

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN PSO KULLANILARAK YENİDEN
YAPILANDIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Aslı ÇAKIR

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2019

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN PSO KULLANILARAK YENİDEN
YAPILANDIRILMASI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Aslı ÇAKIR
(504161006)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr .Üy. H. Lale ZEYNELGİL

HAZİRAN 2019

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504161006 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Aslı ÇAKIR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN PSO KULLANILARAK YENİDEN YAPILANDIRILMASI” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr .Üy. H. Lale ZEYNELGİL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

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

Doç. Dr. F. Okan PEKİNER
Yıldız Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **3 Mayıs 2019**
Savunma Tarihi : **11 Haziran 2019**





Aileme,



ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana desteğini esirgemeyen sayın hocam Dr. Öğr. Üy. H. Lale ZEYNELGİL'e, lisansüstü çalışmalarında bilgilerini benimle paylaşan İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü öğretim üyelerine ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

Eğitimimle ilgili atmak istediğim adımlarda ellerinden geleni yapan, ayaklarımın üstünde durmamı sağlayan ve hep yanımda olan aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2019

Aslı ÇAKIR
(Elektrik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
ÖZET	xvii
SUMMARY	xix
1. GİRİŞ	1
2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ	7
2.1 Şebeke Yapıları	7
2.1.1 Radyal (Dallı) şebekeler.....	7
2.1.2 Ring (Halka) şebekeler.....	8
2.1.3 Ağ (Gözlü) şebekeler	9
2.1.4 Enterkonnekte şebekeler	10
2.2 Dağıtım Şebekelerinde Dağıtık Üretim ve Kapasitörler	11
2.2.1 Dağıtık üretim	11
2.2.2 Kapasitör grupları	12
3. YENİDEN YAPILANDIRMA PROBLEMİ.	15
3.1 Problemin Tanım ve Amacı	15
3.2 Yeniden Yapılandırma Probleminin Yapısal Modeli	17
4. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO)	19
4.1 PSO Algoritması ve Formülasyonu.....	19
4.2 PSO Algoritmasının Yeniden Yapılandırma Problemine Uyarlanması	23
5. ÖRNEK UYGULAMALAR.....	27
5.1 IEEE 33 Baralı Radyal Dağıtım Şebekesi	27
5.1.1 Yeniden yapılandırma uygulaması.....	27
5.1.2 DÜ üniteleri bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması	31
5.1.3 DÜ ünitesi ve kapasitör grubu bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması	34
5.2 IEEE 69 Baralı Radyal Dağıtım Şebekesi	37
5.2.1 Yeniden yapılandırma uygulaması.....	37
5.2.2 DÜ üniteleri yerleştirilen şebekenin yeniden yapılandırılması	41
5.2.3 DÜ üniteleri ve kapasitör grupları yerleştirilen şebekenin yeniden yapılandırılması.....	45
6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	49
KAYNAKLAR	51
EKLER	55
ÖZGEÇMİŞ.....	59



KISALTMALAR

DÜ	: Dağıtık Üretim
DÜS	: Dağıtık Üretim Sistemleri
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
GA	: Genetik Algoritma
SA	: Benzetilmiş Tavlama
TLBO	: Öğretme-Öğrenme Tabanlı Optimizasyon
FWA	: Havai Fişek Algoritması
SFLA	: Kurbağa Sıçrama Algoritması
DABC	: Ayrık Bir Yapay Arı Kolonisi
ABC	: Yapay Arı Kolonisi
ACO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
HSA	: Harmoni Arama Algoritmasına
PABC	: Parçacık Yapay Arı Kolonisi Algoritması
MOPSO	: Çok Amaçlı Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
AACO	: Uyarlanmış Karınca Kolonisi Optimizasyonu
HBB-BC	: Hibrit Büyük Patlama-Büyük Çöküş Algoritması
MA	: Memetik Algoritma
MPGSA	: Modifiye Bitki Büyüme Simülasyon Algoritması
CSA	: Guguk Kuşu Arama Algoritması
CIGRE	: Büyük Güç Sistemleri Uluslararası Konseyi
MHBMO	: Modifiye Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu Algoritması
MATLAB	: Matrix Laboratory
kVA	: Kilo Volt-Amper
kW	: Kilo Watt
kVAr	: Kilo Volt-Amper Reaktif



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : 33 baralı test şebekesi için sonuçlar.	29
Çizelge 5.2 : 33 baralı test şebekesi için literatür karşılaştırılması.....	30
Çizelge 5.3 : 33 baralı test şebekesi için DÜ özellikleri.....	32
Çizelge 5.4 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki PSO sonuçları.	32
Çizelge 5.5 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki yöntemlerin karşılaştırılması.	34
Çizelge 5.6 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapasitörlü durumdaki PSO sonuçları.	35
Çizelge 5.7 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapasitörlü durumdaki yöntemlerin karşılatırılması..	36
Çizelge 5.8 : 69 baralı test şebekesi için PSO sonuçları.	38
Çizelge 5.9 : 69 baralı test şebekesi için literatür karşılaştırması.	40
Çizelge 5.10 : 69 baralı test şebekesi için DÜ özellikleri.	41
Çizelge 5.11 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki PSO sonuçları.	43
Çizelge 5.12 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki yöntemlerin karşılaştırılması.	45
Çizelge 5.13 : DÜ ve kapasitörlerin özellikleri.	46
Çizelge 5.14 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapsitörlü durumdaki PSO sonuçları.	47
Çizelge 5.15 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapasitörlü durumdaki yöntemlerin karşılaştırılması.....	47
Çizelge A.1 : 33 baralı radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.	56
Çizelge A.2 : 69 baralı radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.	57



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tek taraftan beslenen radyal şebeke yapısı..	8
Şekil 2.2 : Ring (Halka) şebeke yapısı.....	9
Şekil 2.3 : Ağ (Gözlü) şebeke yapısı.	9
Şekil 3.1 : Altıncı bölümde örnek şekil.	16
Şekil 4.1 : PSO algorimasında parçacıkların hareketi [40]......	20
Şekil 4.2 : PSO akış diyagramı.	22
Şekil 5.1 : 33 baralı test şebekesi.....	28
Şekil 5.2 : 33 baralı test şebekesinde yeniden yapılandırma sonrası gerilim profili.	30
Şekil 5.3 : 33 baralı test şebekesine DÜ ünitelerinin yerleştirilmiş hali.....	32
Şekil 5.4 : 33 baralı test şebekesinde DÜ ünitelerinin bağlandığı durumlardaki gerilim grafiği.	33
Şekil 5.5 : 33 baralı test şebekesinde DÜ ünitesinin ve kapasitörün bağlandığı durumların gerilim grafiği.	36
Şekil 5.6 : Temel durumdaki 69 baralı radyal test şebekesi.	38
Şekil 5.7 : Yeniden yapılandırma sonrası 69 baralı radyal test şebekesi.....	39
Şekil 5.8 : 69 baralı test şebekesinde yeniden yapılandırma sonrası gerilim profili.	40
Şekil 5.9 : 69 baralı test şebekesine DÜ ünitelerinin yerleştirilmiş hali.....	42
Şekil 5.10 : DÜ ünitesi bağlanmış 69 baralı şebekesi (yeniden yapılandırma sonrası).....	43
Şekil 5.11 : DÜ ünitesi bağlanmış 69 baralı şebekesinin gerilim profili.....	44
Şekil 5.12 : DÜ ünitesi ve kapasitör bağlanmış 69 baralı şebekesinin gerilim profili.	47



DAĞITIM ŞEBEKELERİNİN PSO KULLANILARAK YENİDEN YAPILANDIRILMASI

ÖZET

Dağıtım sisteminde genel olarak endüstriyel, ticari, konut ve aydınlatma yükleri bulunmaktadır. Şebekedeki trafolar ve hatlar günün pik saatlerinde ağır yüklenirken diğer saatlerde hafif yüklenir. Bu, şebekenin çalışma koşulları için zararlıdır ve yüksek oranda güç kayıplarına ve düşük gerilim profiline yol açar.

Şebekedeki bu değişken durumdan en az etkilenebilmek için gün içinde yüklerin optimal olarak dağıtılması önem taşır. Şebeke yeniden yapılandırılarak ağır yüklenmiş hatların yükleri, hafif yüklenmiş hatlara aktarılır. Bunun sonucunda, şebekedeki kayıplarda azalma yaşanırken baraların gerilim seviyesi de yükseltilmiş olur. Her yük enerjilendirilmek koşuluyla, şebekede bulunan anahtarların açık/kapalı durumunun değiştirilmesiyle şebeke yeniden yapılandırılmış olur.

Güç sistemlerinde kullanılan optimizasyon türleri, bir objektif fonksiyonun minimum ya da maksimum değerini bulmayı amaçlar. Gauss-Seidel yöntemi, Newton Raphson yöntemi gibi geleneksel yöntemler; doğrusal, sürekli ve diferansiyel özellikli amaç fonksiyonlarını çözmek için kullanılır. Doğrusal olmayan amaç fonksiyonlarını çözmek için, evrimsel algoritmalar ortaya atılmıştır. Evrimsel algoritmalar doğrusal olmayan problemlerin optimizasyonu için kullanılan rassal ve güçlü algoritmalarlardır. Bu evrimsel algoritmalar arasında, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) algoritması da şebekenin yeniden yapılandırılmasında sıklıkla kullanılan bir algoritma olmuştur.

Bu tez çalışmasında PSO algoritması ile şebeke yeniden yapılandırılmıştır. Algoritmanın amaç fonksiyonu şebekedeki aktif güç kaybının en düşük olduğu anahtar kombinasyonunu bulmaktır. Belirlenen kısıtlamalara uygun olarak bulunan yeni şebeke yapısına göre, şebekedeki kayıplar büyük oranda azaltılmış, şebekenin gerilim profili iyileştirilmiştir.

Tezde geliştirilen algoritma literatürde sıkça kullanılan iki test şebekesi üzerinde denenmiş, sonuçlar; algoritmanın yetkinliğinin kanıtlanması için, sunulan diğer çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucunda, geliştirilen algoritmanın diğer çalışmalara kıyasla daha iyi sonuçlar verdiği ve kayıpları daha çok azalttığı gözlemlenmiştir.

Sürekli artan enerji talebine karşı insanlar daha temiz enerji kaynaklarına yönelmeye başlamıştır. Fosil yakıtların yakın zamanda tükenebilecek olması ve çevreye verdiği zararlar bu olayı hızlandırmıştır. Son zamanlarda kullanımı artan dağıtık üretim tesislerinin şebekeye etkisini incelemek için, uygun baralara optimal boyutlarda dağıtık üretim üniteleri eklenmiş ve şebeke yeniden yapılandırılmıştır. Şebekede hem aktif hem de reaktif güç kaynaklarının etkisini gözlemlemek için şebekeye, dağıtık üretim ünitelerine ek olarak kapasitör grupları da eklenmiş, şebeke yeniden yapılandırılmıştır.



RECONSTRUCTION OF DISTRIBUTION NETWORKS USING PSO

SUMMARY

The distribution network generally includes industrial, commercial, residential and lighting loads. Transformers and feeders in the network are loaded with heavy loads during the peak hours of the day while other hours are lightly loaded. This is harmful to the operating conditions of the network, resulting in high power losses and a low voltage profile.

In order to be least affected by this variable situation in the network, it is important to distribute the loads optimally during the day. The network is reconfigured and the loads of heavily loaded lines are transferred to lightly loaded lines. As a result, the voltage level of the buses is increased while the losses in the network are reduced. The network is reconfigured by changing the on / off status of the switches in the network, provided that each load is energized.

The optimization types used in power systems aim to find the minimum or maximum value of an objective function. Conventional methods such as the Gauss-Seidel method and the Newton Raphson method are used to solve linear, continuous and differential-specific objective functions. Evolutionary algorithms have emerged to solve nonlinear objective functions. Evolutionary algorithms are random and powerful algorithms for the optimization of nonlinear problems. Particle swarm optimization (PSO) algorithm has also been used frequently in the reconstruction of the network among these evolutionary algorithms.

In this thesis, particle swarm optimization algorithm has been used in the network reconfiguration to minimize power losses and to improve the voltage profile in the distribution network.

Particle swarm optimization was first introduced by Kennedy and Eberhart as a new heuristic method. Algorithm is inspired by the social behaviors of flocks of birds and fish. Unlike many traditional techniques, it is a non-derivative algorithm. There are fewer parameters for editing than other competitive evolutionary algorithms, thus it is easy to implement and program. Good selection of parameters has a significant impact on the performance of the PSO algorithm.

In this thesis, the network was reconfigured with PSO algorithm. The objective function of the algorithm finds the switch combination with the lowest active power loss in the network. According to the new network topology in accordance with the determined constraints, the losses in the network have been greatly reduced and the voltage profile of the network has been improved.

The algorithm developed in the thesis was tested on two test networks frequently used in the literature, and the results were compared with other studies presented to prove the competence of the algorithm. As a result of the comparison, it was observed that the developed algorithm gave better results compared to other studies and decreased the losses more.

With increasing demand for power, the trend towards renewable energy sources such as solar, wind, biogas and fuel cells has begun and the energy produced from these sources has increased in recent years. Distributed generation (DG) is a new approach in the energy industry and there are many definitions of this concept. Some countries define distributed generation on the basis of voltage level, while others define DG based on the technology used (renewable, cogeneration) or location.

Distributed generation is generally close to consumption point; it is defined as the use of small, modular electricity generation as integrated or stand-alone. The International Council on Large Power Systems (CIGRE) workgroup defines DG as all production units with a maximum capacity of 50 to 100 MW, usually connected to the distribution network.

In addition to environmental benefits, DGs contribute to the implementation of competitive energy policies, diversification of energy resources, reduction of operating costs, postponement of network renewal, reduction of losses and transmission-distribution costs, and potential increase of service quality. DG reduces overloading of existing electrical equipment, thus, minimizes their maintenance costs and increases their service life. DGs improve the network's voltage profile and reduce the number of voltage regulators and capacitors required and minimize their maintenance costs. In addition, DGs are available in modular units that require less space for smaller manufacturers, shorter construction times, and lower capital costs.

In order to examine the effect of the recently used distributed generation on the grid, distributed generation with optimal sizes have been added to the appropriate buses and the network has been reconfigured. The results show that distributed generation is an effective way to minimize power losses and improve the voltage profile of the distribution network.

Capacitors are now generally used for compensation. The cost of the capacitors is much lower compared to DG. There are two types of capacitors; switched and fixed. Switched capacitors, though more expensive in terms of cost, have a more advantageous position in the future, considering the loads that can be added to the network. Thus, the switched capacitor stage is changed instead of adding a capacitor at a time.

Benefits provided by capacitors that are providing reactive power to the grid:

- Increase the voltage in the buses
- Reduce network losses
- Reduce the load on the lines
- Increase the power factor ($\cos\phi$) value

In order to observe the effect of both active and reactive power sources in the network, capacitor groups were added to the grid in addition to the distributed generation and the network was reconfigured.

The PSO algorithm developed for this thesis was applied to IEEE 33 and 69 bus radial network test systems to solve the problem of network reconfiguring. In order to observe the effects of increasingly distributed generation and capacitor groups, they are also placed in the most suitable buses.

In the thesis, MATLAB 2016a program is used for PSO algorithm and MATPOWER developed by Ray Zimmerman is used for power flow of distribution network.

As a result, the application results showed that network reconfiguration is an effective and widely used method to reduce power loss and improve the voltage profile. It has also been found that the optimally sized and placed distributed generation and capacitor groups, when used together in the network, reduce system losses more. In this study, three methods for reducing power losses have been combined and the results are truly encouraging.



1. GİRİŞ

Sürekli artan nüfus ve sanayileşmeye bağlı olarak günümüzdeki enerji ihtiyacı da bunlara paralel olarak artmaktadır. Günümüzde gelişmiş ülkelerde kişi başına düşen elektrik enerjisi tüketimi, o ülkelerin gelişmişlik seviyesini gösteren bir ölçüt olarak kabul edilmektedir.

Elektrik enerjisi depolama teknikleri güç elektroniği elemanlarının gelişmesi sayesinde günümüzde büyük bir ilerleme kaydederken, büyük kapasite değerlerine ulaşamaması ve çok maliyetli olması sebebiyle kullanımı yaygınlaşmamıştır. Bu yüzden günümüzde üretilen enerjinin hemen kullanıcılara iletilmesi ve dağıtılması gerekmektedir.

Kullanıcılara ulaşıncaya kadar elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtım süreçlerinden geçmektedir. Bu süreçlerden geçerken de enerji miktarında sisteme bağlı olarak kayıplar ve bozulmalar meydana gelmektedir. Enerjinin kalitesini belirleyen bu faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir [1]:

- Gerilim ve frekansın sabit olması
- Faz gerilim ve akımlarının dengeli olması
- Enerji sürekliliği
- Güç faktörünün ($\cos\phi$) 1'e yakın olması
- Harmoniklerin belirli sınırları aşmaması

Günümüzde enerji talebinin hızla artması nedeniyle araştırmacılar bir taraftan temiz enerji kaynaklarına yönelirken, diğer taraftan da var olan sistemin verimliliğini yükseltmek amacıyla çalışmalar yapmaktadır. Hem ekonomiklik hem de verimlilik açısından sistemde bulunan kayıpları azaltmak bu çalışmaların temel amacı haline gelmiştir.

Kentsel dağıtım sistemlerinde genel olarak enerji kayıpları satılan enerjinin %3-4'ü kadardır [2]. Daha geniş alanlara yayılma ihtiyacı nedeniyle, kırsal alanlardaki teknik kayıp bu değer iki katına çıkabilmektedir. Sistem kayıpları azaltılarak, tüketilmeyen enerji miktarı da azaltılıp maddi yönden de tasarruf sağlanmaktadır.

Dağıtım hattı kayıplarının çoğunluğu, birincil ve ikincil dağıtım hatları ve transformatörlerde meydana gelmektedir. New York eyaletinde 42 devreli bir EPRI(Electric Power Research Institute) çalışmasına göre, teknik kayıpların %54'ü transformatörlerden, % 38'i birincil dağıtım sisteminden ve geri kalanı da ikinci dağıtım sisteminden kaynaklanmıştır. İki tür teknik kayıp vardır. Bunların ilki transformatörlerin manyetik çekirdeklerinin yüklenmesinde meydana gelen çekirdek kayıplarıdır. Akım kareleri çarpı direnç (I^2R) ile ölçeklenen direnç kayıpları, enerji hatlarındaki veya trafo içindeki direnç nedeniyle meydana gelir.

Kayıpları azaltmak için kullanılan bazı yöntemler aşağıda listelenmiştir [3]:

- Eski donanımın değiştirilmesi: Kayıpları azaltmanın bir yolu da eski donanımın değiştirilmesidir. Şebekenin yüksek oranda işletildiği bölgelerde, daha yüksek güç derecesine sahip yedek kabloların takılması kayıpları büyük ölçüde azaltabilir. Güç kablolarını değiştirirken, hangi kablonun en verimli olduğunu belirlemek için kablo üzerindeki olası yükü öngören ayrıntılı bir yük analizi gerekir. Benzer şekilde, dağıtım trafo ekipmanını yenileyerek de büyük tasarruf edilebilir.
- Doğru trafo seçimi: Transformatörler, maksimum kapasitenin % 80-100'ünde yüklü olduklarında en verimli şekilde çalışırlar. Düşük yükte yüklenen trafolar çekirdek kayıplarından dolayı verimsizdir. Eğer bir trafo genel olarak nominal gücünün çok altında yükleniyorsa, bu trafoyu kaldırıp yüke uygun bir trafo seçmek hem kayıp hem de ekonomik açıdan daha avantajlıdır.
- Faz dengeleme: I^2R ile orantılı rezistif kayıplar, akımın karesiyle orantılı olduğundan, her fazdan iletilen akımı dengelemek, tüketici kullanımı değişmese bile hattaki toplam kayıpları azaltabilir. Her bir fazdaki yükleri yeniden dengelemenin en iyi yolunu belirlemek için tüketici yüklerinin analizi ve şebeke geometrisi kullanılabilir. Elektrikli araç şarj istasyonları gibi yeni altyapıları planlarken, sistem yükünü ve faz dengesini hesaba katmak, şebekenin maksimum verimlilikte çalışmaya devam etmesini sağlamaya yardımcı olabilir.
- Talep yönetimi: Özellikle pik saatlerde enerji tüketimini azaltmak, kayıpların da büyük oranda azalmasını sağlamaktadır.
- Kapasitör Grupları: Şebekede gereken yerlere kapasitör gruplarının kurulması, sistemdeki reaktif yük yüzdesi azaltır. Bu da aktif güç kayıplarını azaltır.

- Dağıtık üretim: Günümüzde kullanımı artan yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu sıklıkla görülmektedir. Şebekede belirlenen yerlere kurulan dağıtık üretim tesisleri, sistem kayıplarının azalmasında büyük katkı sağlamaktadır.

- Şebeke yapılandırılması: Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması, yaklaşık 30 yıldır üstünde sayısız çalışma yapılmış en çok kullanılan yöntemlerden biridir. Şebekedeki anahtarların pozisyonlarının değiştirilmesiyle şebeke, en optimal koşullarda yönetilmeye çalışılmaktadır. Bu yöntemdeki amaç, şebekedeki gerilim ve akım kısıtlamalarını dikkate alarak şebekedeki kayıpları en aza indirmektedir. Şebekenin radyal yapısının korunması da bir diğer kısıtlamadır. Yapılandırılmış şebekede kayıplar azalırken, gerilim profili iyileşmektedir.

Kayıpları azaltmak için şebekenin yeniden yapılandırılması fikrini ilk olarak ortaya koyan Merlin ve Back'tır [4]. Şebeke kayıplarını azaltmak için dal sınır optimizasyon tekniğini kullanmışlardır. Çalışmada önce şebekedeki bütün anahtarlar kapatılarak ring şebeke yapısı oluşturulmuş, daha sonra anahtarlar art arda açılarak şebekenin radyal yapıya kavuşulması sağlanmıştır. Merlin ve Back [4] yöntemine dayanarak, Shirmohammadi ve Hong [5] tarafından sezgisel bir algoritma önerilmiştir. Bu algoritmanın dezavantajı, şebeke yeniden yapılandırılırken anahtarların konumu eşzamanlı olarak değiştirilmemesidir. Civanlar ve ark. [6], hat kayıplarını azaltacak bir dağıtım sistemi yapılandırmasını belirlemek için yalnızca sezgisel algoritmayı kullanmıştır. Anahtarlama işlemini yaparken dal değişimi kuralını uygulamışlardır. Bu yöntemin en büyük dezavantajı, bir seferde sadece bir çift anahtarlama işleminin göz önünde bulundurulabilmesi ve yöntemin sadece kayıplarda bir azalmayı garanti ederken kayıpları en aza indirememesidir. Baran ve Wu, sezgisel algoritmadan yararlanarak dal değişimi yöntemini kullanmışlardır [7]. Goswami ve Basu [8], radyal bir ağ sağlamak için herhangi bir anahtar kapanmasının başka bir anahtarın açılmasıyla tamamlandığı bir yöntem önermiştir. Her ne kadar yöntem daha küçük sistemler için uygun olsa da, çözüm çok sayıda hesaplama içerdiğinden büyük ağlar için kullanışlı değildir.

Nara ve ark. [9]'da şebeke yeniden yapılandırma problemi için genetik algoritma (GA) tabanlı bir yöntem önerdi. Çözümde anahtarlama durumunu gösteren dizgiler, toplam şebeke kayıplarından oluşan bir uygunluk (fitness) fonksiyonu, gerilim düşümü ve mevcut kapasite limitinin ceza değerleri oluşturulmuştur. Sonuçlarda en düşük kayıplar elde edilmesine rağmen çözüm süresi çok uzundur. Daha sonra Zhu, genetik

algoritmayı çaprazlama ve mutasyonlara rekabet getirerek geliştirmiştir [10]. Şebekenin yeniden yapılandırılması problemi için literatürde GA'yı kullanan birçok çalışma mevcuttur [11-14].

Benzetilmiş tavlama (SA) yöntemi, bazı yazarlar tarafından [15-17] şebeke yapılandırılması problemi için bir çözüm olarak önerilmiştir. Matematiksel olarak kabul edilir olmasına rağmen, algoritma herhangi bir pratik problem için çok zaman alıcıdır.

[18]'de, radyal dağıtım sistemlerinde optimum kapasitör yerleşimi ile güç kaybını ve enerji maliyetini en aza indirmeye yönelik öğretme-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) yaklaşımı sunulmuştur. [19]'da, güç kaybını en aza indirmek ve gerilim profilini iyileştirmek için dağıtım şebekesi yapılandırmasını optimize eden havai fişek algoritması (FWA) kullanılmıştır. [20]'de ise aynı yazarlar dağıtık üretimi de dikkate alarak FWA algoritmasını kullanmışlardır. [21]'de, güç kaybının maliyetini azaltmak için dağıtık üretim tesisleri de dikkate alınarak kurbağa sıçrama algoritmasına (SFLA) dayanan bir yöntem önerilmiştir. Dağıtım şebekesini optimize etmek için [22]'de ayrı bir yapay arı kolonisi (DABC) sunulmuştur. [23]'teki yazıda, hibrit ACO – ABC algoritması adı verilen yapay arı kolonisi (ABC) algoritması ile karınca kolonisi optimizasyonunun (ACO) hibrit bir konfigürasyonu, dağıtık üretim kaynakları olan bir şebekenin yeniden yapılandırılması problemi için sunulmuştur. [24]'de yeniden yapılandırma probleminde güç kaybını en aza indirmek için harmoni arama algoritmasına (HSA) dayalı bir metod geliştirilmiştir. [25]'deki çalışmada ise parçacık yapay arı kolonisi algoritması (PABC) harmoni vektörünü iyileştirmede kullanılmış, DÜ (Dağıtık Üretim) ve şönt kapasitörler de hesaba katılarak hibrit HSA ile şebeke kayıpları azaltılmaya çalışılmıştır. [26]'da, çok amaçlı fonksiyonlarla yeniden yapılandırma problemini çözmek için bir parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) başarıyla uygulanmıştır. [27]'deki çalışma, dağıtım sistemlerinde yük belirsizliği göz önünde bulundurarak, dağıtık üretim tesislerinin ve şönt kapasitör gruplarının optimum yer ve boyutlarını belirlemek amacıyla yeni çok amaçlı parçacık sürüsü optimizasyonu (MOPSO) uygulaması önermektedir. [28]'de uyarlanmış karınca kolonisi optimizasyonu (AACO) kullanılarak aktif güç kaybının en aza indirilmesi için yeni bir yöntem önerilmiştir. Sedighizadeh ve diğ. [29], dağıtım şebekesini optimize etmek için güç kaybı, gerilim dengesi, DÜ maliyeti ve sera gazı emisyonunu amaç fonksiyonu olarak alarak Hibrit Büyük Patlama-Büyük Çöküş algoritmasını (HBB-

BC) önermiştir. [30]'daki çalışmada, dağıtılmış üretim (DÜ) ve kapasitörün eşzamanlı olarak yerleştirilmesi ile farklı yük seviyelerine sahip radyal dağıtım ağında kayıp minimizasyonu problemi memetik algoritma (MA) ile çözülmüştür. Hedefler ve kısıtlamalar ayrı ayrı ele alındığından ve bariyer faktörleri veya çaprazlama oranları gerektirmediğinden, aktif güç kaybını en aza indirmek için modifiye bitki büyüme simülasyon algoritması (MPGSA) [31]'de başarıyla uygulanmıştır. Adaptif guguk kuşu arama algoritması (CSA), şebeke kayıplarını azaltıp gerilim kararlılığını arttırırken DÜ ünitelerinin optimal yerleştirilmesinde kullanılmıştır [32].

Bu çalışmada, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) kullanılarak şebekedeki kayıplar azaltılmaya çalışılmış, gerilim profili iyileştirilmiştir. 33 [7] baralı ve 69 [13] baralı sistemlerde önerilen yöntem denenmiştir. Dağıtık üretim tesislerinin ve kapasitör gruplarının da şebekeye etkisini görmek için yeniden yapılandırılmanın öncesinde ve sonrasında şebekeye optimal boyutta DÜ ve kapasitör grupları eklenmiştir. Sonuçların başarısını göstermek için literatürde yapılan diğer çalışmalar ile sonuçlar karşılatırılmıştır.

Tezin birinci bölümünde, tezin amacı, literatür taraması ve tezin yapısı anlatılmıştır.

Bölüm 2'de, günümüzde kullanılan dağıtım şebekesi türlerinden bahsedilmiş, dağıtık üretim tesislerinin ve kapasitör gruplarının şebekeye etkilerine değinilmiştir

Bölüm 3'te, şebekenin yeniden yapılandırılması hakkında bilgi verilmiş, amaç fonksiyonu ve kısıtlamalar, matematiksel modellemeyle beraber gösterilmiştir.

Bölüm 4'de, uyarlanan parçacık sürüsü optimizasyonu hakkında bilgi verilmiş, yeniden yapılandırma problemine uyarlanması anlatılmıştır.

Bölüm 5'te, 33 ve 69 baralı sistemler üzerinde yeniden yapılandırma sonuçları verilmiş ve sonuçlar literatürdeki diğer çalışmalar ile kıyaslanmıştır. Ek olarak optimal olarak yerleştirilen dağıtık üretim ünitelerinin ve kapasitör gruplarının yeniden yapılandırma problemine etkisini gözlemlemek için test edilen şebekeye onlar da eklenmiş ve kayıp ve gerilim profili incelenmiştir.

Bölüm 6'da, çalışmanın sonuçları yorumlanmış ve gelecekte çalışmanın geliştirilmesi üzerine öneriler verilmiştir.



2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ

Günümüzde elektrik enerjisi çoğunlukla, alternatif akım şeklinde üretilmekte, iletilmekte ve dağıtılmaktadır. Dağıtım şebekeleri; iletim şebekelerinin ve dağıtım gerilim seviyesinde bulunan üretim ve tüketim tesislerine ait şalt sahalarının bitiminden, alçak gerilim seviyesindeki tüketicilerin sayaçlarına kadar olan kısmı kapsamaktadır. Türkiye’de Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu’nun yayınlamış olduğu Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliğine göre, gerilim seviyesi 36 kV ve altında olan şebekeler dağıtım şebekesi olarak kabul edilmektedir [33].

Dağıtım şebekeleri planlanırken tüketiciye kaliteli ve kesintisiz bir enerji sağlamak için, o bölgenin iyi bir etüdünün yapılması şarttır. Planlanan şebeke yapısına bölgenin; coğrafi, ekonomik, kültürel yapısı ve sanayileşme hızı etki ettiği gibi, güncel enerji tüketim verileri de göz önünde bulundurulur. Ek olarak bölgede var olan veya yapılması planlanan enerji kaynakları ve durumu dikkate alınıp planlama buna göre yapılır. Bu nedenle dağıtım şebekeleri tüketiciye güvenilir ve kesintisiz enerji sağlamak için farklı şekillerde tasarlanmıştır. Dağıtım şekillerine göre şebeke çeşitleri [34]:

- Radyal (Dallı) Şebekeler
- Ring (Halka) Şebekeler
- Ağ (Gözlü) Şebekeler
- Enterkonnekte Şebekeler

olmak üzere 4 çeşittir.

2.1 Şebeke Yapıları

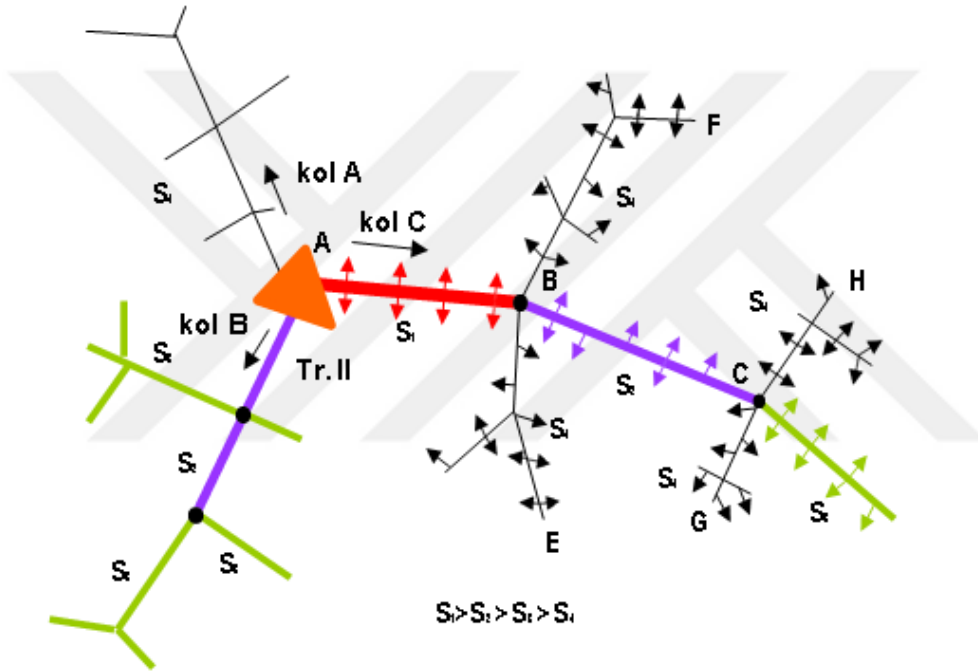
2.1.1 Radyal (Dallı) şebekeler

Beslemesi genelde tek kaynaktan yapılır. Radyal şebekede, yük yoğunluğunun en fazla olduğu yere dağıtım trafosu yerleştirilir ve elektrik bir ağacın kolları gibi önce kalın,

daha sonra ince kollara ayrılarak son kullanıcıya kadar ulaşır. Bu benzetimden dolayı bu tip şebekeye dallı (dalbudak) şebeke de denir.

Radyal şebekede dağıtım trafosuna yakın yerlerde kullanılan, Şekil 2.1’de de Kol A, B, C olarak gösterilen hatlara ana hat denir. Yine aynı şekilde gösterilen E, F, G, H gibi trafodan uzaklaştıkça incelen hatlara da branşman hat adı verilir.

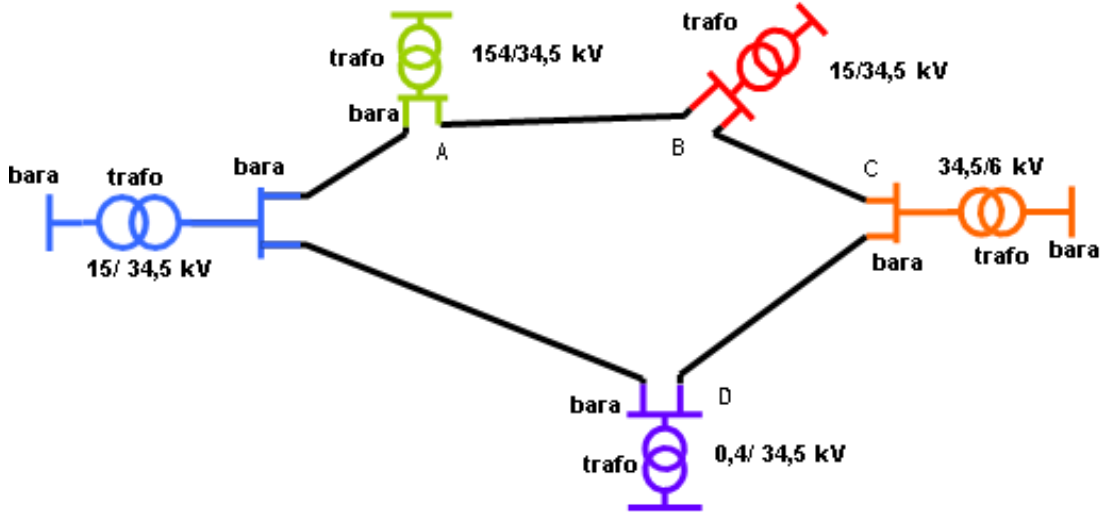
Radyal şebekelerin tesis bedeli diğer şebeke türlerine göre daha ucuzdur. Bakım ve işletmeleri kolaydır. Şebekede bir arıza olduğunda tespiti kolaydır ama arıza giderilinceye kadar birçok abonenin enerjisi kalabilmektedir. Ek olarak trafodan uzaklaştıkça gerilim düşmekte olup, hatlarda gerilim eşitliliği yoktur.



Şekil 2.1 : Tek taraftan beslenen radyal şebeke yapısı [34].

2.1.2 Ring (Halka) şebekeler

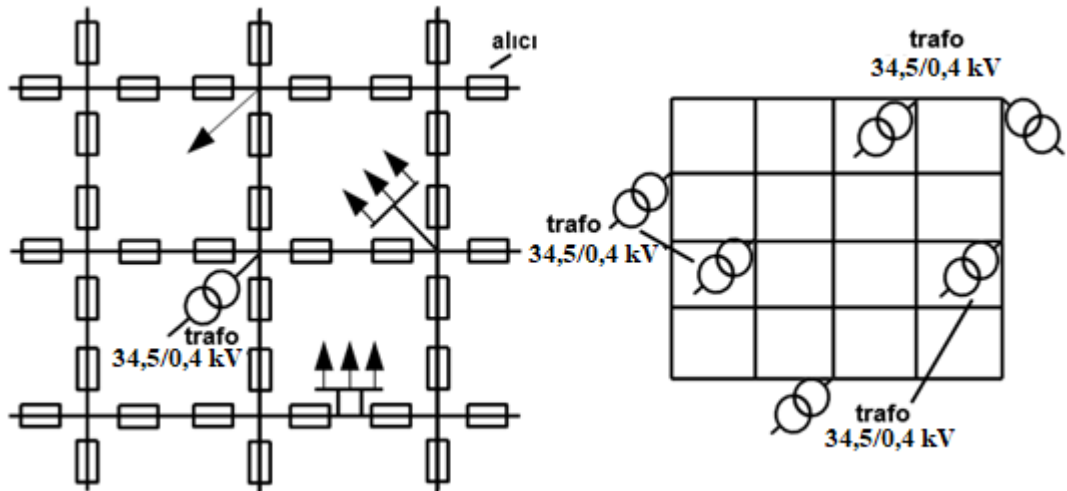
Radyal şebekeden farklı olarak besleme birden fazla trafo ile sağlanır. Bütün trafolar birbirlerine paralel olacak şekilde konumlandırılarak kapalı bir halka sistem oluşturulur. Şekil 2.2’de de görüldüğü üzere ring içindeki bütün hatların kesitleri aynıdır. Ring içinde herhangi bir yerde arıza olması durumunda, arızalı kısım enerjisi bırakılarak radyal şebekeye göre arızadan daha az abonenin etkilenmesi sağlanır. Uygulandığı bölgenin enerji ihtiyacının artması durumunda hatlar, gerekli olan akımı taşıyamayacağından bütün hatların tekrardan değiştirilmesi gereklidir. Bu yüzden maliyeti radyal şebekeye göre daha fazladır.



Şekil 2.2 : Ring (Halka) şebeke yapısı [34].

2.1.3 Ağ (Gözlü) şebekeler

Bu tip şebekede hatlar bir ya da birden fazla trafo ile beslenebilmektedir. Şekil 2.3'te de görüldüğü üzere hatlar bir ağ gibi örülerek alıcılara enerji dağıtımı sağlanmaktadır. Ring şebekede olduğu gibi bu tip şebekede de arıza meydana geldiğinde yalnızca arızalı kısım enerjisiz kalır. Yalnız tek bir trafo ile beslenen şebekede trafo arızası meydana geldiğinde bütün şebeke enerjisiz kalmaktadır. Bu tip şebekelerde sisteme güçlü alıcılar eklenebilmektedir. Diğer şebekelere göre gerilim düşümü daha azdır. Bununla birlikte ağ şebekede bir kısa devre olduğunda etkisi, diğer türlere kıyasla daha fazladır. Bakımı ve işletimleri daha zordur.



Şekil 2.3 : Ağ (Gözlü) şebeke yapısı.

2.1.4 Enterkonnekte şebekeler

Özellikle büyük miktardaki enerji alışverişlerinde bölgeler veya uluslararası enerji akışını oluşturulan şebekelerdir. Bölgelerdeki bütün üretim ve tüketim birimleri sisteme dâhil edilir. Sistemde herhangi bir arıza olduğunda, diğer bölgeler bu arızadan etkilenmeyip arızalı olan bölgeyi beslemeye devam ederler. Bu sayede enerji kesintisi yaşanmaz. Ekonomik olarak çok daha avantajlı olduğu için özellikle üretim ve tüketim alanlarının birbirine uzak olduğu yerlerde genelde tercih sebebidir.

Her ülkenin kendi içinde bölgelerini beslediği enterkonnekte şebekeleri olduğu gibi komşu ülkeleriyle de sistemleri birbirine bağlıdır. Türkiye'deki enterkonnekte şebeke Rusya, Irak, Bulgaristan, Suriye ve Gürcistan ile de uluslararası olarak birbirine bağlıdır. Bu bağlantılardan gerektiğinde enerji alışverişi yapılmaktadır.

2.2 Dağıtım Şebekelerinde Dağıtık Üretim ve Kapasitörler

2.2.1 Dağıtık üretim

Sürekli artan güç talebiyle beraber güneş, rüzgâr, biyogaz, yakıt hücreleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim başlamış ve son yıllarda bu kaynaklardan üretilen enerji oranı giderek artmıştır. Dağıtık üretim (DÜ), enerji endüstrisinde yeni bir yaklaşımdır ve bu kavramla ilgili birçok tanım vardır. Bazı ülkeler dağıtık üretimi gerilim seviyesi temelinde, bazıları ise DÜ'yü kullanılan teknoloji (yenilenebilir, kojenerasyon) veya bağlı olduğu konum bazında tanımlamaktadır.

Dağıtık üretim genel olarak tüketim noktasına yakın; küçük, modüler elektrik üretiminin entegre veya tek başına kullanılması olarak tanımlanmaktadır. Büyük Güç Sistemleri Uluslararası Konseyi (CIGRE) çalışma grubu, DÜ'yi, genellikle dağıtım ağına bağlı olan, maksimum 50 ila 100 MW kapasiteli tüm üretim birimleri olarak tanımlamaktadır [35].

Son on beş yılda, yenilenebilir ve yenilenemeyen dağıtık üretim kaynaklarının sayısı, sera gazı emisyonunu ve küresel ısınmayı hafifletmek için yenilenebilir enerji kaynaklarının ve yüksek verimli mikro-kombine ısı ve enerji ünitelerinin payını artırmayı amaçlayan ulusal ve uluslararası politikalar ile teşvik edilmektedir.

Çevresel avantajların yanı sıra, DÜ'ler rekabetçi enerji politikalarının uygulanmasında, enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesinde, işletme maliyetinin azaltılmasında, şebeke yenilenmesinin ertelenmesinde, kayıpların ve iletim ve dağıtım maliyetlerinin düşürülmesinde ve hizmet kalitesinin potansiyel olarak artmasına katkıda bulunur. DÜ mevcut elektrikli ekipmanın aşırı yüklenmesini azaltır, bakım maliyetlerini minimuma indirir ve ömürlerini artırır. DÜ'ler şebekenin gerilim profilini iyileştirir ve gerekli gerilim regülatörlerinin ve kapasitörlerin sayısını azaltır ve bunların bakım maliyetlerini en aza indirir.

Ek olarak DÜ'ler, daha küçük üreticiler için yer bulma kolaylığı, daha kısa inşaat süreleri ve daha düşük sermaye maliyeti gerektiren modüler birimler halinde mevcuttur. Günümüzde, güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir DÜ'lerin doğa dostu olması nedeniyle kullanımları gittikçe artmaktadır.

Enerji üretimine bağlı olarak, DÜ'ler aşağıdaki gibi sınıflandırılmaktadır [36]:

- Tip 1: Şebekeye sadece aktif güç enjekte eden.
- Tip 2: Şebekeye hem aktif hem de reaktif güç enjekte eden.
- Tip 3: Şebekeye sadece reaktif güç enjekte eden.
- Tip 4: Şebekeye aktif güç enjekte edip, şebekeden reaktif güç çekenler.

DÜ tesislerinin artmasıyla, bu tesislerin şebekeye entegrasyonu konusunda son yıllarda birçok çalışma yapılmaktadır. [14, 20, 21, 23-25, 29-32, 36]. DÜ yerleştirme ile ilgili karar, kurulması planlanan yere ve ana yakıt varlığına veya iklim koşullarına bağlı olarak sahipleri ve yatırımcıları tarafından alınır.

Çoğu durumda, dağıtım sistemi işletmecisinin belirli bir limitin altındaki DÜ'lerin konumu ve büyüklüğü üzerinde hiçbir kontrolü veya etkisi yoktur. Bununla birlikte, DÜ yerleştirme, dağıtım şebekesinin çalışmasını ciddi olarak etkilemektedir.

Uygunsuz DÜ yerleştirmesi sistem kayıplarını, şebeke sermayesini ve işletme maliyetlerini artırır. Tersini düşünüldüğünde de, optimal olarak yerleştirilen DÜ'ler, gerilim profili açısından şebeke performansını iyileştirir, güç akışını ve sistem kayıplarını azaltır, güç kalitesini ve sistem güvenilirliğini artırır.

2.2.2 Kapasitör grupları

Kapasitörler günümüzde genellikle kompanzasyon için kullanılmaktadır. DÜ'ye kıyasla tesis maliyeti çok daha düşüktür. Anahtarlamalı ve sabit olmak üzere iki türü vardır. Anahtarlamalı kapasitörler maliyet açısından daha pahalı olsa da, ileride şebekeye eklenebilecek yükler hesaba katılırsa daha avantajlı bir konuma sahiptir. Böylece her seferinde şebekeye sabit kapasitör eklemek yerine anahtarlı kapasitörlerde kademe değiştirilir.

1960'lı yıllardan beri optimal kapasitör yerleşimi hakkında literatürde bir çok araştırma yapılmıştır. Grainger'in birçok araştırmaya referans olan çalışması [37], sezgisel temelli yöntemle şebekede kapasitör yerleşimi konusunu incelemiştir. Sezgisel algoritmaların gelişmesiyle en az kaybı veren ve bu arada gerilim profilini iyileştiren kapasitör konumlandırılması üzerine birçok çalışma yapılmıştır. [13, 18, 25, 27, 30]. Bu çalışmalarda amaç fonksiyonu çeşitli algoritmalar kullanılarak optimize edilmiştir.

Şebekeye reaktif güç desteği sağlayan kapasitörlerin sağladığı faydalar:

- Baralardaki gerilimi yükseltmesi
- Şebeke kayıplarını azaltması
- Hatlardaki yüklenmeyi azaltması
- Güç faktörü ($\cos\phi$) değerini büyütmesi olarak gösterilebilir.

Kapasitörler tek başına kayıpları azalttığı gibi yeniden yapılandırma problemi içinde kullanılarak da kayıplar biraz daha azaltılabilmektedir. Literatürde bu iki problemi de amaç fonksiyonu olarak tanımlayan çalışmalar mevcuttur. Ancak DÜ ünitelerinin kayıp azaltmada kapasitörlere göre daha fazla etkili olduğu, Bölüm 5’de yapılan incelemelerde görülmüştür.





3. YENİDEN YAPILANDIRMA PROBLEMİ

3.1 Problemin Tanım ve Amacı

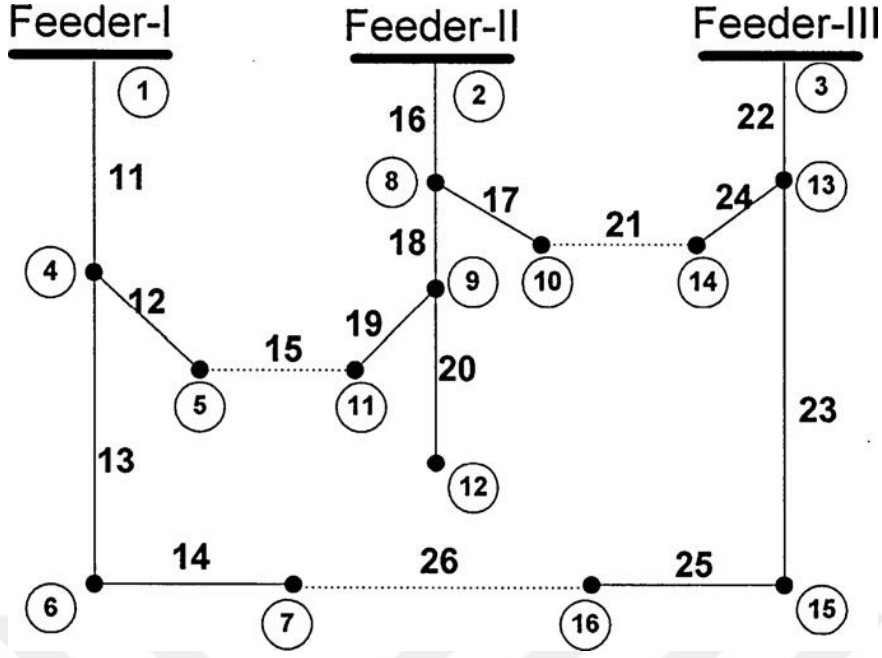
Son zamanlarda elektrik dağıtım sistemleri, daha yüksek sistem kayıplarına ve verimsiz gerilim düzenlemesine yol açan geniş ve karmaşık hale gelmektedir.

Çalışmalar, dağıtım seviyesinde üretilen toplam gücün neredeyse %10-13'ünün I^2R kaybı olarak kaybolduğunu ve bunun da dağıtım hattı boyunca enerji maliyetinde artışa ve düşük gerilim profiline neden olduğunu göstermektedir.

Bu nedenle, dağıtım şebekelerinde güç aktarımının güvenilirliğini geliştirmek önem kazanmaktadır. Gerilim kararlılığının artırılması ve dağıtım sistemlerinde güç kaybının azaltılması için kullanılan en yaygın yöntemler şebekenin yeniden yapılandırılması ve DÜ yerleştirmedir.

Şebekenin yapılandırılması, DÜ ünitelerinin yerleştirilmesi ve boyutları, elde edilecek yararı en üst düzeye çıkarmak optimal olmalıdır. Şebekenin yeniden yapılandırılması, çalışma kısıtlamalarını yerine getirirken kayıpları en aza indiren ve gerilim kararlılığını artıran radyal bir çalışma yapısını bulmak için anahtarların açık / kapalı durumunu değiştirme işlemidir. Genel olarak şebekeler, gerçek güç kaybını azaltmak ve şebekedeki aşırı yükü hafifletmek için yeniden yapılandırılmıştır. Bunun dışında arıza durumunda ve bakım için planlanan kesintilerde de yeniden yapılandırma kullanılmaktadır. Şebekeler enerji sürekliliğini sağlamak amacıyla ağ şebeke olarak tasarlanırlar ama işletim kolaylığı açısından radyal şebeke olarak işletilirler.

Genel olarak, dağıtım sistemlerinde bağlayıcı anahtarı ve açma ayırıcı anahtar olmak üzere iki tür anahtar vardır. Şekil 3.1'de gösterildiği gibi, (10–14), (5–11) ve (7–16) düğümleri bağlayan noktalı dallardaki anahtarlar bağlayıcı anahtarlar, diğer sürekli dallardaki anahtarlar ise ayırıcı anahtarlardır.



Şekil 3.1: 16 baralı dağıtım şebekesi [12].

Bağlayıcı anahtarlar normalde kapalı, ayırıcı anahtarlar normalde açıktır. Çalışma koşulları değiştiğinde, rezistif hat kayıplarını azaltmak için bu iki tip anahtarın açılması / kapatılmasıyla şebekenin yeniden yapılandırması gerçekleştirilir. Yükleri farklı hatlara aktarmak amacıyla bir ayırıcı anahtar açıldığında, dağıtım ağının radyal yapısını korumak için bir bağlayıcı anahtar kapatılmalıdır. Örneğin, Şekil 3.1'de, 2 nolu besleyici hattın yükü normal çalışma koşullarında arttığında, 11 nolu baradaki yükü 1 nolu besleyici hatta kaydırmak için (5-11) nolu düğümler arasındaki bağlayıcı anahtar kapatılırken (9-11) nolu düğümler arasındaki ayırıcı anahtar açılmalıdır.

Yeniden yapılandırmanın amacı, açma anahtarlarını açıp kapatarak dağıtım kayıplarını en aza indirmektir.

Yeniden yapılandırma sorunu aşağıdaki kısıtlamalara sahiptir:

- Güç akışı denklemleri.
- Düğüm gerilimlerinin üst ve alt sınırları.
- Hat akımlarının üst ve alt sınırları.
- Ağ topolojisi açısından uygulanabilir koşullar

3.2 Yeniden Yapılandırma Probleminin Yapısal Modeli

Yeniden yapılandırmanın amacı, anahtarları açıp kapatarak Denklem 3.1’de verilen dağıtım kayıplarını en aza indirmektir. Yeniden yapılandırma problemi aşağıdaki kısıtlamalara sahiptir [12]:

- Güç akışı denklemleri (Denklem 3.2).
- Düğüm gerilimlerinin üst ve alt sınırları (Denklem 3.3).
- Hat akımlarının üst ve alt sınırları (Denklem 3.4).
- Şebeke topolojisi açısından uygulanabilir koşullar (Denklem 3.5).

Matematiksel olarak, yeniden yapılandırma problemi şu şekilde formüle edilebilir:

Amaç fonksiyonu:

$$\min P_L = \sum_{i=1}^N r_i \frac{P_i^2 + Q_i^2}{V_i^2} \quad (3.1)$$

Kısıtlamalar:

$$g(x) = 0 \quad (3.2)$$

$$V_{min} < V_n < V_{max} \quad (3.3)$$

$$I_i^{min} < I_i < I_i^{max} \quad (3.4)$$

$$\det(A) = 1 \text{ veya } -1 \quad (3.5)$$

P_L : aktif güç kaybı toplamı;

L : dal sayısı;

P_i : i dalının ucundaki aktif güç;

Q_i : i dalının ucundaki reaktif güç;

V_n : n düğümündeki gerilim;

I_i : i dalındaki akım;

$g(x)$: güç akışı denklemleri;

V_{min} : gerilim alt sınırı;

$V_{\max}$: gerilim üst sınırı;

$I_i^{\min}$: akım alt sınırı;

$I_i^{\max}$: akım üst sınırı;

A: bara bağlantı matrisi;

r_i : i dalının direnci.



4. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO)

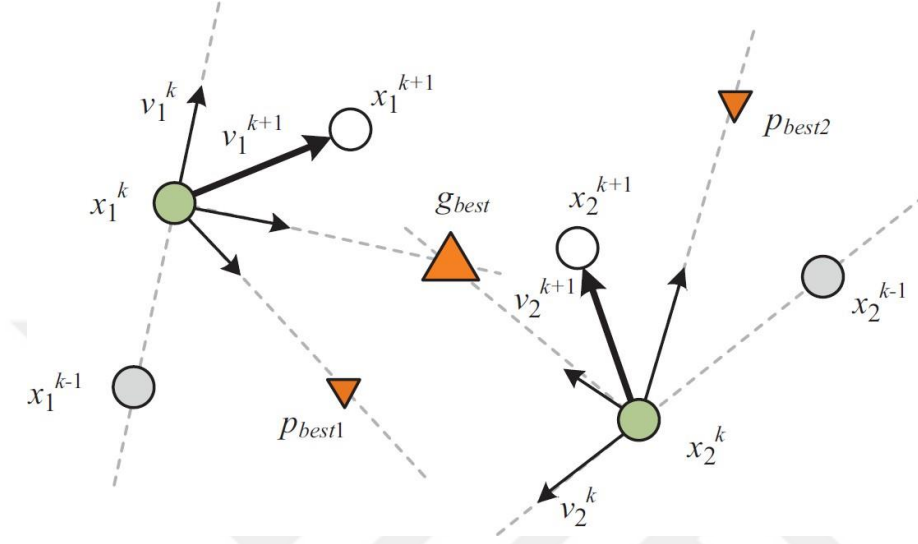
4.1 PSO Algoritması ve Formülasyonu

Kennedy ve Eberhart, ilk olarak 1995'te yeni bir sezgisel yöntem olarak parçacık sürüsü optimizasyonunu (PSO) ortaya koydu [38]. Araştırmalarının asıl amacı, kuş ve balık sürülerinin sosyal davranışlarını grafiksel olarak simüle etmektir. Araştırmaları derinleştikçe, bu davranış modellerini optimizasyonda kullanabileceklerini gördüler. PSO ilk olarak lineer olmayan sürekli problemlerin çözümünde kullanılmaya başlanmıştır. Zamanla geliştirildikçe, karmaşık problemlerin çözümünde en çok kullanılan tekniklerden biri olmuştur. PSO, diğer optimizasyon tekniklerine kıyasla aşağıda bahsedilen birçok önemli avantaja sahip, popülasyona dayalı bir evrimsel algoritmadır [39]:

- Birçok geleneksel teknikten farklı olarak türevsiz bir algoritmadır.
- Hibrit bir çözüm oluşturmak için diğer optimizasyon teknikleriyle birlikte kullanılabilir.
- Amaç fonksiyonunun dışbükeylik veya süreklilik gibi niteliklerine karşı daha az hassastır.
- Diğer birçok rakip evrimsel algoritmaya kıyasla düzenleme yapmak için daha az parametre vardır, uygulanması ve programlanması kolaydır.
- Yerel minimadan kaçma kabiliyeti vardır.
- İterasyon işlemine başlamak için iyi bir başlangıç çözümü gerektirmez.

PSO algoritmasının mantığı, kuş sürüsünün hareketleri üzerinden açıklanabilir. Sürü halinde hareket eden her bir kuş (parçacık), rastgele atanan başlangıç konumu ve hızıyla hareket etmeye başlar. Sürüler yiyeceğe en yakın kuşu takip ederek çözüm uzayında hareket ederler. Parçacıkların her iterasyonda konumları ve hızları güncellenir. Her parçacığın yeni koordinatları bir fonksiyona gönderilir ve parçacıkların yiyeceğe olan uzaklığı bu sayede kaydedilir.

En iyi çözüme ulaşabilmek için sürüdeki her bir parçanın konum bilgisi sürüdeki diğer parçacıklarla paylaşılır. Parçacık konumları her iterasyonda p_{best} (parçacığın en iyi değeri) ve g_{best} (sürü içindeki en iyi değer) değerlerine göre güncellenir. Şekil 4.1’de parçacıkların çözüm uzayındaki hareketi ile gösterilmiştir. Algoritma, döngü durdurma kriterine ya da maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında sonlandırılır.



Şekil 4.1: PSO algoritmasında parçacıkların hareketi [40].

Problemin çözümünde n boyuttan oluşan m adet parçacık olduğunu varsayalım. Buna göre oluşturulan parçacık matrisi Eşitlik 4.1’deki gibidir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix}_{m \times n} \quad (4.1)$$

Sürü matrisindeki i . parçacık (4.2)’deki gibidir.

$$x_i = [x_{i1} \quad x_{i2} \quad x_{i3} \quad \cdots \quad x_{in}] \quad (4.2)$$

Önceki en iyi uygunluk değerini veren i . parçacığın pozisyonu (p_{best_i}) matrisi (4.3) ile verilmiştir.

$$p_{best_i} = [p_{i1} \quad p_{i2} \quad p_{i3} \quad \cdots \quad p_{in}] \quad (4.3)$$

Sürüdeki en iyi parçacığı ifade eden g_{best_i} (4.4)’te gösterilmiştir.

$$g_{best_i} = [g_{i1} \quad g_{i2} \quad g_{i3} \quad \cdots \quad g_{in}] \quad (4.4)$$

Sürüdeki i . parçacığın hızı da (4.4)’de verilen matris ile ifade edilir.

$$v_i = [v_{i1} \quad v_{i2} \quad v_{i3} \quad \cdots \quad v_{in}] \quad (4.5)$$

Sürüdeki global ve bireysel en iyi değerler bulunduktan sonra parçacıkların hızı ve konumu sırasıyla Eşitlik 4.6 ve Eşitlik 4.7’de verilen ifadeye göre güncellenir.

$$v_{ij}^{k+1} = w * v_{ij}^k + c_1 * rand_1()_{ij} * (pbest_{ij}^k - x_{ij}^k) + c_2 * rand_2()_{ij} * (gbest_{ij}^k - x_{ij}^k) \quad (4.6)$$

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \quad (4.7)$$

Burada; $i=1,...,m$ (m , sürünün büyüklüğüdür), $j=1,...,n$ (n , sürünün boyutudur), $rand()$ $[0, 1]$ aralığında düzgün dağılmış rastgele bir sayı, x_{ij}^k k . iterasyondaki j . boyuttaki i parçacığının konumu, v_{ij}^k k . iterasyondaki j . boyuttaki i parçacığının hızını, $pbest_{ij}^k$ k . iterasyondaki j . boyuttaki i parçacığının en iyi konumunu, $gbest_{ij}^k$ k . iterasyondaki j . boyuttaki i parçacığının global en iyi konumunu ifade etmektedir. Eşitlikteki c_1 ve c_2 öğrenme faktörü katsayısı olarak adlandırılır. c_1 katsayısı, sürüdeki bir parçacığın kendi tecrübelerine göre hareket etmesini sağlarken, c_2 katsayısı sürüdeki diğer parçacıkların kendi tecrübelerine göre hareket etmesini sağlamaktadır.

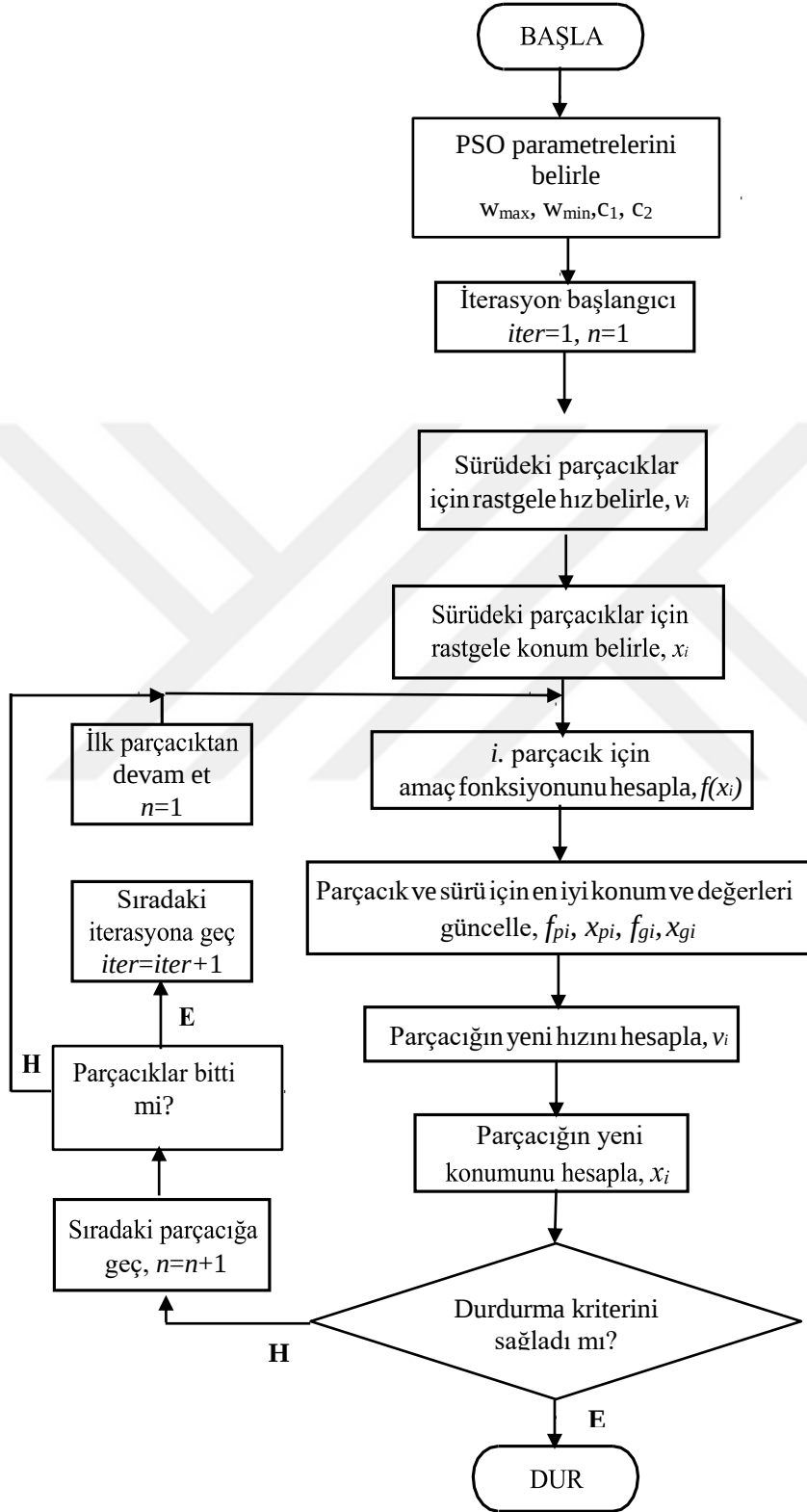
Öğrenme katsayıları küçük seçilirse parçacıklar, hedef bölgeden uzaklaşarak arama uzayını genişletirler. Bu işlem arama süresini uzatmış olur. Değerler büyük seçildiğinde ise hedefe ulaşma süresi kısalırken ulaşılacak istenen bölge gözden kaçabilmektedir. Yapılan çalışmalarda şebeke yeniden yapılandırılması problemi için $c_1=c_2=2.0$ değerinin iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Eşitlikteki w , atalet ağırlığıdır ve genelde 0 ile 2 arasında bir değer almaktadır. Atalet ağırlığı, bir önceki hızın ne kadarının bir önceki zaman adımından tutulacağını gösterir. Kısaca, PSO’da atalet ağırlığı, global ve yerel arama yeteneğini dengelemek için kullanılır. Büyük atalet ağırlığı global arama, küçük atalet ağırlığı ise yerel aramayı kolaylaştırır. Atalet ağırlığı yerel ve global arama arasındaki dengeyi sağlar ve bunun sonucunda yeterli optimal sonuca daha az iterasyonla ulaşılır. Bu yüzden w değerinin probleme uygun seçilmesi büyük önem taşır. w atalet ağırlığının k . iterasyondaki değerini gösteren formülasyon Eşitlik 4.8’de verilmiştir.

$$w(k) = \frac{w_{max} - w_{min}}{max.iter} \times k \quad (4.8)$$

Burada $w_{\max}$, maksimum atalet ağırlığı; $w_{\min}$, minimum atalet ağırlığı; k ise o anki iterasyondur.

PSO'nun akış diyagramı Şekil 4.2'deki gibidir.



Şekil 4.2: PSO akış diyagramı.

4.2 PSO Algoritmasının Yeniden Yapılandırma Problemine Uyarlanması

PSO algoritması bu çalışmadaki şebeke yapılandırılması probleminin çözümünde kullanılmıştır. Algoritmada sürü olarak adlandırılan parçacık grubu bulunmakta ve her bir parçacığın n -boyutlu uzayda bir pozisyonu vardır. n optimize edilecek değişken sayısını göstermektedir.

Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması probleminin çözümünde aşağıdaki adımlar izlenmiştir [41]:

Adım 1: PSO parametrelerinin belirlenmesi.

Algoritmada ilk olarak PSO için gerekli parametrelere değerler atanır. Bu değerler;

N : iterasyon sayısı (50).

m : popülasyon büyüklüğü (20).

n : arama uzayının boyutu (bağlayıcı anahtarı sayısı=5).

c_1 ve c_2 : ivmelendirme katsayıları ($c_1=c_2=2.0$)

w_{max} , w_{min} : maksimum ve minimum atalet ağırlıkları ($w_{max}=0.9$, $w_{min}=0.4$) olarak seçilmiştir.

Adım 2: Anahtarlama kombinasyonunu içeren rastgele tanımlanmış bir başlangıç konum matrisi (x_i) ve yerel en iyi konum matrisi ($pbest_i$) oluşturulmuştur. Ek olarak $rand()$ formülüyle bir başlangıç hızı tanımlanmıştır. Bütün bu matrisler 20×5 boyutundadır.

Adım 3: Çözümün uygulanacağı şebeke verileri programa yüklenir. Güç akışı yapılır. Şebekenin radyallığını kontrol etmek için de bara bağlantı matrisi (branch incidence) oluşturulur. Bu matriste aralarında bağlayıcı anahtar olan baralara 0, ayırıcı anahtar olan baralara 1 değeri atanır. Bağlantı matrisi ile şebekede meydana gelebilecek ring çevrelerin takibi yapılır.

Adım 4: Ana döngüde iterasyon sayısına göre; her bir parçacık için hız ve konum belirlenmesi yapılır. Burada atalet ağırlığı Eşitlik 4.8’de verildiği gibi iterasyon sayısı ile azaltılarak daha geniş bir arama yapılır.

```

for j = 1:N
     $v_{ij}^{k+1} = w * v_{ij}^k + c_1 * rand_1()_{ij} * (pbest_{ij}^k - x_{ij}^k) + c_2 * rand_2()_{ij} * (gbest_{ij}^k - x_{ij}^k)$ 
    if rand < S(vij)      xid = 1
    else      xid = 0
    end
end
end

```

Yukarıdaki döngü kullanılarak, parçacıklar için hız ve konum bilgileri her iterasyonda güncellenerek 20x5 boyutlarında matrisel formda kaydedilir. Burada Eşitlik (4.9)'da verilen S(x) sayesinde klasik PSO'dan farklı olarak hız, 0 ile 1 değeri arasında değer alabilmektedir. Bu nedenle algoritma ayrık ya da ikili PSO adını alır.

$$S(v_{ij}) = \frac{1}{1 + e^{-v_{ij}}} \quad (4.9)$$

Yukarıda anlatıldığı gibi şebekedeki anahtarların durumunu gösteren bara bağlantı matrisi (I) de Eşitlik 4.10'daki gibi gözükür.

$$I = \begin{bmatrix} 1 & 1 & \dots & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

Adım 5: Her iterasyonda yenilenen anahtar konumlarına bağlı olarak amaç fonksiyonu, kısıtlamalar da göz önünde bulundurularak hesaplanır. Algoritma, yenilenen anahtarlamayla şebekenin ağ ve yük bilgileriyle birlikte güç akışını yaparak kayıp hesaplar.

Adım 6: i parçacığı için uygunluk fonksiyonu (fitness function) kontrol edilir. Kısıtlamaların ve bara bağlantı matrisinin şartları sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Eğer en son bulunan konum bir öncekinden daha iyiye yeni pbest olarak seçilir. Güncellenen pbest, gbest'ten de daha iyi ise yeni gbest değeri olarak atanır.

Adım 7: Durdurma kriteri kontrol edilir, eğer sağlıyorsa gbest problemin en uygun çözümü seçilir, değilse algortmada Adım 4'e geri dönülür. Eğer iterasyon sayısı belirlenen değere ulaştıysa, algoritma sonlandırılır. Tezde kullanılan algoritmanın

doğruluğunu kontrol etmek için program 20 kere çalıştırılmış ve optimal sonuçlar Bölüm 5’de hem 33 hem de 69 baralı şebekeler için verilmiştir.





5. ÖRNEK UYGULAMALAR

Bu bölümde tez çalışması için geliştirilen PSO, şebekenin yeniden yapılandırılması problemine çözüm getirmesi için IEEE 33 ve 69 baralı radyal şebeke test sistemlerine uygulanmıştır. Ayrıca günümüzde kullanımları gittikçe artan dağıtık üretim ünitelerinin ve kapasitör gruplarının da etkisini gözlemlemek şebekeye optimal boyutlarda en uygun baralara DÜ üniteleri ve kapasitör grupları yerleştirilmiştir.

Tezde PSO algoritması için MATLAB 2016a programı ve dağıtım şebekesinin güç akışı bölümünde ise Ray Zimmerman tarafından geliştirilen MATPOWER [42] programı kullanılmıştır.

Şebeke incelenmesine başlanmadan önce aşağıdaki durumlar kabul edilmiştir [9].

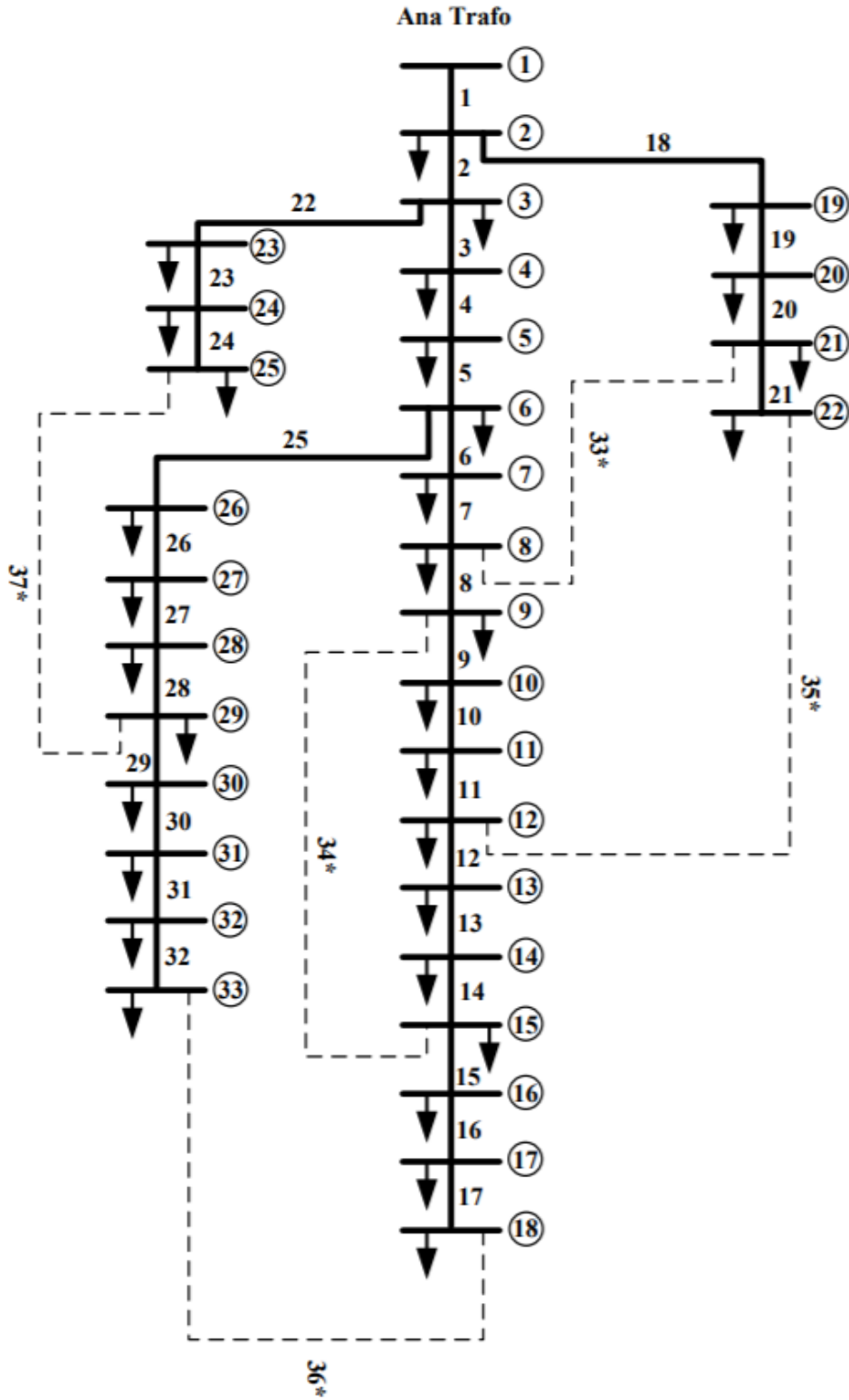
- Sistemdeki tüm yükler dengelidir.
- Sistemin bozucu etkilere karşı geçici hal durumları ihmal edilmiş ve durağan hal için analizler gerçekleştirilmiştir.
- Baralar arasında tek bir hat olduğu ve her bir hat için de bir anahtar olduğu kabul edilmiştir.
- Test edilen dağıtım şebekesinin açık ring (radyal) şebeke olarak işletildiği kabul edilmiştir.
- Modellemede hatların süseptans değerleri kısa hatlar ile çalıştığımız için sıfır alınmıştır.

5.1 IEEE 33 Baralı Radyal Dağıtım Şebekesi

IEEE 33 baralı test sisteminde 1 adet transformatör beslemesi, 32 ayırıcı anahtar, 5 bağlayıcı anahtar bulunmaktadır. Şebekenin gerilim değeri 12.66 kV'dir. Şebekede toplam 3.72 MW aktif, 2.3 MVAR reaktif yükü vardır. Test şebekesinin hat ve yük bilgileri Ek A1'de verilmiştir.

5.1.1 Yeniden yapılandırma uygulaması

PSO algoritması ilk olarak 33 baralı sistem üzerinde uygulanmıştır. Şekil 5.1'de de görüldüğü üzere IEEE 33 baralı test sistemindeki son 5 anahtar olan 33*, 34*, 35*, 36*, 37* numaralı anahtarlar bağlantı anahtarı, diğer hatlarda bulunan anahtarlar ise ayırıcı anahtarlarıdır ve normalde kapalı durumdadır.



Şekil 5.1 : 33 baralı test şebekesi.

Bu çalışmada, Şekil 5.1'deki mevcut 33 baralı şebekedeki anahtarların durumları değiştirilerek, kayıpların minimal düzeye çekildiği yeni bir şebeke yapısı bulunmuştur. Bunun için PSO algoritması kullanılmış, en uygun anahtarlama yapısı elde edilmeye

alışılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre yeniden yapılandırma sonrasında en az güç kaybını veren anahtarlama kombinasyonu;

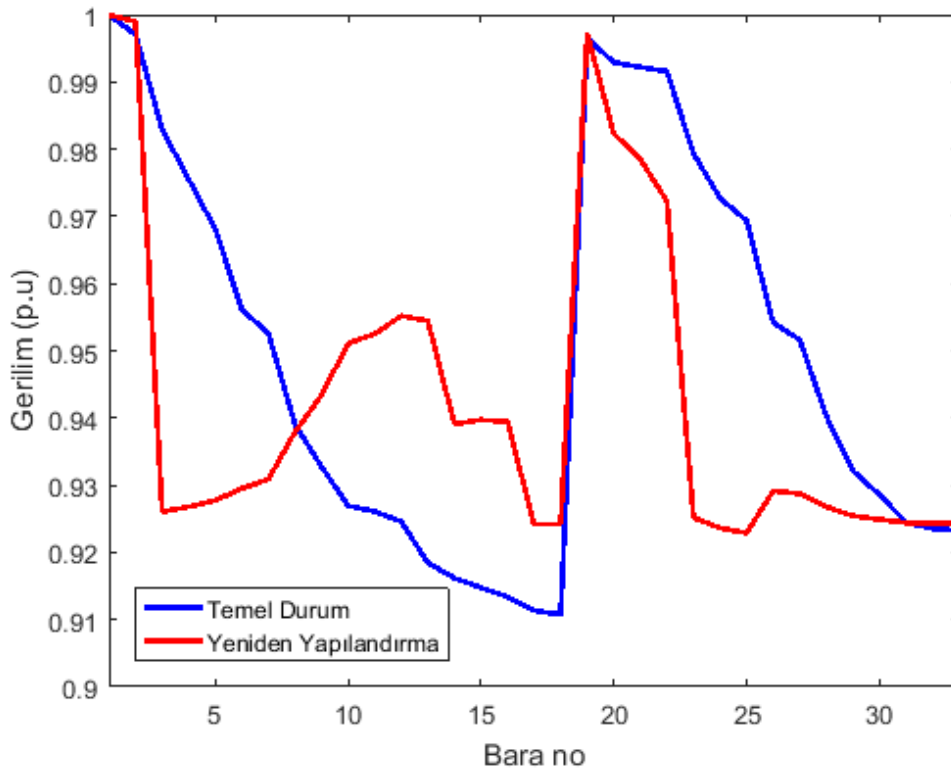
- 2 ve 3 numaralı baralar arasında bulunan 2 numaralı anahtar
- 13 ve 14 numaralı baralar arasında bulunan 13 numaralı anahtar
- 16 ve 17 numaralı baralar arasında bulunan 16 numaralı anahtar
- 8 ve 21 numaralı baralar arasında bulunan 33 numaralı anahtar
- 25 ve 29 numaralı baralar arasında bulunan 37 numaralı anahtarların açık diğerk anahtarların kapalı olduğu durumdur.

Çizelge 5.1 : 33 baralı test şebekesi için sonuçlar.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu) - bara no	Kayıp azaltma oranı (%)
Temel Durum	33-34-35-36-37	208.4592	0.91075 - (18)	-
Yeniden yapılandırma	2-13-16-33-37	112.6833	0.9229 - (25)	45.9447

Algoritmanın sonucundan da grldğu üzere yeniden yapılandırma ile şebekenin kayıpları % 45.94 oranında azaltılmış, gerilim profili genel anlamda iyileştirilmiştir.

şekil 5.2’deki grafik incelendiğinde, yapılandırmadan önce en düşük gerilim seviyesine sahip olan 18 no’lu bara iken, yeniden yapılandırma sonrasında yükler kaydırılarak en düşük gerilim seviyesine sahip bara 25 no’lu baradır. Yüklerin kaydırılması sonucunda yükler şebekede daha eşit dağıtılmış, bunu sonucunda da kayıplar azaltılıp baraların gerilim seviyeleri yükselmiştir.



Şekil 5.2 : 33 baralı test şebekesinde yeniden yapılandırma sonrası gerilim profili.

Elde edilen sonuçlar, literatürdeki diğer sonuçlarla kıyaslanarak algoritmanın yetkinliği gösterilmiş, karşılaştırma sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : 33 baralı test şebekesi için literatür karşılaştırılması.

Yöntemler	Açık Anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)	Kayıp azaltma oranı (%)
Temel durum	33-34-35-36-37	208.4592	0.91075	-
Önerilen çalışma-PSO	2-13-16-33-37	112.6833	0.9229	45.9447
RGA [11]	7-9-14-32-37	139.55	-	33.86
GOA [43]	4-14-15-22-33	130.8164	-	38.007
HSA [24]	07-14-09-32-37	138.06	0.9342	31.88
FWA [20]	07-14-09-32-28	139.98	0.9413	30.93
CSA [32]	7-9-14-32-37	138.87	0.94235	31.89

Karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında, geliştirilen algoritmanın güç kayıplarını azaltmada en iyi sonucu verdiği gözlemlenmiştir. Açılan anahtarların aynı olmasına karşın güç kayıplarının farklı çıkmasının nedeni kullanılan güç akışı yönteminin farklı olmasıdır.

Hatların R/X değeri dağıtım sisteminde daha büyük olduğundan farklı güç akışı yöntemlerinde farklı sonuçlar alınmaktadır. Literatürde gradyant yöntemi, newton yöntemi, geri-ileri süpürme yöntemi gibi farklı güç akışı yöntemleri kullanılmaktadır. Ek olarak algoritmadaki kısıtlamaların hassaslığı da çıkan sonuçları etkilemektedir.

Sonuçlara gerilim profili açısından bakıldığında diğer sonuçların önerilen algorithmadan daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

Test şebekesi için iterasyon sayısı 50 olarak seçilmiş ve algoritma sonuçların geçerliliğini kontrol etmek için 20 kez çalıştırılmıştır. Intel Core™ i5-2410M 2.30Ghz işlemcili ve 8GB RAM'li dizüstü bilgisayarda çalıştırılan algoritmanın bir çevrim süresi 77.26 sn'dir.

5.1.2 DÜ üniteleri bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması

Tezin bu kısmında şebekeye eklenen dağıtık üretim ünitelerinin etkisi gözlemlenmiştir. Şebekeye eklenen DÜ üniteleriyle yeniden yapılandırma problemi tekrardan ele alınmış, örneklenen durumlar aşağıda anlatılmıştır.

Durum 1: Şebeke temel durumdadır ve DÜ üniteleri şebekeye bağlanmamıştır.

Durum 2: Durum 1'deki şebekenin uygun anahtarlama seçimiyle yeniden yapılandırılmış durumudur.

Durum 3: Durum 1'deki şebekeye Şekil 5.3'de gösterildiği gibi DÜ ünitelerinin eklenmesi durumudur.

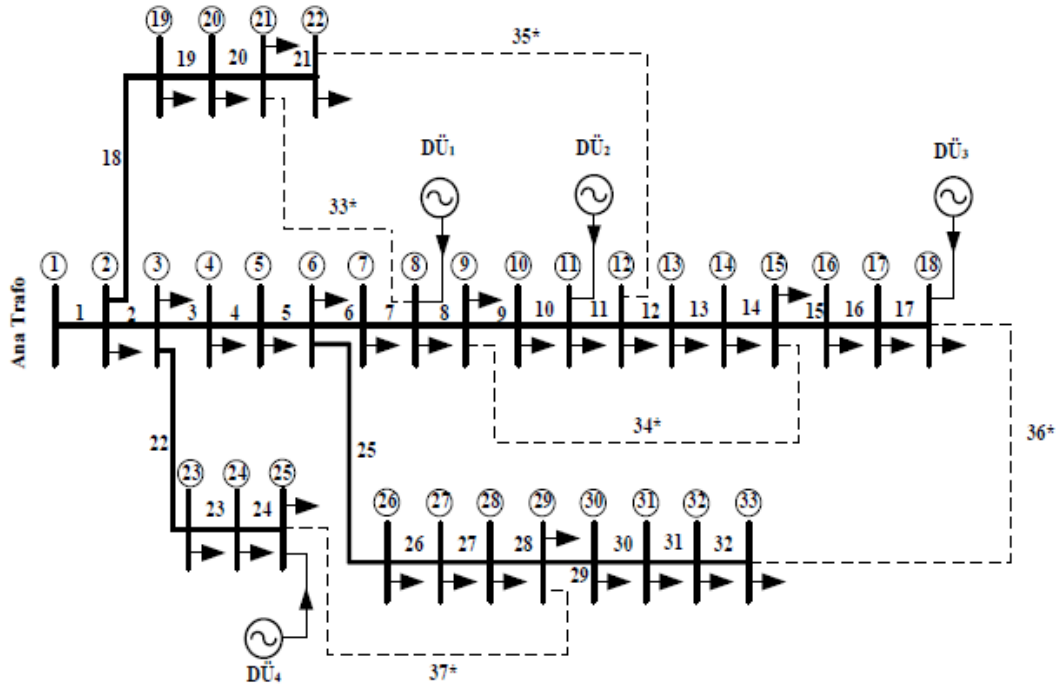
Referans [44]'deki sistem, şebekeye bağlanacak DÜ'ler için örnek alınmıştır. DÜ ünitelerinin türü, şebekeye sağladığı güç, bağlı olduğu bara numarası Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 : 33 baralı test şebekesi için DÜ özellikleri.

Ünite	Kapasite (kW)	Tür	Bara no
DÜ 1	350	Yakıt hücreleri	8
DÜ 2	350	Yakıt hücreleri	11
DÜ 3	350	PV	18
DÜ 4	350	Rüzgâr	25

DÜ ünitelerinin şebekeye sadece aktif güç verdiği kabul edilmiştir.

Durum 4: Durum 3'teki şebekenin yeniden yapılandırılmasıdır.



Şekil 5.3 : 33 baralı test şebekesine DÜ ünitelerinin yerleştirilmiş hali.

Yukarıdaki dört durum da verilen algoritmayla çalıştırılmış ve elde edilen sonuçlar Çizelge 5.4'de verilmiştir.

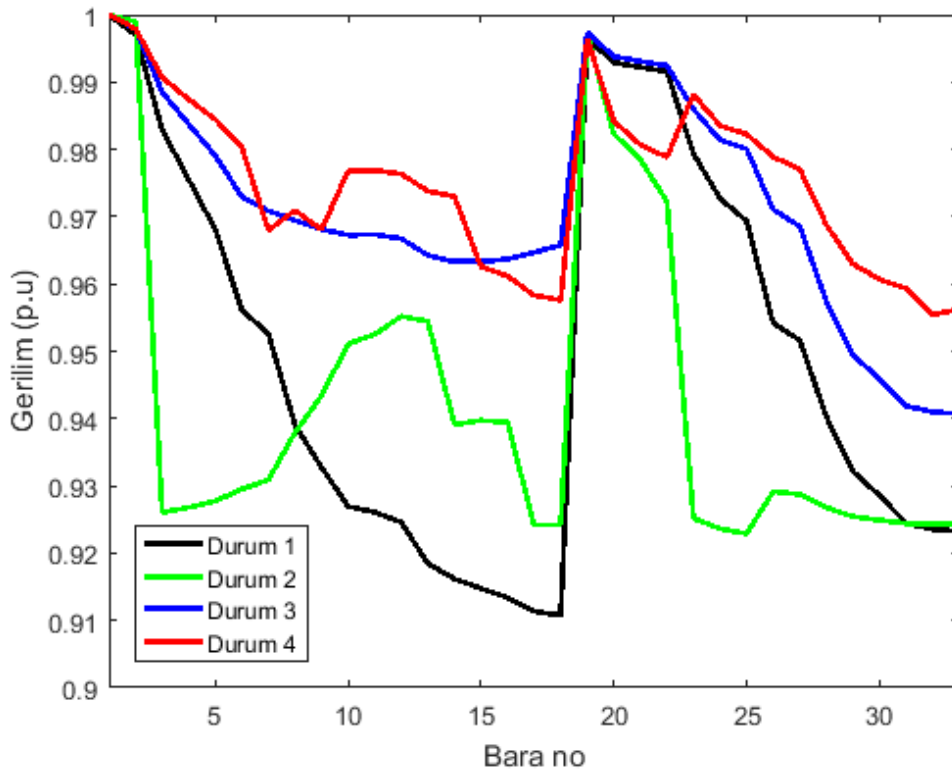
Çizelge 5.4 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki PSO sonuçları.

	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	33-34-35-36-37	208.4592	0.91075
Durum 2	2-13-16-33-37	112.6833	0.9229
Durum 3	33-34-35-36-37	109.7997	0.94071
Durum 4	7-10-14-28-30	76.0495	0.94553

Durum 1 ve Durum 2 Bölüm 5.1.1’de bahsedilen şebekenin temel ve yeniden yapılandırılmış halidir. Durum 3’de DÜ üniteleri şebekeye eklendiğinde kayıplar 109.8 kW’a düşmektedir ve temel duruma göre kayıplar % 47.32 azalmaktadır. DÜ ünitelerinin eklenmesiyle de baralardaki gerilim düzeyleri iyileşmektedir.

Durum 4’de ise şebeke DÜ üniteleriyle beraber yeniden yapılandırılmış, bulunan şebeke topolojisinin ise temel duruma göre çok daha iyi olduğu gözlemlenmiştir. Durum 4’de temel duruma kıyasla kayıplar % 63,52 azaltılmış ve en az kaybı veren şebeke yapısı elde edilmiştir.

Ayrıca kayıpların azalmasıyla birlikte şebekenin gerilim profili de Şekil 5.4’te görüldüğü üzere iyileşmiştir. Grafik incelendiğinde en düşük gerilim seviyesine sahip olan bara sırasıyla Durum 1’de 18, Durum 2’de 25, Durum 3’de 33, Durum 4’de ise 32 nolu baralardır.



Şekil 5.4 : 33 baralı test şebekesinde DÜ ünitelerinin bağlandığı durumlardaki gerilim grafiği.

Sonuç olarak, Durum 4’de 7, 10, 14, 28, 30 numaralı hatlardaki anahtarların açık, diğerlerinin kapalı olduğu durumda en düşük güç kaybı değeri elde edilmiştir.

Sonuçlar referans [44]'teki Modifiye Bal Arısı Çiftleşme Optimizasyonu algoritması (MHBMO) ile kıyaslanmış, geliştirilen PSO algoritmasıyla birlikte diğer 4 yönteme göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Gerilim profili açısından bakıldığında ise sonuçlar birbirine yakın ve gerilim düzeyleri 0.95 civarlarındadır.

Çizelge 5.5 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki yöntemlerin karşılaştırılması.

	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Önerilen çalışma-PSO	7-10-14-28-30	76.0495	0.94553
GA [44]	6-12-17-35-37	84.54971	0.95095
PSO [44]	8-14-31-33-37	80.74696	0.95212
HBMO [44]	6-11-12-31-37	82.36062	0.95189
MHBMO [44]	7-9-14-30-37	76.98436	0.95577

5.1.3 DÜ ünitesi ve kapasitör grubu bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması

Dağıtık üretim üniteleriyle beraber kapasitör grupları da şebekede sıklıkla kullanılmaktadır. Bu bölümde DÜ üniteleriyle beraber kapasitör gruplarının da şebeke kayıplarına ve şebekedeki gerilim düzeyine etkisi incelenmiştir.

Durum 1: Şebeke temel durumdadır ve DÜ ünitesi ile kapasitör grubu şebekeye bağlanmamıştır.

Durum 2: Durum 1'deki şebekenin uygun anahtarlama seçimiyle yeniden yapılandırılmış halidir.

Durum 3: Durum 1'deki şebekeye optimal boyutta bir adet DÜ ünitesi, bir adet de kapasitör grubu bağlanmıştır. Geliştirilen algoritmanın yekiniğini göstermek için referans [45]'deki şebeke örnek alınmıştır.

Buna göre bir adet 1 MW boyutundaki DÜ ünitesi 18 numaralı baraya ve bir adet 1 MVar boyutundaki kapasitör grubu da 33 numaralı baraya bağlanmıştır.

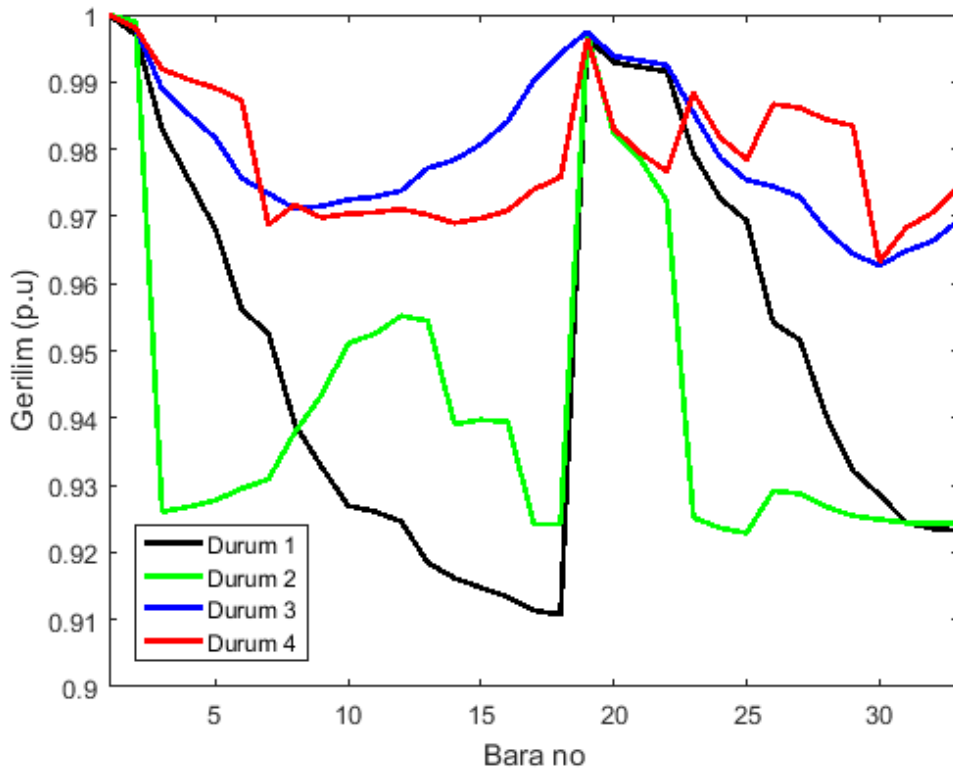
Durum 4: Durum 3'deki kapasitör grubu ve DÜ ünitesi bağlı şebekenin yeniden yapılandırılmış halidir.

Şebekeye kapasitör grubunun da eklenmesiyle kayıpların daha da azaltılması amaçlanmıştır. DÜ ünitesi ve kapasitör grubu eklenmiş şebekenin durum sonuçları Çizelge 5.6’da verilmiştir. En düşük gerilime sahip olan bara Durum 3 ve 4’te 30 numaralı baradır.

Çizelge 5.6 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapasitörlü durumdaki PSO sonuçları.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	33-34-35-36-37	208.4592	0.91075
Durum 2	2-13-16-33-37	112.6833	0.9229
Durum 3	33-34-35-36-37	101.1677	0.96267
Durum 4	6-8-13-29-37	57.0718	0.96328

Şekil 5.5’de test şebekesine DÜ ünitesi ve kapasitör eklenmesiyle elde edilen gerilim grafiği sunulmuştur. Gerilim seviyeleri sadece DÜ ünitesi eklenen şebeke yapısına göre daha iyi bir artış göstermiştir. Ek olarak kapasitör gruplarının tesis maliyetinin DÜ ünitelerine göre düşük olması sebebiyle şebekede daha tercih edilebilir durumdadır.



Şekil 5.5 : 33 baralı test şebekesinde DÜ ünitesinin ve kapasitörün bağlandığı durumların gerilim grafiği.

Çizelge 5.7’de görüldüğü üzere geliştirilen PSO algoritması en iyi sonuçları vermiştir. Kayıplar önerilen PSO algoritması ile % 72.62 oranında, diğer yöntemle % 45.94 oranında azalmıştır. En düşük gerilim değeri ise referans [45]’deki yöntemle 0.93’e kadar, PSO algoritmasıyla 0.96’lara kadar çıkabilmiştir.

Çizelge 5.7 : 33 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapasitörlü durumdaki yöntemlerin karşılaştırılması.

	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Temel durum	33-34-35-36-37	208.4592	0.91075
Önerilen çalışma-PSO	6-8-13-29-37	57.0718	0.96328
Analitik yaklaşım [45]	2-13-16-33-37	112.6833	0.9229

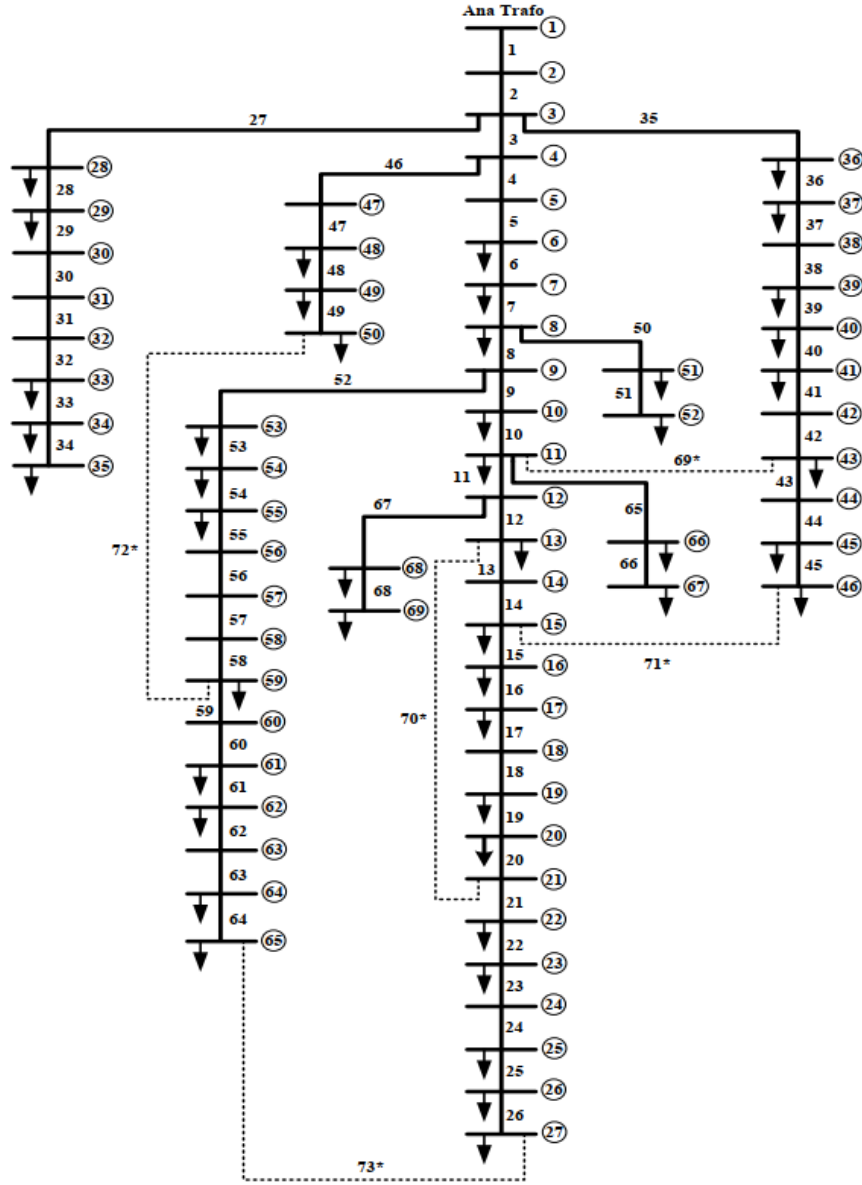
5.2 IEEE 69 Baralı Radyal Dağıtım Şebekesi

Orta ölçekli bir sistem olan 69 baralı dağıtım sistemi, 69 bara, 73 dal içerir. 68 adet ayırıcı anahtar ve 5 adet bağlayıcı anahtarı vardır ve toplam aktif ve reaktif yükler sırasıyla 3.80 MW ve 2.69 MVar'dır. Test sisteminin şematik diyagramı Şekil 5.6'da gösterilmektedir. Normal çalışma koşulunda 69, 70, 71, 72, 73 nolu hatlardaki anahtarlar açıktır. Şebekenin hat ve yük bilgileri Ek A2'de verilmiştir.

5.2.1 Yeniden yapılandırılma uygulaması

Bu çalışmada, Şekil 5.6'daki mevcut 69 baralı şebekedeki anahtarların durumları değiştirilerek, kayıpların minimal düzeye çekildiği yeni bir şebeke yapısı bulunmuştur. Geliştirilen PSO algoritmasıyla, en uygun anahtarlama yapısı elde edilmeye çalışılmıştır. Çizelge 5.8'de verildiği üzere elde edilen sonuçlara göre yeniden yapılandırma sonrasında en az güç kaybını veren anahtarlama kombinasyonu;

- 14 ve 15 numaralı baralar arasında bulunan 14 numaralı anahtar
- 58 ve 59 numaralı baralar arasında bulunan 58 numaralı anahtar
- 61 ve 62 numaralı baralar arasında bulunan 61 numaralı anahtar
- 11 ve 43 numaralı baralar arasında bulunan 69 numaralı anahtar
- 13 ve 21 numaralı baralar arasında bulunan 70 numaralı anahtarlarınaçık diğer anahtarların kapalı olduğu durumdur.

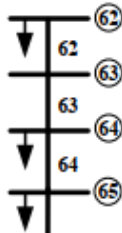


Şekil 5.6 : Temel durumdaki 69 baralı radyal test şebekesi.

Yeniden yapılandırma sonrası kayıplar % 55.72 azaltılarak 99.62 kW'a düşürülmüştür.

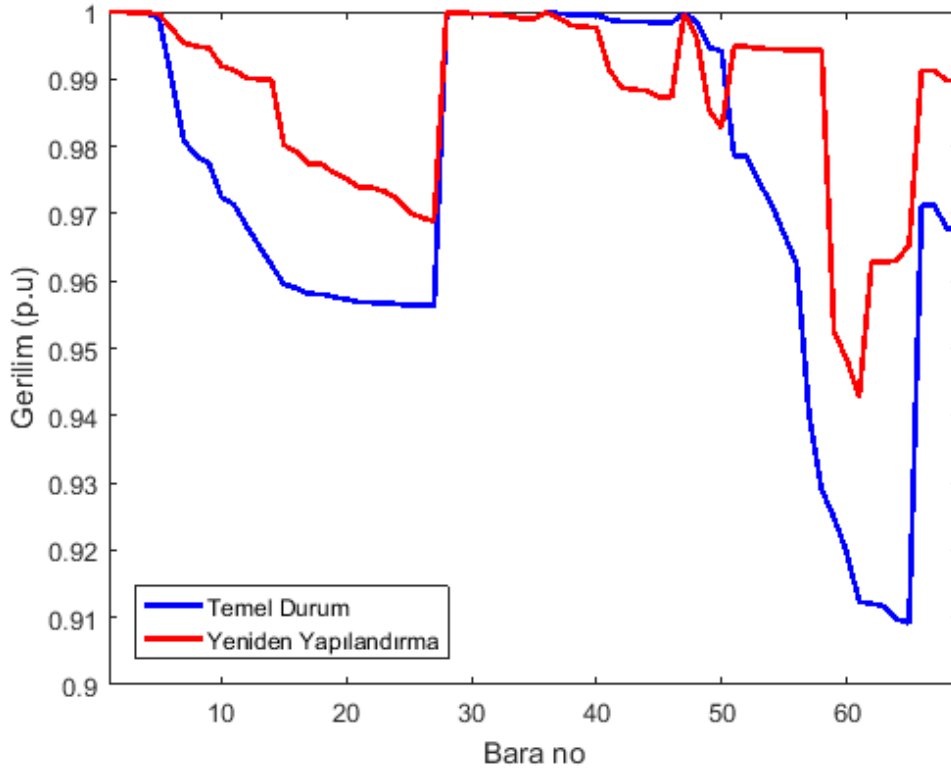
Çizelge 5.8 : 69 baralı test şebekesi için PSO sonuçları.

	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Temel durum	69-70-71-72-73	225.0007	0.90919
Yeniden yapılandırma	14-58-61-69-70	99.62	0.94275



Şekil 5.7 : Yeniden yapılandırma sonrası 69 baralı radyal test şebekesi.

Şekil 5.8’de şebekenin nominal yükle yüklenme durumundaki gerilim profili gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü üzere temel durumda en düşük gerilim seviyesine sahip 65 nolu bara iken, yeniden yapılandırma sonrasında bu 62 nolu bara olmuştur.



Şekil 5.8 : 69 baralı test şebekesinde yeniden yapılandırma sonrası gerilim profili.

Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.9’da literatürdeki diğer yöntemlerle kıyaslanmıştır.

Çizelge 5.9 : 69 baralı test şebekesi için literatür karşılaştırması

	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Temel durum	69-70-71-72-73	225.0007	0.90919
Önerilen çalışma-PSO	14-58-61-69-70	99.62	0.94275
HSA [24]	13-18-56-61-69	99.35	0.9428
FWA [20]	14-56-66-69-70	98.59	0.9495
CSA [32]	14-57-61-69-70	98.568	0.9495
RGA [11]	15-59-62-70-71	99.62	-

Literatürdeki sonuçlara bakıldığında genelde birbirlerine yakın anahtar kombinasyonlarının bulunduğu görülmektedir. Geliştirilen PSO algoritmasıyla RGA algoritması aynı güç kaybı değerini bulmuştur. Gerilim değeri açısından bakıldığında da HSA algoritmasıyla aynı değerin bulunduğu gözlemlenmektedir.

5.2.2 DÜ üniteleri yerleştirilen şebekenin yeniden yapılandırılması

Çalışmanın ikinci kısmında DÜ ünitelerinin şebekeye etkisi incelenmiş ve bir durum çalışması yapılarak Bölüm 5.2.1’de verilen çalışmanın da dâhil edilmesiyle yeni bir inceleme aşağıdaki gibi verilmiştir.

Durum 1: Şebeke temel haldedir ve DÜ üniteleri şebekeye bağlı değildir.

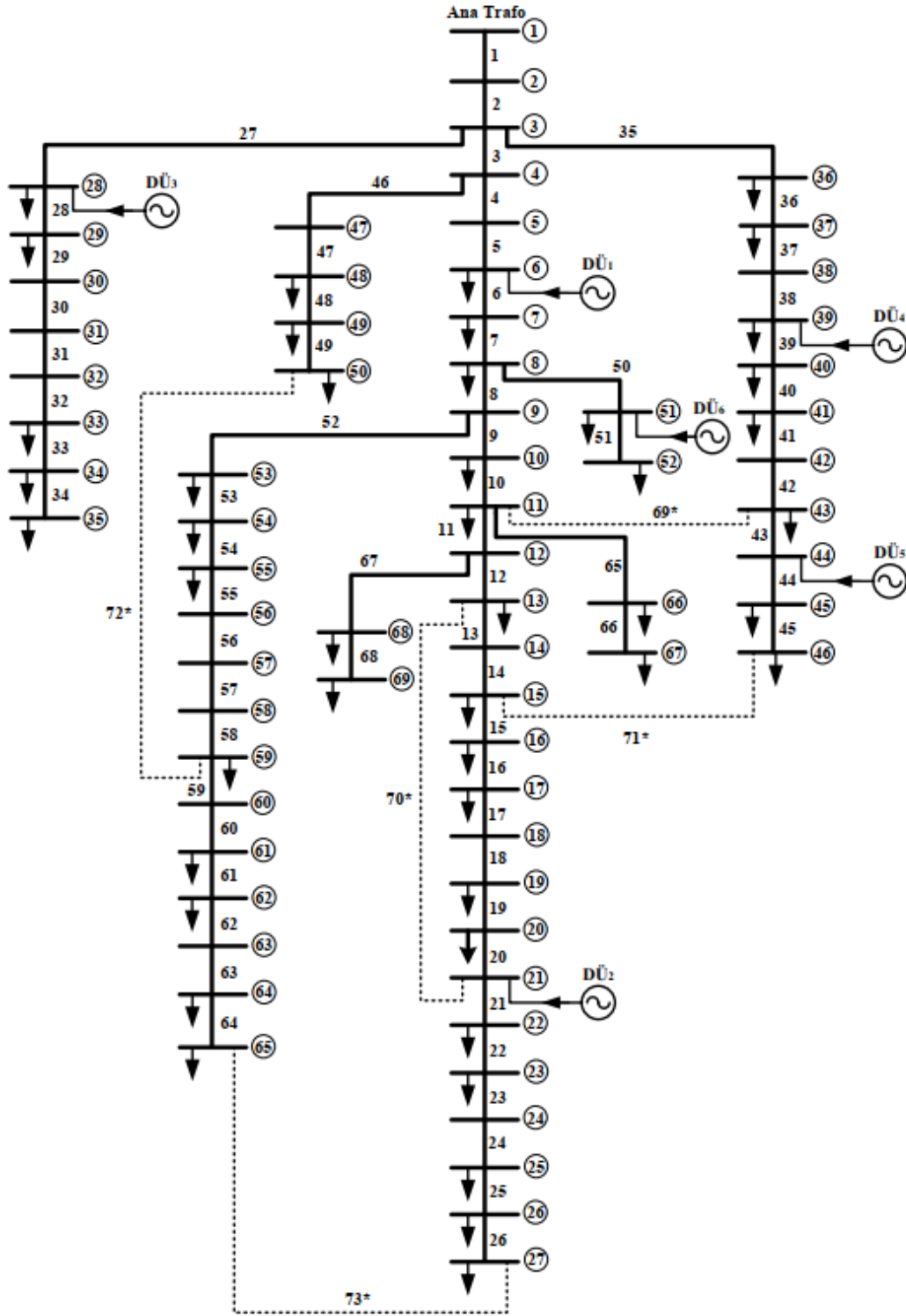
Durum 2: Durum 1’deki şebeke yeniden yapılandırılmıştır.

Durum 3: Durum 1’deki şebekeye Şekil 5.9’de gösterildiği gibi DÜ üniteleri eklenmiştir. Referans [44]’ten alınan bu şebeke yapısında, şebekeye bağlanan DÜ üniteleri hakkındaki bilgi Çizelge 5.10’da verilmiştir.

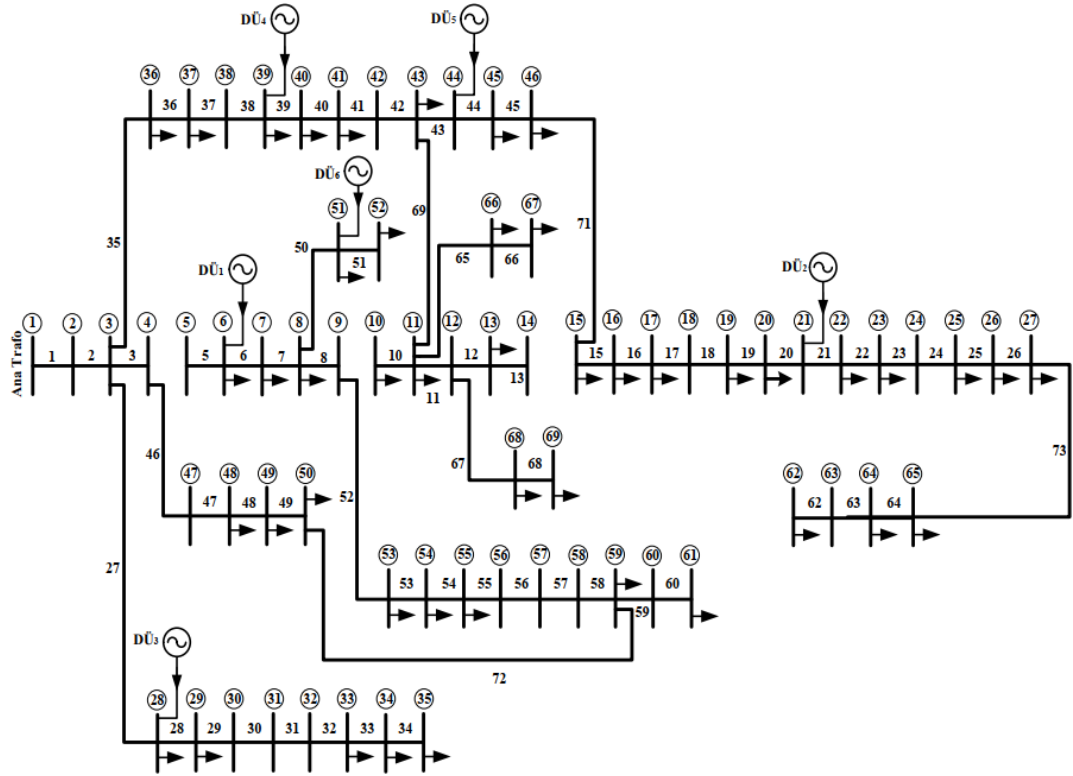
Çizelge 5.10 : 69 baralı test şebekesi için DÜ özellikleri

Ünite	Kapasite (kW)	Tür	Bara no
DÜ 1	450	Yakıt hücreleri	6
DÜ 2	450	Yakıt hücreleri	21
DÜ 3	450	Rüzgâr	28
DÜ 4	450	Rüzgâr	39
DÜ 5	450	PV	44
DÜ 6	450	PV	51

Durum 4: Durum 3’teki şebeke yapısı yeniden yapılandırılmıştır. Elde edilen şebeke yapısı Şekil 5.10’da verilmiştir.



Şekil 5.9 : 69 baralı test şebekesine DÜ ünitelerinin yerleştirilmiş hali.



Şekil 5.10 : DÜ ünitesi bağlanmış 69 baralı şebekesi (yeniden yapılandırma sonrası).

Yukarıda bahsedilen dört durumun da incelemesi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.11’de her bir durum için verilmiştir. Şebekeye dağıtık üretimlerin eklenmesiyle temel duruma kıyasla kayıplar azalmış, gerilim profili iyileşmiştir.

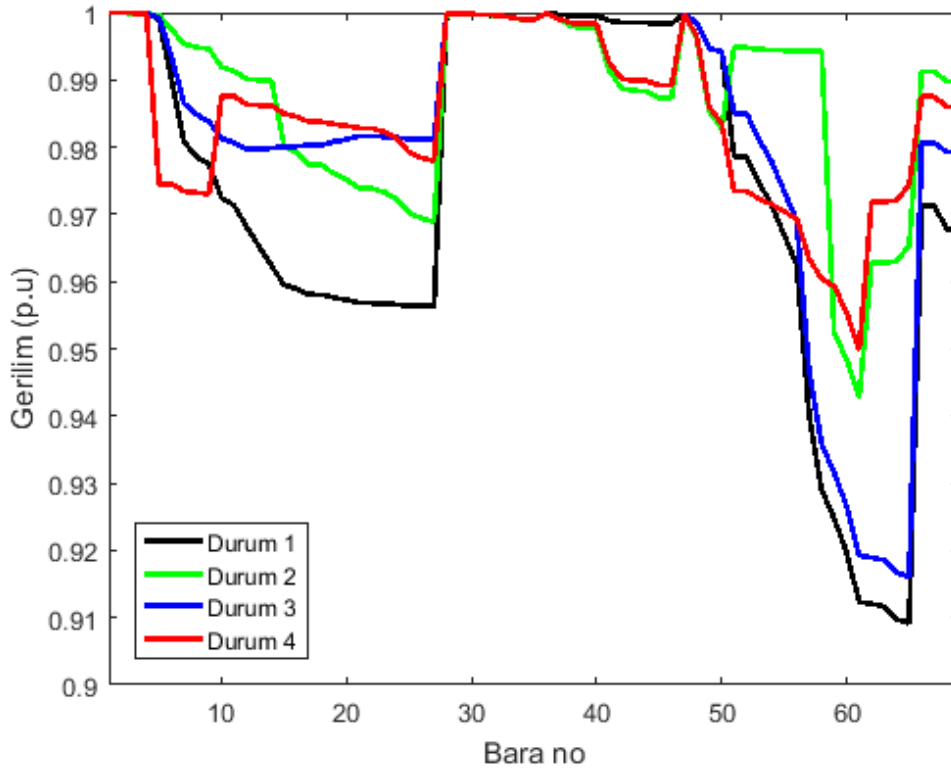
Çizelge 5.11 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki PSO sonuçları.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	69-70-71-72-73	225.0007	0.90919
Durum 2	14-58-61-69-70	99.62	0.94275
Durum 3	69-70-71-72-73	187.5554	0.9161
Durum 4	4-9-14-61-70	81.0219	0.94978

Bölüm 5.2.1’de Durum 1 ve Durum 2’nin incelemesi yapılmıştır. Çizelge 5.11’e bakıldığında sadece DÜ üniteleri eklendiğinde (Durum 3) kayıplar temel duruma göre % 16.64 azalmış, şebeke DÜ üniteleri bağlıyken yeniden yapılandırıldığında (Durum 4) ise kayıplar % 63.99’a kadar azaltılmıştır.

DÜ ünitelerinin eklenmesi temel duruma göre kayıpları azaltsa da şebeke yeniden yapılandırıldığında bu oran çok daha yüksektir. Şebekede DÜ ünitelerinin yeri ve büyüklüğü kayıpların azaltılmasındaki en önemli etkidir.

Ek olarak kayıplar azaltıldığında şebekenin gerilim profilinin iyileştiği Şekil 5.11’de görülmektedir. Grafik incelendiğinde Durum 3’te en düşük gerilim seviyesine sahip bara 65 iken, şebeke yapılandırıldığında bara 61 olarak değişmiştir.



Şekil 5.11 : DÜ ünitesi bağlanmış 69 baralı şebekesinin gerilim profili.

Bu bölümde yapılan çalışmalar sonucunda, Durum 4’te verilen 4, 9, 14, 61 ve 70 nolu hatlardaki anahtarlar açıldığında en iyi kayıp azaltma oranına ulaşılmıştır. Bunun sonucunda şebekedeki baraların gerilim seviyesi yükselmiştir. Yapılan çalışma, referans [44]’deki sonuçlar ile kıyaslanmış, sonuçlar Çizelge 5.12’de verilmiştir. En iyi sonucun geliştirilen PSO algoritması tarafından bulunduğu görülmektedir.

Çizelge 5.12 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli durumdaki yöntemlerin karşılaştırılması.

	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Temel durum	69-70-71-72-73	225.0007	0.90919
Önerilen çalışma-PSO	14-58-61-69-70	99.62	0.94275
GA [24]	11-58-61-70-71	88.4282	0.94197
PSO [24]	14-58-61-70-71	87.2016	0.94275
HBMO [24]	13-55-61-70-71	86.2222	0.94277
MHBMO [24]	14-56-61-70-71	85.2230	0.94278

5.2.3 DÜ üniteleri ve kapasitör grupları yerleştirilen şebekenin yeniden yapılandırılması

Bu bölümde 69 baralı şebeke için DÜ üniteleriyle beraber kapasitör gruplarının da şebeke kayıplarına ve şebekedeki gerilim düzeyine etkisi incelenmiştir.

Durum 1: Şebeke temel durumdadır ve DÜ üniteleri ile kapasitörler şebekeye bağlanmamıştır.

Durum 2: Durum 1'deki şebekenin uygun anahtarlama seçimiyle yeniden yapılandırılmış halidir.

Durum 3: Durum 1'deki şebekeye optimal boyutta dört adet DÜ ünitesi, dört adet de kapasitör grubu bağlanmıştır. Geliştirilen algoritmanın yekınlığını göstermek için referans [46]'daki şebeke örnek alınmıştır. DÜ üniteleri ve kapasitörler hakkındaki bilgiler Çizelge 5.13'te verilmiştir.

Durum 4: Durum 3'deki kapasitörlerin ve DÜ'lerin olduğu şebekenin yeniden yapılandırılmış halidir.

Çizelge 5.13 : DÜ ve kapasitörlerin özellikleri.

Ünite	Kapasite (kW/kVAr)	Bara no
DÜ 1	300	14
DÜ 2	200	35
DÜ 3	100	36
DÜ 4	400	53
Kapasitör 1	100	24
Kapasitör 2	200	45
Kapasitör 3	300	49
Kapasitör 4	400	61

Şebekeye DÜ'lere ek olarak kapasitörlerin de eklenmesiyle kayıplar yüksek oranda azaltılmıştır. DÜ ünitesi ve kapasitör grubu eklenmiş şebekenin durum sonuçları Çizelge 5.14'da verilmiştir.

Çizelge 5.14 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapsitörlü durumdaki PSO sonuçları.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	69-70-71-72-73	225.0007	0.90919
Durum 2	14-58-61-69-70	99.62	0.94275
Durum 3	69-70-71-72-73	154.6223	0.92142
Durum 4	14-18-35-52-61	69.83	0.95915

Çizelge 5.14'e göre 69 baralı test şebekesine DÜ'ler ve kapasitörler eklendiğinde (Durum 3) temel duruma göre kayıplarda % 31.28 oranında azalma gerçekleşmiştir. Bu şebeke yeniden yapılandırıldığında (Durum 4) ise kayıplarda % 68.96 oranında azalma meydana gelmiştir.

Şekil 5.12'de görüldüğü üzere Durum 3'de en düşük gerilime sahip bara 65 iken yeniden yapılandırma sonrası elde edilen Durum 4'te 61 nolu bara en düşük gerilim seviyesine sahiptir. Bara gerilimleri 0.90'lı değerlerden 0.95'li değerlere çıkmıştır.

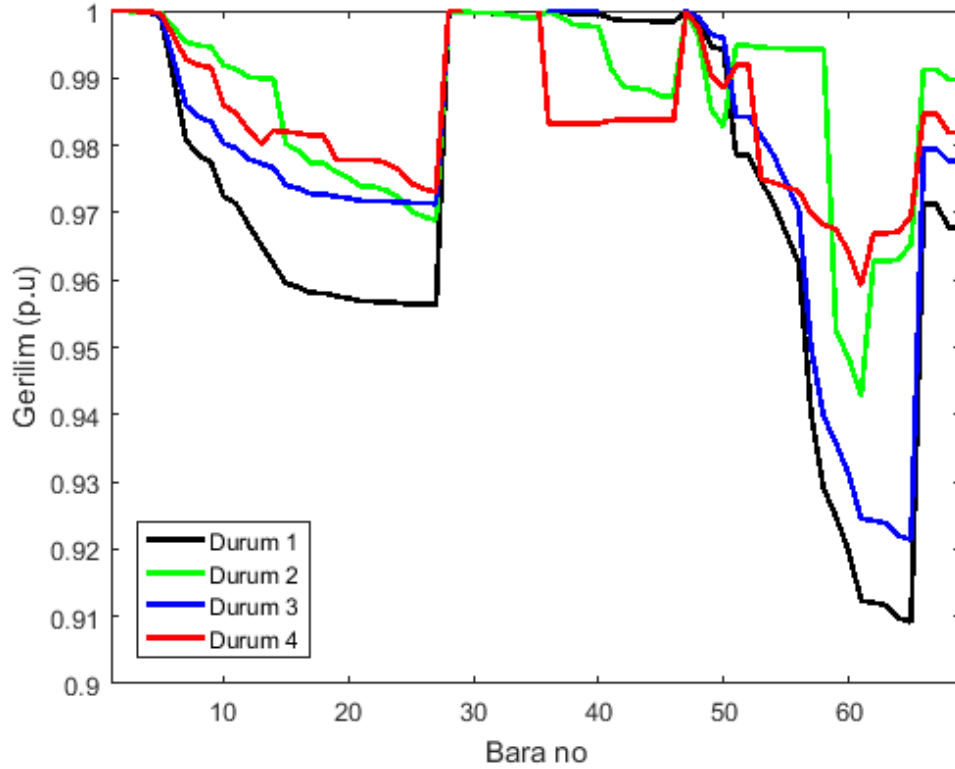
Geliştirilen algoritmanın yetkinliğini görmek için referans [46]'daki sonuçlar ile kıyaslanmış, sonuçlar Çizelge 5.15'te verilmiştir. Çalışmanın kıyaslaması tabu arama algoritması (TSA) ile yapılmış, geliştirilen PSO algoritması kayıpları % 68.96

oranında azaltırken TSA algoritması ise % 65.5 oranında azaltabilmiştir. İki algoritmanın da gerilim değerleri neredeyse birbirine eşittir.

Çizelge 5.15 : 69 baralı test şebekesi için DÜ üniteli ve kapasitörlü durumdaki yöntemlerin karşılaştırılması.

	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Temel durum	69-70-71-72-73	225.0007	0.90919
Önerilen çalışma-PSO	14-18-35-52-61	69.83	0.95915
TSA [46]	14-20-53-62-69	77.604	0.955

Şebekeye yerleştirilen DÜ ve kapasitörler uygun boyutlarda ve uygun konumlara yerleştirildiğinde verimli sonuçlar almak mümkündür. Şebekenin taşıyabileceği akım değerine dikkat edilerek DÜ ve kapasitör seçimi yapmak gerekmektedir.



Şekil 5.12 : DÜ ünitesi ve kapasitör bağlanmış 69 baralı şebekesinin gerilim profili.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, radyal dağıtım şebekesini yeniden yapılandırmak için parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılmıştır. Problemin amaç fonksiyonu şebekedeki aktif güç kayıplarının azaltılmasıdır. Tezde verilen yöntem, IEEE 33 ve 69 baralı test şebekelerine uygulanmış ve sonuçlar literatürde bulunan çalışmalarla kıyaslanmıştır.

Simülasyon sırasında elde edilen sonuçlar, önerilen PSO algoritmasının, bu çalışmada incelenen her iki şebeke için de en uygun veya en uyguna yakın çözümün bulunabileceğini göstermiştir. Uygulama sonuçlarına göre IEEE 33 baralı radyal şebeke test sisteminde kayıplar % 45.94, 69 baralı radyal şebeke test sisteminde ise % 55.72 oranında azaltılmıştır. Ayrıca temel durumdaki şebekelere eklenen dağıtık üretim üniteleri ve kapasitör gruplarının etkisini incelemek için şebeke yeniden yapılandırılmış, elde edilen sonuçlara göre kayıpların azalırken gerilim profilinin iyileştiği görülmüştür.

Sonuç olarak PSO, diğer algoritmalara göre daha basit yapısı, az parametre ile en iyi sonucu bulabilmesi, kullanım kolaylığı gibi nedenlerden dolayı tercih edilmiş, şebeke yapılandırılması probleminde etkili sonuçlar vermiştir.

Bu çalışmanın devamında, şebekenin yeniden yapılandırılması için dağıtık üretim üniteleri ve kapasitörlerle beraber eşzamanlı yeniden yapılandırma algoritması geliştirilebilir. Geliştirilen algoritma daha büyük ve gerçek zamanlı sistemlerde test edilebilir. Hat kayıplarının, DÜ ünitelerinin, kapasitör gruplarının maliyet analizi yapıp, bu analizle birlikte yazılacak çok amaçlı algoritmada amaç fonksiyonu olarak kullanılabilir. Gerçek bir dağıtım şebekesinin verileri alınarak güç kayıpları ve gerilim profilleri dağıtım şirketinin verileriyle karşılaştırılabilir.



KAYNAKLAR

- [1] **Dugan, R. C.** (2012). *Electrical power systems quality*. New York: McGraw-Hill
- [2] **Reducing technical loss in the distribution grid.** (2016). Retrieved March 25, 2019, from <https://www.gridcure.com/reducing-technical-loss-in-the-distribution-grid/>
- [3] **Turan, G.** (2014). *Electrical Power Transmission System Engineering: Analysis and Design (2nd ed.)*, CRC Press.
- [4] **Merlin, A. Ve Back, H.** (1975). Search for a minimum-loss operating spanning tree reconfiguration in an urban power distribution, *Proceedings of the 5th Power System Conference*, Cambridge, U.K., Eylül.
- [5] **Shirmohammadi, D. & Hong, H. W.** (1989). Reconfiguration of electric distribution networks for resistive line losses reduction. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 4(2), 1492-1498.
- [6] **Civanlar, S., Grainger, J. J., Yin, H. ve Lee, S.S.H.** (1988). Distribution feeder reconfiguration for loss reduction, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 3 (3), 1217–1223.
- [7] **Baran, M. E. ve Wu, F. F.** (1989). Network reconfiguration in distribution systems for loss loss reduction and load balancing, *IEEE Transactions Power Delivery*, 4 (2), 1401–1407.
- [8] **Goswami, S. K. & Basu, S. K.** (1992). A new algorithm for the reconfiguration of distribution feeders for loss minimization. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 7(3), 1484-1491.
- [9] **Nara, K., Shiose, A., Kiagawa, M. ve Ishihara, T.** (1992). Implementation of genetic algorithm for distribution system loss minimum reconfiguration, *IEEE Transactions on Power System*, 7 (3), 1044–1051.
- [10] **Zhu, J. Z.** (2002). Optimal reconfiguration of electrical distribution network using the refined genetic algorithm. *Electric Power Systems Research*, 62(1), 37-42.
- [11] **Duan, D. L., Ling, X. D., Wu, X. Y. & Zhong, B.** (2015). Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 64, 88-95.
- [12] **Abdelaziz, M.** (2017). Distribution network reconfiguration using a genetic algorithm with varying population size. *Electric Power Systems Research*, 142, 9-11.
- [13] **Das, D.** (2008). Optimal placement of capacitors in radial distribution system using a Fuzzy-GA method. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 30(6-7), 361-367.
- [14] **Das, S., Das, D. & Patra, A.** (2017). Reconfiguration of distribution networks with optimal placement of distributed generations in the presence of

remote voltage controlled bus. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 772-781..

- [15] **Jayaraman, V. & Ross, A.** (2003). A simulated annealing methodology to distribution network design and management. *European Journal of Operational Research*, 144(3), 629-645.
- [16] **Chiang, H. D. & Jean-Jumeau, R.** (1990). Optimal network reconfigurations in distribution systems. II. Solution algorithms and numerical results. *IEEE transactions on Power delivery*, 5(3), 1568-1574.
- [17] **Parada, V., Ferland, J. A., Arias, M. & Daniels, K.** (2004). Optimization of electrical distribution feeders using simulated annealing. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(3), 1135-1141.
- [18] **Sultana, S. & Roy, P. K.** (2014). Optimal capacitor placement in radial distribution systems using teaching learning based optimization. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 54, 387-398.
- [19] **Imran, A. M. & Kowsalya, M.** (2014). A new power system reconfiguration scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement using fireworks algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 62, 312-322.
- [20] **Imran, A. M., Kowsalya, M. & Kothari, D. P.** (2014). A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 63, 461-472.
- [21] **Arandian, B., Hooshmand, R. A. & Gholipour, E.** (2014). Decreasing activity cost of a distribution system company by reconfiguration and power generation control of DGs based on shuffled frog leaping algorithm. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 61, 48-55.
- [22] **Aman, M. M., Jasmon, G. B., Bakar, A. H. A. & Mokhlis, H.** (2014). Optimum network reconfiguration based on maximization of system loadability using continuation power flow theorem. *International journal of electrical power & energy systems*, 54, 123-133.
- [23] **Kefayat, M., Ara, A. L. & Niaki, S. N.** (2015). A hybrid of ant colony optimization and artificial bee colony algorithm for probabilistic optimal placement and sizing of distributed energy resources. *Energy Conversion and Management*, 92, 149-161.
- [24] **Rao, R. S., Ravindra, K., Satish, K. & Narasimham, S. V. L.** (2013). Power loss minimization in distribution system using network reconfiguration in the presence of distributed generation. *IEEE transactions on power systems*, 28(1), 317-325.
- [25] **Muthukumar, K. & Jayalalitha, S.** (2016). Optimal placement and sizing of distributed generators and shunt capacitors for power loss minimization in radial distribution networks using hybrid heuristic search optimization technique. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 299-319.
- [26] **Andervazh, M. R., Olamaei, J. & Haghifam, M. R.** (2013). Adaptive multi-objective distribution network reconfiguration using multi-objective discrete particles swarm optimisation algorithm and graph theory. *IET Generation, Transmission & Distribution*, 7(12), 1367-1382.

- [27] **Zeinalzadeh, A., Mohammadi, Y. & Moradi, M. H.** (2015). Optimal multi objective placement and sizing of multiple DGs and shunt capacitor banks simultaneously considering load uncertainty via MOPSO approach. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 67, 336-349.
- [28] **Swarnkar, A., Gupta, N. & Niazi, K. R.** (2011). Adapted ant colony optimization for efficient reconfiguration of balanced and unbalanced distribution systems for loss minimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 1(3), 129-137.
- [29] **Esmaceli, M., Sedighizadeh, M. & Esmaili, M.** (2016). Multi-objective optimal reconfiguration and DG (Distributed Generation) power allocation in distribution networks using Big Bang-Big Crunch algorithm considering load uncertainty. *Energy*, 103, 86-99.
- [30] **Sajjadi, S. M., Haghifam, M. R. & Salehi, J.** (2013). Simultaneous placement of distributed generation and capacitors in distribution networks considering voltage stability index. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 46, 366-375.
- [31] **Rajaram, R., Kumar, K. S. & Rajasekar, N.** (2015). Power system reconfiguration in a radial distribution network for reducing losses and to improve voltage profile using modified plant growth simulation algorithm with Distributed Generation (DG). *Energy Reports*, 1, 116-122.
- [32] **Nguyen, T. T., Truong, A. V. & Phung, T. A.** (2016). A novel method based on adaptive cuckoo search for optimal network reconfiguration and distributed generation allocation in distribution network. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 78, 801-815.
- [33] **Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği.** (2003). *T. C. Resmi Gazete*, 25001, 22 Ocak 2003.
- [34] **Enerji Üretimi,** (2011), *MEGEP*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.
- [35] **Schweer, A., & Study Committee Power System Planning and Development** International Conference on Large High Voltage Electric Systems. (1999). *Impact of increasing contribution of dispersed generation on the power system.* Cigré.
- [36] **Hung, D. Q., Mithulananthan, N. & Bansal, R. C.** (2010). Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks. *IEEE Transactions on energy conversion*, 25(3), 814-820.
- [37] **Grainger, J. J. & Lee, S. H.** (1981). Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, (3), 1105-1118.
- [38] **Kennedy, J.** (2010). Particle swarm optimization. *Encyclopedia of machine learning*, 760-766.
- [39] **Del Valle, Y., Venayagamoorthy, G. K., Mohagheghi, S., Hernandez, J. C. & Harley, R. G.** (2008). Particle swarm optimization: basic concepts, variants and applications in power systems. *IEEE Transactions on evolutionary computation*, 12(2), 171-195.
- [40] **Wang, C., Liu, Y. & Zhao, Y.** (2013). Application of dynamic neighborhood small population particle swarm optimization for reconfiguration of shipboard power system. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26(4), 1255-1262.

- [41] **Jin, X., Zhao, J., Sun, Y., Li, K. & Zhang, B.** (2004, November). Distribution network reconfiguration for load balancing using binary particle swarm optimization. In *2004 International Conference on Power System Technology, 2004. PowerCon 2004.* (Vol. 1, pp. 507-510). IEEE.
- [42] **Zimmerman, R. D., Murillo-Sánchez, C. E. & Gan, D.** (1997). Matpower. *PSEERC*. [Online]. Software Available at: <http://www.pserc.cornell.edu/matpower>.
- [43] **Hamour, H., Kamel, S., Abdel-mawgoud, H. & Korashy, A.** (2018, September). Distribution network reconfiguration using grasshopper optimization algorithm for power loss minimization. In *2018 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST)* (pp. 1-5). IEEE.
- [44] **Niknam, T., Fard, A. K. & Seifi, A.** (2012). Distribution feeder reconfiguration considering fuel cell/wind/photovoltaic power plants. *Renewable energy*, 37(1), 213-225.
- [45] **Naik, S. G., Khatod, D. K. & Sharma, M. P.** (2013). Optimal allocation of combined DG and capacitor for real power loss minimization in distribution networks. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 967-973.
- [46] **Lantharthong, T. & Rugthaicharoencheep, N.** (2012). Network reconfiguration for load balancing in distribution system with distributed generation and capacitor placement. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 6(4), 396-401.

EKLER

EK A: Örnek radyal dağıtım şebekelerinin hat ve yük bilgileri



EK A**Çizelge A.1 : 33 baralı radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.**

Hat no	İlk bara	Son bara	Hat parametreleri		Son baradaki yük	
			R (Ω)	X (Ω)	PL (kW)	QL (kVAr)
1	1	2	0.0922	0.0477	100	60
2	2	3	0.4930	0.2511	90	40
3	3	4	0.3660	0.1840	120	80
4	4	5	0.3811	0.1941	60	30
5	5	6	0.8190	0.0700	60	20
6	6	7	0.1872	0.6188	200	100
7	7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	8	9	1.0300	0.7400	60	20
9	9	10	1.0400	0.7400	60	20
10	10	11	0.1966	0.0650	45	30
11	11	12	0.3744	0.1238	60	35
12	12	13	1.4680	1.1550	60	35
13	13	14	0.5416	0.7129	120	80
14	14	15	0.5910	0.5260	60	10
15	15	16	0.7463	0.5450	60	20
16	16	17	1.2890	1.7210	60	20
17	17	18	0.7320	0.5740	90	40
18	2	19	0.1640	0.1565	90	40
19	19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	21	22	0.7089	0.9373	90	40
22	3	23	0.4512	0.3083	90	50
23	23	24	0.8980	0.7091	420	200
24	24	25	0.8960	0.7011	420	200
25	6	26	0.2030	0.1034	60	25
26	26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	27	28	1.0590	0.9337	60	20
28	28	29	0.8042	0.7006	120	70
29	29	30	0.5075	0.2585	200	600
30	30	31	0.9744	0.9630	150	70
31	31	32	0.3105	0.3619	210	100
32	32	33	0.3410	0.5302	60	40
33*	21	8	2.0000	2.0000		
34*	9	15	2.0000	2.0000		
35*	12	22	2.0000	2.0000		
36*	18	33	0.5000	0.5000		
37*	25	29	0.5000	0.5000		

*: bağlantı hatları

Çizelge A.2 : 69 baralı radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.

Hat no	İlk bara	Son bara	Hat parametreleri		Son baradaki yük	
			R (Ω)	X (Ω)	PL (kW)	QL (kVAr)
1	1	2	0.0005	0.0012	0	0
2	2	3	0.0005	0.0012	0	0
3	3	4	0.0015	0.0036	0	0
4	4	5	0.0251	0.0294	0	0
5	5	6	0.3660	0.1864	2.6	2.2
6	6	7	0.3811	0.1941	40.4	30
7	7	8	0.0922	0.0470	75	54
8	8	9	0.0493	0.0251	30	22
9	9	10	0.8190	0.2707	28	19
10	10	11	0.1872	0.0619	145	104
11	11	12	0.7114	0.2351	145	104
12	12	13	1.0300	0.3400	8	5
13	13	14	1.0440	0.3450	8	5.5
14	14	15	1.0580	0.3496	0	0
15	15	16	0.1966	0.0650	45.5	30
16	16	17	0.3744	0.1238	60	35
17	17	18	0.0047	0.0016	60	35
18	18	19	0.3276	0.1083	0	0
19	19	20	0.2106	0.0690	1	0.6
20	20	21	0.3416	0.1129	114	81
21	21	22	0.0140	0.0046	5	3.5
22	22	23	0.1591	0.0526	0	0
23	23	24	0.3463	0.1145	28	20
24	24	25	0.7488	0.2475	0	0
25	25	26	0.3089	0.1021	14	10
26	26	27	0.1732	0.0572	14	10
27	3	28	0.0044	0.0108	26	18.6
28	28	29	0.0640	0.1565	26	18.6
29	29	30	0.3978	0.1315	0	0
30	30	31	0.0702	0.0232	0	0
31	31	32	0.3510	0.1160	0	0
32	32	33	0.8390	0.2816	14	10
33	33	34	1.7080	0.5646	9.5	14
34	34	35	1.4740	0.4873	6	4
35	3	36	0.0044	0.0108	26	18.55
36	36	37	0.0640	0.1565	26	18.55
37	37	38	0.1053	0.1230	0	0
38	38	39	0.0304	0.0355	24	17
39	39	40	0.0018	0.0021	24	17
40	40	41	0.7283	0.8509	1.2	1
41	41	42	0.3100	0.3623	0	0
42	42	43	0.0410	0.0478	6	4.3
43	43	44	0.0092	0.0116	0	0
44	44	45	0.1089	0.1373	39.22	26.3
45	45	46	0.0009	0.0012	39.22	26.3
46	46	47	0.0034	0.0084	0	0

Çizelge A.2 (devam) : 69 baralı radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.

Hat no	İlk bara	Son bara	Hat parametreleri		Son baradaki yük	
			R (Ω)	X (Ω)	PL (kW)	QL (kVAr)
47	47	48	0.0851	0.2083	79	56.4
48	48	49	0.2898	0.7091	384.7	274.5
49	49	50	0.0822	0.2011	384.7	274.5
50	50	51	0.0928	0.0473	40.5	28.3
51	51	52	0.3319	0.1114	3.6	2.7
52	52	53	0.1740	0.0886	4.35	3.5
53	53	54	0.2030	0.1034	26.4	19
54	54	55	0.2842	0.1447	24	17.2
55	55	56	0.2813	0.1433	0	0
56	56	57	1.5900	0.5337	0	0
57	57	58	0.7837	0.2630	0	0
58	58	59	0.3042	0.1006	100	72
59	59	60	0.3861	0.1172	0	0
60	60	61	0.5075	0.2585	1244	888
61	61	62	0.0974	0.0496	32	23
62	62	63	0.1450	0.0738	0	0
63	63	64	0.7105	0.3619	227	162
64	64	65	1.0410	0.5302	59	42
65	11	66	0.2012	0.0611	18	13
66	66	67	0.0047	0.0014	18	13
67	12	68	0.7394	0.2444	28	20
68	68	69	0.0047	0.0016	28	20
69*	11	43	0.5000	0.5000		
70*	13	21	0.5000	0.5000		
71*	15	46	1.0000	1.0000		
72*	50	59	2.0000	2.0000		
73*	27	65	1.0000	1.0000		

*: bağlantı hatları

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Aslı ÇAKIR
Doğum Tarihi ve Yeri : 23/08/1994 İstanbul
E-posta : cakiras287@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı, Elektrik Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- **Operasyonel Uzman**: 2019- Devam, ENGIE Enerji Ticaret ve Pazarlama A.Ş