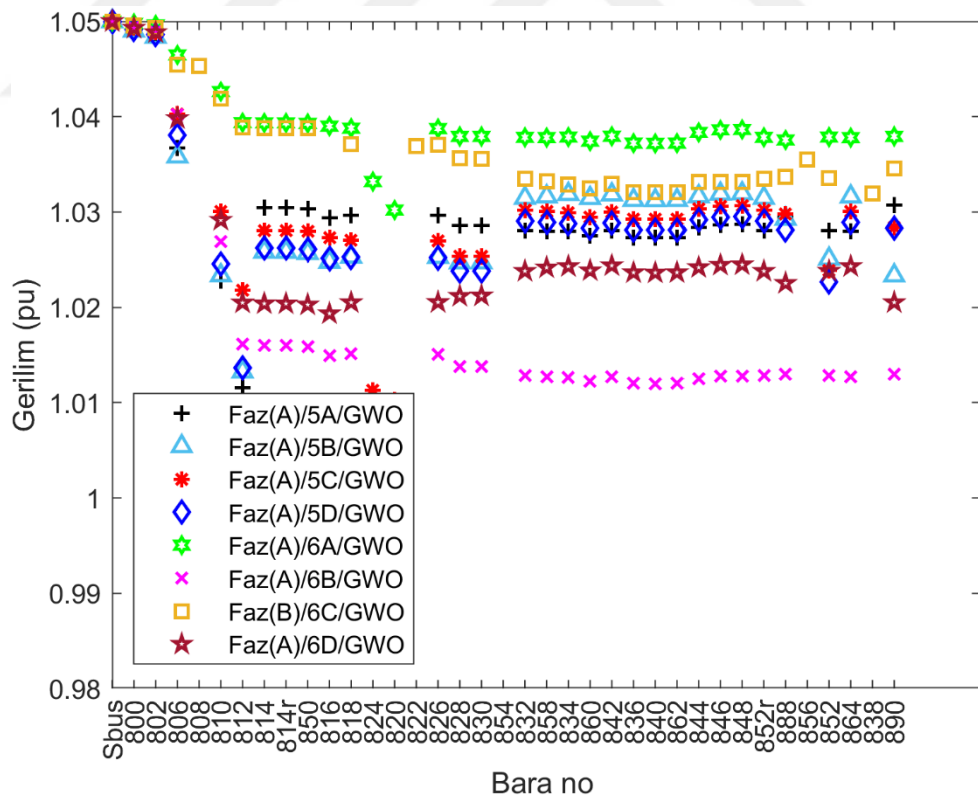
**Şekil 5.5.** Senaryo 3 ve Senaryo 5'te GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.

Senaryo 4 ve Senaryo 6 durumlara ait bara gerilimleri Şekil 5.6'da verilmiştir. Her iki senaryoda, tüm baraların gerilimi belirlenen limitin içinde olduğu görülmektedir.

Şekil 5.7'de Senaryo 5 ve Senaryo 6 durumlarda GWO ile 3 adet optimal güç faktöründe çalışan DÜ yerleştirilen dağıtım şebekesinin bara gerilimleri verilmiştir. Her iki senaryoda, tüm baraların gerilimi belirlenen limitin içinde olduğu görülmektedir.



Şekil 5.6. Senaryo 4 ve Senaryo 6’da GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.



Şekil 5.7. Senaryo 5 ve Senaryo 6’da GWO ile 3 DÜ tahsisindeki gerilim profili.

IEEE 34 baralı dağıtım şebekesinde yerleştirilen birim güç faktöründe çalışan 3 adet DÜ için önerilen algoritmaları tarafından elde edilen optimum sonuçları ile literatürdeki çalışmaların karşılaştırmasını Tablo 5.16’da verilmiştir. Tablo 5.16’da görüldüğü üzere, optimal DÜ tahsisi ile aktif güç kayıpları temel duruma kıyasla ciddi ölçüde azaltılmıştır. Literatürdeki çalışmayla karşılaştırıldığında, önerilen yöntemlerin güç kaybı açısından daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

**Tablo 5.15.** Önerilen yöntemlerle 3 DÜ tahsisinin, literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması.

Yıl	Yöntem	Bara no (konum)	$P_{DÜ}$ (kW)	$P_{Kayıp}$ (kW)	$P_{Şebeke}$ (kW)	Toplam $P_{DÜ}$ (kW)	$P_{Yük}$ (kW)	$V_{min}$ (pu)
2021	EDM + En Dik İniş [74]	820*	159,3					
		890	464,5	18,45	378,2	1428,9	1788,7	0,9825
		844	805,1					
2023	GA	820*	120,9					
		890	437,23	18,03	388,99	1417,15	1788,1	0,9761
		844	859,04					
2023	PSO	822*	108,21					
		890	446,46	17,92	390,99	1415,16	1788,2	0,977
		844	861,47					
2023	GWO	890	449,46					
		844	841,59	18,04	387,28	1419,33	1788,6	0,9784
		820*	128,26					
2023	GWOCS	890	437,24					
		844	849,19	18,11	387,57	1418,14	1787,6	0,9766
		820*	131,7					
2023	AGWOCS	890	435,85					
		842	880,23	18,1	393,12	1413,46	1788,5	0,9747
		822*	97,38					

\* 820,822 baraları tek fazlıdır ve güç “A” fazına enjekte edilir

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Artan elektrik talebi ve sürdürülebilir elektrik üretimine duyulan ihtiyaç, DÜ sistemlerinin geliştirilmesine neden olmuştur. DÜ'lerin dağıtım şebekesine yerleştirilmesi, dağıtım sistem kayıplarını önemli ölçüde azaltır ve gerilim regülasyonunu, güç kalitesini ve güvenilirliğini artırır. Bu teknolojilerin elektrik güç sistemine uygun şekilde yerleştirilmemesi, dağıtım şebeke kayıplarını artırarak şebekenin istikrarını de bozabilmektedir. DÜ boyutu artırıldığında toplam sistem kaybı belirli bir noktaya kadar azalacaktır, ancak, DÜ boyutu bu noktadan sonra artırılırsa kayıp tekrardan artacaktır. Bu nokta sistemde yerleştirebilecek optimal DÜ boyutunu temsil etmektedir.

Bu tez çalışmasında üç fazlı dengesiz dağıtım şebekesinde DÜ ünitelerinin konumlarının ve boyutlarının tahsis edilmesi amaçlanarak verimli optimizasyon algoritmaları önerilmiştir. Bu tezde, DÜ ünitelerin optimal konumunu ve boyutunu bulmak için GA, GWOCS, PSO, AGWOCS ve GWO algoritmaları kullanılmıştır.

Dağıtım sistemlerinin dengesiz yapısı nedeniyle benzetimlerde üç fazlı dengesiz olan IEEE 34 baralı test sistemine kullanılmıştır. Önerilen algoritmaların etkinliği IEEE 34 baralı test sistemi üzerinde test edilmiştir. Üç fazlı dengesiz güç akışının çözümü için açık kaynak kodlu olan OpenDSS yazılımı kullanılmıştır. DÜ'lerin dağıtım sistemine yerleştirilmesi için optimizasyon algoritmaları MATLAB'da geliştirilmiştir. Ayrıca IEEE 34 dağıtım test sistemindeki yükler gerçeğe yakın olması için gerilime bağlı yük modeli olan ZIP yük modeli olarak modellenmiştir. Doğru sonuçlar elde etmek için ticari, konutsal ve endüstriyel tüketicilerin ZIP katsayıları kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında altı senaryo ele alınmıştır. Farklı senaryolarda yapılan DÜ yerleşimi için karşılaştırmalı benzetimler gerçekleştirilmiştir. Birim güç faktöründe çalışan ve optimal güç faktörde çalışan DÜ kullanılarak gerilim regülatörünün bulunduğu ve bulunmadığı durumlar için DÜ yerleşimi yapılmıştır.

Sonuçlar, önerilen yöntemlerinin sağlamlığı ve verimliliği nedeniyle optimum DÜ konumunu ve boyutu değerlendirmede diğer mevcut çalışmalara karşılaştırıldığında

aktif güç kaybı azaltma açısından daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Ayrıca, DÜ'lerin reaktif güç kapasitesinin kullanılmasıyla güç kaybındaki azalmanın ve gerilim profilleri iyileştirmelerinin daha fazla arttığı gösterilmiştir. Birim güç faktöründe ve optimal güç faktöründe çalışan DÜ durumlarındaki sonuçları karşılaştırıldığında, DÜ'nün optimum güç faktöründe çalıştırılmasıyla en düşük aktif güç kaybı elde edilmiştir. Senaryo 6'da GWO algoritması ile optimal güç faktöründe çalışan 3 adet DÜ'nün optimal konumları, boyutları ve güç faktörleri elde edilerek, temel duruma kıyasla aktif güç kaybında %98,63 oranı ile en yüksek kayıp azaltımı görülmüştür. Sonuç olarak, DÜ yerleştirmede birim güç faktöründe çalışan DÜ yerine optimal güç faktöründe çalışan DÜ ile yapıldığında, aktif güç kaybının daha fazla miktarda azaldığı tespit edilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, optimum şekilde yerleştirilen ve boyutlandırılan DÜ'lerin yalnızca güç kaybını azaltmadığını, aynı zamanda sistemin gerilim profilini ve kararlılığını da iyileştirdiğini göstermektedir. DÜ'lerin dağıtım şebekelerine yerleştirmesinde DÜ sistemlerinin dağıtım şebekelerine yerleştirilmesinde DÜ konumu, boyutu ve güç faktörünün önemli olduğu ve doğru yerleştirildiğinde gerilim profilinin iyileştirilmesi ile birlikte şebekenin kayıplarını ve dolayısıyla karbon emisyonlarını azalttığı görülmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] BP, “BP Statistical Review of World Energy 2022,( 71st edition),” *Bp*, pp. 1–60, 2022, [Online]. <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf/> adresinden 23 Şubat 2023 tarihinde alınmıştır.
- [2] A. . Friedemann, *Life after Fossil Fuels: A Reality Check on Alternative Energy*. Springer International Publishing: London, UK, 2021.
- [3] B. Pillot, M. Muselli, P. Poggi, and J. B. Dias, “Historical trends in global energy policy and renewable power system issues in Sub-Saharan Africa: The case of solar PV,” *Energy Policy*, vol. 127, no. October 2018, pp. 113–124, 2019, doi: 10.1016/j.enpol.2018.11.049.
- [4] F. Dong, Y. Li, Y. Gao, J. Zhu, C. Qin, and X. Zhang, “Energy transition and carbon neutrality: Exploring the non-linear impact of renewable energy development on carbon emission efficiency in developed countries,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 177, no. June 2021, p. 106002, 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.106002.
- [5] A. G. Dagnachew, P. L. Lucas, A. F. Hof, D. E. H. J. Gernaat, H. S. de Boer, and D. P. van Vuuren, “The role of decentralized systems in providing universal electricity access in Sub-Saharan Africa – A model-based approach,” *Energy*, vol. 139, pp. 184–195, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.07.144.
- [6] “World electricity generation by share in 2021.” <https://www.worldenergydata.org/world-electricity-generation/> adresinden 04 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- [7] D. Infield and L. Freris, *Renewable energy in power systems*, 2008th ed. John Wiley & Sons Ltd, 2012.
- [8] M. J. B. Kabeyi and O. A. Olanrewaju, “Sustainable Energy Transition for Renewable and Low Carbon Grid Electricity Generation and Supply,” *Front. Energy Res.*, vol. 9, no. March, pp. 1–45, 2022, doi: 10.3389/fenrg.2021.743114.
- [9] P. del Río and L. Janeiro, “Overcapacity as a Barrier to Renewable Energy Deployment: The Spanish Case,” *J. Energy*, vol. 2016, pp. 1–10, 2016, doi: 10.1155/2016/8510527.
- [10] K. Hansen, C. Breyer, and H. Lund, “Status and perspectives on 100% renewable energy systems,” *Energy*, vol. 175, pp. 471–480, 2019, doi: 10.1016/j.energy.2019.03.092.
- [11] International Energy Agency, “World Energy Outlook 2017,” 2017, doi: <https://doi.org/10.1787/weo-2017-en>.

- [12] Wikipedia, “General layout of electricity networks.”. [https://en.wikipedia.org/wiki/Electric\\_power\\_distribution/](https://en.wikipedia.org/wiki/Electric_power_distribution/) adresinden 10 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- [13] J. Casazza and F. Delea, *Understanding Electric Power Systems*. 2003. doi: 10.1002/0471667854.
- [14] L. Freris and D. Infield, *Renewable Energy in Power Systems*. WILEY, 2020.
- [15] M. Warmick and M. Hoffman, “Electricity Distribution System Baseline Report for DOE Quadrennial Energy Review,” no. PNNL-25187, 2016.
- [16] D. D. Cherry, “OPTIMAL PLACEMENT OF DISTRIBUTED GENERATION ON A POWER SYSTEM USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION,” Mississippi State University, 2012.
- [17] F. J. Zarco-Soto, P. J. Zarco-Periñán, and J. L. Martínez-Ramos, “Centralized control of distribution networks with high penetration of renewable energies,” *Energies*, vol. 14, no. 14, 2021, doi: 10.3390/en14144283.
- [18] J. S. Bhadoriya and A. R. Gupta, “A novel transient search optimization for optimal allocation of multiple distributed generator in the radial electrical distribution network,” *Int. J. Emerg. Electr. Power Syst.*, vol. 23, no. 1, pp. 23–45, 2022, doi: 10.1515/ijeeps-2021-0001.
- [19] S. S. Parihar, “Optimal allocation of renewable DGs in a radial distribution system based on new voltage stability index,” no. August 2019, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1002/2050-7038.12295.
- [20] M. AlMuhaini, *Impact of Distributed Generation Integration on the Reliability of Power Distribution Systems*. Elsevier Inc., 2017. doi: 10.1016/B978-0-12-804208-3.00010-8.
- [21] N. S. Rau and Y. H. Wan, “Optimum Location of Resources in Distributed Planning,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 9, no. 4, 1994, doi: 10.1109/59.331463.
- [22] T. Gözel and M. H. Hocaoglu, “An analytical method for the sizing and siting of distributed generators in radial systems,” vol. 79, pp. 912–918, 2009, doi: 10.1016/j.epsr.2008.12.007.
- [23] P. V. Prasad and S. Satyanarayana, “A Novel Method for Optimal Distributed Generator Placement in Radial Distribution Systems,” *Distrib. Gener. Altern. Energy J.*, vol. 26, no. 1, pp. 7–19, 2011, doi: 10.1080/15453669.2011.10388608.
- [24] V. V. S. N. Murty and A. Kumar, “Optimal placement of DG in radial distribution systems based on new voltage stability index under load growth,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 69, pp. 246–256, 2015, doi: 10.1016/j.ijepes.2014.12.080.
- [25] S. Ganguly and D. Samajpati, “Distributed generation allocation on radial distribution networks under uncertainties of load and generation using genetic algorithm,” *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 6, no. 3, pp. 688–697, 2015, doi: 10.1109/TSTE.2015.2406915.

- [26] R. SANJAY, T. JAYABARATHI, T. RAGHUNATHAN, V. RAMESH, and A. N. MITHULANANTHAN, "Optimal Allocation of Distributed Generation Using Hybrid Grey Wolf Optimizer," *Inst. Electr. Electron. Eng.*, 2017, doi: 10.1109/ACCESS.2017.2726586.
- [27] A. Uniyal and A. Kumar, "Comparison of optimal DG allocation based on sensitivity based and optimization based approach," *1st IEEE Int. Conf. Power Electron. Intell. Control Energy Syst. ICPEICES 2016*, 2017, doi: 10.1109/ICPEICES.2016.7853096.
- [28] A. Selim, S. Kamel, and F. Jurado, "Efficient optimization technique for multiple DG allocation in distribution networks," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 86, p. 105938, 2020, doi: 10.1016/j.asoc.2019.105938.
- [29] MATLAB, "The MathWorks, Inc." 2021.
- [30] R. C. Dugan, "The Open Distribution System Simulator ( OpenDSS )," *Electr. Power Res. Institute, Inc.*, no. November, pp. 1–177, 2012.
- [31] T. D. Pham, T. T. Nguyen, and L. C. Kien, "Optimal Placement of Photovoltaic Distributed Generation Units in Radial Unbalanced Distribution Systems Using MATLAB and OpenDSS-Based Cosimulation and a Proposed Metaheuristic Algorithm," *Int. Trans. Electr. Energy Syst.*, vol. 2022, 2022, doi: 10.1155/2022/1446479.
- [32] M. Kazeminejad, M. Karamifard, and S. Khanabdal. "Optimal Placement based on Distributed Generation to Improvement of Voltage Stability in Multi-Phase Distribution Systems" *Journal of Applied Dynamic Systems and Control* 5, no. 1 (2022): 56-63.
- [33] M. Gómez-González, F. J. Ruiz-Rodríguez, and F. Jurado, "Metaheuristic and probabilistic techniques for optimal allocation and size of biomass distributed generation in unbalanced radial systems," *IET Renew. Power Gener.*, vol. 9, no. 6, pp. 653–659, 2015, doi: 10.1049/iet-rpg.2014.0336.
- [34] M. Pushkarna, H. Ashfaq, R. Singh, and R. Kumar, "A New Analytical Method for Optimal Sizing and Sitting of Type-IV DG in an Unbalanced Distribution System Considering Power Loss Minimization," *J. Electr. Eng. Technol.*, vol. 17, no. 5, pp. 2579–2590, 2022, doi: 10.1007/s42835-022-01064-9.
- [35] K. M. S. Alzaidi, O. Bayat, and O. N. Uçan, "Multiple DGS for reducing total power losses in radial distribution systems using hybrid WOA-SSA algorithm," *Int. J. Photoenergy*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/2426538.
- [36] S. Roy Ghatak, S. Sannigrahi, and P. Acharjee, "Multiobjective Framework for Optimal Integration of Solar Energy Source in Three-Phase Unbalanced Distribution Network," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 56, no. 3, pp. 3068–3078, 2020, doi: 10.1109/TIA.2020.2968046.
- [37] M. M. Othman, W. El-Khattam, Y. G. Hegazy, and A. Y. Abdelaziz, "Optimal placement and sizing of distributed generators in unbalanced distribution systems using supervised big bang-big crunch method," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 2, pp. 911–919, 2015, doi: 10.1109/TPWRS.2014.2331364.

- [38] F. M. A. and O. P. Umar, "Optimal location, size and type of DGs to reduce power losses and voltage deviation considering THD in radial unbalanced distribution systems," *IEEE Trans. Power Syst.*, pp. 577–582, 2016, doi: 10.1109/ISITIA.2016.7828724.
- [39] R. R. Swain, P. Samal, C. Jena, P. Sinha, S. C. Swain, and S. Mishra, "Optimal allocation of Distributed Generation in Unbalanced Radial Distribution Systems by using Exhaustive Search Technique," in *2022 International Conference for Advancement in Technology, ICONAT 2022*, 2022, pp. 1–5. doi: 10.1109/ICONAT53423.2022.9726003.
- [40] S. Patnaik, S. Ray, K. Kasturi, and M. R. Nayak, "Optimal allocation of DGs for non-linear objective function modeling in a three-phase unbalanced distribution system using crow search optimization algorithm," *J. Interdiscip. Math.*, vol. 25, no. 3, pp. 681–701, 2022, doi: 10.1080/09720502.2021.2012894.
- [41] A. Routray, K. D. Mistry, and S. R. Arya, "Implementation of Black Widow Optimization Algorithm for Loss Minimization in an Unbalanced Radial Distribution System," *Renew. Energy Towar. Smart Grid. Lect. Notes Electr. Eng.*, vol. 823, 2022, doi: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-7472-3\\_28](https://doi.org/10.1007/978-981-16-7472-3_28).
- [42] C. V Suresh, M. S. Giridhar, C. N. S. Kalyan, and K. P. Raju, "Optimal renewable resource for enhanced performance of unbalanced radial distribution systems," *Microsyst. Technol.*, vol. 2, no. 2020, 2023, doi: 10.1007/s00542-022-05409-2.
- [43] A. R. Gupta and A. Kumar, "Deployment of Distributed Generation with D-FACTS in Distribution System: A Comprehensive Analytical Review," *IETE J. Res.*, vol. 68, no. 2, pp. 1195–1212, 2022, doi: 10.1080/03772063.2019.1644206.
- [44] M. Diaz-Aguilo *et al.*, "Field-validated load model for the analysis of CVR in distribution secondary networks: Energy conservation," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 28, no. 4, pp. 2428–2436, 2013, doi: 10.1109/TPWRD.2013.2271095.
- [45] T. Funabashi, *Chapter 1 - INTRODUCTION*, vol. 11, no. 1. Elsevier Inc., 2016. doi: 10.1016/B978-0-12-803212-1/00001-5.
- [46] Patricio Salmerón Revuelta Salvador Pérez Litrán and J. P. Thomas, *Distributed generation*. Elsevier Inc., 2016. doi: 10.1201/b16747-16.
- [47] A. A. Bayod-Rújula, "Future development of the electricity systems with distributed generation," *Energy*, vol. 34, no. 3, pp. 377–383, 2009, doi: 10.1016/j.energy.2008.12.008.
- [48] T. Ackermann, G. Andersson, and L. Söder, "Distributed generation: A definition," *Electr. Power Syst. Res.*, vol. 57, no. 3, pp. 195–204, 2001, doi: 10.1016/S0378-7796(01)00101-8.
- [49] P. D. P. Reddy, V. C. V. Reddy, and T. G. Manohar, "Application of flower pollination algorithm for optimal placement and sizing of distributed generation in Distribution systems," *J. Electr. Syst. Inf. Technol.*, vol. 3, no. 1, pp. 14–22, 2016, doi: 10.1016/j.jesit.2015.10.002.

- [50] V. H. Méndez *et al.*, “Impact of distributed generation on distribution investment deferral,” *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 28, no. 4, pp. 244–252, 2006, doi: 10.1016/j.ijepes.2005.11.016.
- [51] E. Liu and J. Bebic, “Distribution system voltage performance analysis for high-penetration photovoltaics,” *Renew. Energy Grid Integr. Tech. Perform. Requir.*, no. November, pp. 107–138, 2011.
- [52] A. McEvoy, T. Markvart, and L. Castaner, *Practical Handbook of Photovoltaics: Fundamentals and applications*. 2011.
- [53] M. M. Fouad, L. A. Shihata, and E. S. I. Morgan, “An integrated review of factors influencing the performance of photovoltaic panels,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 80, no. June. Elsevier Ltd, pp. 1499–1511, 2017. doi: 10.1016/j.rser.2017.05.141.
- [54] S. Feron, R. R. Cordero, A. Damiani, and R. B. Jackson, “Climate change extremes and photovoltaic power output,” *Nat. Sustain.*, vol. 4, no. 3, pp. 270–276, 2021, doi: 10.1038/s41893-020-00643-w.
- [55] M. Šuri, T. Cebecauer, and A. Skoczek, “Cloud Cover Impact on Photovoltaic Power Production in South Africa,” *In Southern African Solar Energy Conference SASEC2014, vol. 1, no. 2, p. 8. 2014.*
- [56] G. W. Chang, Y. H. Chen, L. Y. Hsu, Y. Y. Chen, Y. R. Chang, and Y. D. Lee, “Study of impact on high PV-penetrated feeder voltage due to moving cloud shadows,” in *Proceedings - 2016 IEEE International Symposium on Computer, Consumer and Control, IS3C 2016*, 2016, pp. 1067–1070. doi: 10.1109/IS3C.2016.269.
- [57] S. Mohanty, “Impact Assessment of PV Penetration on Unbalanced Distribution network with Dynamic load condition,” pp. 1–6, 2022.
- [58] D. T. Cotfas, P. A. Cotfas, and O. M. Machidon, “Study of temperature coefficients for parameters of photovoltaic cells,” *Int. J. Photoenergy*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/5945602.
- [59] W. H. Kersting, “Radial distribution test feeders IEEE distribution planning working group report,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 6, no. 3, pp. 975–985, 1991, doi: 10.1109/59.119237.
- [60] S. Emiroglu, Y. Uyaroglu, and G. Ozdemir, “Distributed reactive power control based conservation voltage reduction in active distribution systems,” *Adv. Electr. Comput. Eng.*, vol. 17, no. 4, pp. 99–106, 2017, doi: 10.4316/AECE.2017.04012.
- [61] P. De la Hoz, E. Jimenez, I. Oliveros, A. Silva, R. Castillo, and M. Pardo, “UniGRID: Photovoltaic Study Case for the Universidad del Norte Renewable Energies Laboratory,” *2018 15th Int. Conf. Electr. Eng. Comput. Sci. Autom. Control*, pp. 1–6, 2018, doi: 10.1109/ICEEE.2018.8533985.
- [62] T. Ackermann and V. Knyazkin, “Interaction between distributed generation and the distribution network: Operation aspects,” in *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, 2002, vol. 2, no. ASIA PACIFIC, pp. 1357–1362. doi: 10.1109/tdc.2002.1177677.

- [63] E. J. Coster, J. M. A. Myrzik, B. Kruimer, and W. L. Kling, "Integration issues of distributed generation in distribution grids," *Proc. IEEE*, vol. 99, no. 1, pp. 28–39, 2011, doi: 10.1109/JPROC.2010.2052776.
- [64] N. Mahmud and A. Zahedi, "Review of control strategies for voltage regulation of the smart distribution network with high penetration of renewable distributed generation," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 64, pp. 582–595, 2016, doi: 10.1016/j.rser.2016.06.030.
- [65] K. Kamdar, "Optimal capacity and location assessment of natural gas fired distributed generation in residential areas," ARIZONA STATE UNIVERSITY, 2014. doi: 10.1109/PSC.2014.6808123.
- [66] D. Lukman, "Loss minimization in the modified algorithm of load flow analysis in industrial power system," The University of New South Wales, 2002.
- [67] N. Acharya, P. Mahat, and N. Mithulananthan, "An analytical approach for DG allocation in primary distribution network," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 28, no. 10, pp. 669–678, 2006, doi: 10.1016/j.ijepes.2006.02.013.
- [68] V. Ramachandran, "Modeling of Utility Distribution Feeder in OpenDSS with Steady State Impact Analysis of Distributed Generation," West Virginia University, 2011.
- [69] M. T. Hagh, T. Ahamadzadeh, K. M. Muttaqi, and D. Sutanto, "Load flow analysis of radial and weakly meshed distribution systems including distributed generations," in *2014 Australasian Universities Power Engineering Conference, AUPEC 2014 - Proceedings*, 2014, no. April 2016. doi: 10.1109/AUPEC.2014.6966606.
- [70] J. A. Martinez and J. Mahseredjian, "Load flow calculations in distribution systems with distributed resources. A review," in *IEEE Power and Energy Society General Meeting*, 2011, pp. 1–8. doi: 10.1109/PES.2011.6039172.
- [71] W. C. Wu and B. M. Zhang, "A three-phase power flow algorithm for distribution system power flow based on loop-analysis method," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 30, no. 1, pp. 8–15, 2008, doi: 10.1016/j.ijepes.2007.06.005.
- [72] "Load representation for dynamic performance analysis (of power systems)," in *IEEE Transactions on Power Systems*, vol. 8, no. 2, pp. 472–482, 1993, doi: 10.1109/59.260837.
- [73] J. V. Milanović, K. Yamashita, S. Martínez Villanueva, S. Ž. Djokić, and L. M. Korunović, "International industry practice on power system load modeling," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 28, no. 3, pp. 3038–3046, 2013, doi: 10.1109/TPWRS.2012.2231969.
- [74] F. C. R. Coelho, I. C. da Silva Junior, B. H. Dias, W. Peres, V. H. Ferreira, and A. L. M. Marcato, "Optimal distributed generation allocation in unbalanced radial distribution networks via empirical discrete metaheuristic and steepest descent method," *Electr. Eng.*, vol. 103, no. 1, pp. 633–646, 2021, doi: 10.1007/s00202-020-01106-3.

- [75] S. Behera, S. Sahoo, and B. B. Pati, "A review on optimization algorithms and application to wind energy integration to grid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 48. Elsevier, pp. 214–227, 2015. doi: 10.1016/j.rser.2015.03.066.
- [76] J. Kennedy and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization," *Proc. IEEE Int. Conf. Neural Networks*, vol. 4, pp. 1942–1948, 1995, doi: <http://dx.doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>.
- [77] W. Qiao, G. K. Venayagamoorthy, and R. G. Harley, "Design of optimal PI controllers for doubly fed induction generators driven by wind turbines using particle swarm optimization," *IEEE Int. Conf. Neural Networks - Conf. Proc.*, pp. 1982–1987, 2006, doi: 10.1109/ijcnn.2006.246944.
- [78] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*. 1992.
- [79] S. Mirjalili, S. M. Mirjalili, and A. Lewis, "Grey Wolf Optimizer," *Adv. Eng. Softw.*, vol. 69, pp. 46–61, 2014, doi: 10.1016/j.advengsoft.2013.12.007.
- [80] X. S. Yang and S. Deb, "Engineering optimisation by cuckoo search," *Int. J. Math. Model. Numer. Optim.*, vol. 1, no. 4, pp. 330–343, 2010, doi: 10.1504/IJMMNO.2010.035430.
- [81] A. Gupta, "Hybrid Grey Wolf and Cuckoo Search Optimization Algorithm," *MATLAB Central File Exchange*, 2023. [https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/69392-hybrid-grey-wolf-and-cuckoo-search-optimization-algorithm?s\\_tid=FX\\_rc1\\_behav/](https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/69392-hybrid-grey-wolf-and-cuckoo-search-optimization-algorithm?s_tid=FX_rc1_behav/) adresinden 24 Mart 2023 tarihinde alınmıştır.
- [82] M. H. Qais, H. M. Hasanien, and S. Alghuwainem, "Augmented grey wolf optimizer for grid-connected PMSG-based wind energy conversion systems," *Appl. Soft Comput. J.*, vol. 69, pp. 504–515, 2018, doi: 10.1016/j.asoc.2018.05.006.
- [83] S. Sharma, R. Kapoor, and S. Dhiman, "A Novel Hybrid Metaheuristic Based on Augmented Grey Wolf Optimizer and Cuckoo Search for Global Optimization," *ICSCCC 2021 - Int. Conf. Secur. Cyber Comput. Commun.*, pp. 376–381, 2021, doi: 10.1109/ICSCCC51823.2021.9478142.



## EKLER

### EK A.

Bu bölümde benzetimlerde kullanılan IEEE 34 Baralı test sisteminin gerekli parametreleri verilmiştir.

Tablo Ek-1.1. Gerilim regülatörlerinin yeri ve LDC parametreleri

<b>Regülatör Verileri</b>			
<b>Regülatör ID:</b>	<b>1</b>		
Hat Parçası:	814 - 850		
Yer:	814		
Fazlar:	A - B -C		
Bağlantı:	3-Ph,LG		
İzlenen Fazlar:	A-B-C		
Band genişliği:	2.0 volts		
PT Oranı:	120		
Primer CT Oranı:	100		
Kompanzatör ayarları:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Ayarı:	2.7	2.7	2.7
X - Ayarı:	1.6	1.6	1.6
Gerilim Seviyesi:	122	122	122
<b>Regülatör ID: 2</b>			
Hat Parçası:	852 - 832		
Yer:	852		
Fazlar:	A - B -C		
Bağlantı:	3-Ph,LG		
İzlenen Fazlar:	A-B-C		
Band genişliği:	2.0 volts		
PT Oranı:	120		
Primer CT Oranı:	100		
Kompanzatör ayarları:	Ph-A	Ph-B	Ph-C
R - Ayarı:	2.5	2.5	2.5
X - Ayarı:	1.5	1.5	1.5
Gerilim Seviyesi:	124	124	124

Tablo Ek-1.2. Transformatör verileri

<b>Transformatör Verileri</b>					
	kVA	kV-high	kV-low	R - %	X - %
Trafo Merkezi:	2500	69 - D	24.9 -Gr. W	1	8
XFM -1	500	24.9 - Gr.W	4.16 - Gr. W	1.9	4.08

Tablo Ek-1.3. Noktasal Yükler

Bara	Ph-1 kW	Ph-1 kVAr	Ph-2 kW	Ph-2 kVAr	Ph-3 kW	Ph-4 kVAr
860	20	16	20	16	20	16
840	9	7	9	7	9	7
844	135	105	135	105	135	105
848	20	16	20	16	20	16
890	100	50	100	50	100	50
830	10	5	10	5	25	10
<b>Toplam</b>	<b>344</b>	<b>224</b>	<b>344</b>	<b>224</b>	<b>359</b>	<b>229</b>

Tablo Ek-1.4. Yayılı/Dağıtk Yükler

Bara A	Bara B	Ph-1 kW	Ph-1 kVAr	Ph-2 kW	Ph-2 kVAr	Ph-3 kW	Ph-3 kVAr
802	806	0	0	30	15	25	14
808	810	0	0	16	8	0	0
818	820	34	17	0	0	0	0
820	822	135	70	0	0	0	0
816	824	0	0	5	2	0	0
824	826	0	0	40	20	0	0
824	828	0	0	0	0	4	2
828	830	7	3	0	0	0	0
854	856	0	0	4	2	0	0
832	858	7	3	2	1	6	3
858	864	2	1	0	0	0	0
858	834	4	2	15	8	13	7
834	860	16	8	20	10	110	55
860	836	30	15	10	6	42	22
836	840	18	9	22	11	0	0
862	838	0	0	28	14	0	0
842	844	9	5	0	0	0	0
844	846	0	0	25	12	20	11
846	848	0	0	23	11	0	0
<b>Toplam</b>		<b>262</b>	<b>133</b>	<b>240</b>	<b>120</b>	<b>220</b>	<b>114</b>

## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Salman Ahmed NUR

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, 2020.

### MESLEKİ DENEYİM :

- Şubat 2020 – Haziran 2020 arasında Sakarya Su ve Kanalizasyon İdaresi (SASKİ) stajyer mühendis olarak çalıştı.
- Temmuz 2017 – Eylül 2017 arasında GRUPEL ELEKTRİK Stajyer mühendis olarak çalıştı.

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- S. A. Nur and S. Emiroğlu. 2023. "Analysis of photovoltaic system in unbalanced distribution systems considering ambient temperature and inverter efficiency," *Turkish Journal of Electrical Power and Energy Systems*. <https://doi.org/10.5152/tepes.2023.23003>