İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE PSO KULLANILARAK KAYIP MİNİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halime HIZARCI

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

MAYIS 2015

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE PSO KULLANILARAK KAYIP MİNİMİZASYONU

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Halime HIZARCI
(504121018)

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Belgin TÜRKAY

MAYIS 2015

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 504121018 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Halime HIZARCI**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı **"DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE PSO KULLANILARAK KAYIP MİNİMİZASYONU"** başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Belgin TÜRKAY** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Yrd. Doç. Dr. Canan KARATEKİN** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇIN Sakarya Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : **04 Mayıs 2015**
Savunma Tarihi : **26 Mayıs 2015**

Bana her koşulda destek veren Aileme,

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasında bana her konuda destek olan, akademik hayatta bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren değerli hocam Prof. Dr. Belgin TÜRKAY'a, lisansüstü çalışmalarımda bana destek veren Sakarya Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü hocalarına ve araştırma görevlisi arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.
Her koşulda yanımda hissettiğim ve beni bu günlere getiren aileme çok teşekkür ederim.

Mayıs 2015

Halime Hızarcı
(Elektrik Elektronik Mühendisi)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **vii**
İÇİNDEKİLER ..... **ix**
KISALTMALAR ..... **iii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **v**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **vii**
ÖZET ..... **ix**
SUMMARY ..... **xi**
1. GİRİŞ **1**
2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ **5**
2.1 Şebeke Yapıları 5
2.1.1 Radyal (Dallı) şebeke 5
2.1.2 Ring (Halka) Şebeke 6
2.1.3 Ağ (Gözlü) Şebeke 7
2.2 Dağıtım Şebekelerinde Dağıtık Üretim ve Kapasitörler 7
2.2.1 Dağıtık üretim sistemleri 7
2.2.2 Kapasitör bankları 8
3. YENİDEN YAPILANDIRMA PROBLEMİ **11**
3.1 Problemin Tanımı ve Amacı 11
3.2 Yeniden Yapılandırma Probleminin Matematiksel Modeli 12
4. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO) **17**
4.1 PSO Algoritması ve Formülasyonu 17
4.2 PSO Algoritmasının Yeniden Yapılandırma Problemine Uygulanması 21
5. ÖRNEK UYGULAMALAR **25**
5.1 33 Bara Radyal Dağıtım Şebekesi 25
5.1.1 Yeniden yapılandırma uygulaması 26
5.1.2 Dağıtık üretim üniteleri bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması 35
5.1.3 Kapasitör bankları bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması 38
5.2 69 Bara Radyal Dağıtım Şebekesi 41
5.2.1 Yeniden yapılandırma uygulaması 42
5.2.2 Dağıtık üretim üniteleri bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması 50
5.2.3 Kapasitör bankları bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması 55
6. SONUÇ VE ÖNERİLER **59**
KAYNAKLAR **61**
EKLER **67**
ÖZGEÇMİŞ **73**

KISALTMALAR

DÜ	: Dağıtık Üretim
DÜS	: Dağıtık Üretim Sistemleri
PSO	: Parçacık Sürüsü Optimizasyonu
GA	: Genetik Algoritma
SGA	: Saf Genetik Algoritma
GAA	: Guguk Kuşu Arama Algortiması
BYYA	: Bakterilerin Yiyecek Araması Algoritması
YAK	: Yapay Arı Kolonisi
KKO	: Karınca Kolonisi Optimizasyonu
HFA	: Havaifişek Algoritması
İYYA	: İkili Yerçekimsel Arama Algoritması
BAÇA	: Bal Arılarının Çiftleşmesi Algoritması
İUSRA	: İmparatorluk Uyarlamalı Sömürgeci Rekabet Algoritması
kVA	: Kilo Volt-Amper
kW	: Kilo Watt
kVAr	: Kilo Volt-Amper Reaktif
MATLAB	: Matrix Laboratary
GKİ	: Gerilim Kararlılık İndeksi
r	: Direnç
x	: İndüktans
P	: Aktif Güç
Q	: Reaktif Güç
N_b	: Dal sayısı
c_1, c_2	: Öğrenme faktörü katsayıları
w	: Ağırlık katsayısı
V_i^k	: i. parçacığın k. iterasyondaki hızı
X_i^k	: i. parçacığın k. iterasyondaki konumu
X_i^{k+1}	: i. parçacığın (k+1). iterasyondaki konumu
$Pbest_i$	: i. parçacığın en iyi konumu
$Gbest_i$	: Sürüdeki en iyi konum
rand1, rand2	: 0-1 arasında seçilen rassal numara

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 5.1 : 33 bara test şebekesi için PSO sonuçları. 27
Çizelge 5.2 : 33 bara test şebekesi için literatür karşılaştırması. 33
Çizelge 5.3 : 33 bara test şebekesi için DÜ özellikleri 36
Çizelge 5.4 : 33 bara test şebekesi için DÜ üniteli durumda PSO sonuçları 37
Çizelge 5.5 : 33 bara şebeke için DÜ üniteli durumda yöntemlerin karşılaştırılması38
Çizelge 5.6 : 33 bara test şebekesi için kapasitörlü durumda PSO sonuçları. 40
Çizelge 5.7 : 33 bara şebeke için kapasitörlü durumda yöntemlerin karşılaştırılması 41
Çizelge 5.8 : 69 bara test şebekesi için PSO sonuçları. 43
Çizelge 5.9 : 69 bara test şebekesi için literatür karşılaştırması 49
Çizelge 5.10 : 69 bara test şebekesi için DÜ özellikleri 52
Çizelge 5.11 : 69 bara test şebekesi için DÜ üniteli durumda PSO sonuçları 53
Çizelge 5.12 : 69 bara şebeke için DÜ üniteli durumda yöntemlerin karşılaştırılması 54
Çizelge 5.13 : 69 bara test şebekesi için kapasitörlü durumda PSO sonuçları 56
Çizelge 5.14 : 69 bara şebeke için kapasitörlü durumda yöntemlerin karşılaştırılması 57
Çizelge A.1: 33 bara radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri 69
Çizelge A.2: 69 bara radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri 70

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Tek taraftan beslenen radyal şebeke yapısı 6
Şekil 2.2 : Ring (Halka) şebeke yapısı..... 6
Şekil 2.3 : Ağ (Gözlü) şebeke yapısı 7
Şekil 3.1 : Kapalı ring şebeke örneği..... 11
Şekil 3.2 : Dağıtım sistemlerinin elektriksel eş değer devresi..... 13
Şekil 4.1 : PSO algoritmasında parçacıkların hareketi 18
Şekil 4.2 : PSO akış diyagramı 20
Şekil 5.1 : Temel durumda 33 bara radyal dağıtım şebekesi 26
Şekil 5.2 : Yeniden yapılandırma sonrası 33 bara radyal dağıtım şebekesi 28
Şekil 5.3 : 33 bara düşük yük seviyesinde gerilim grafiği..... 29
Şekil 5.4 : 33 bara nominal yük seviyesinde gerilim grafiği 29
Şekil 5.5 : 33 bara aşırı yük seviyesinde gerilim grafiği 30
Şekil 5.6 : 33 bara düşük yük seviyesinde SI grafiği..... 31
Şekil 5.7 : 33 bara nominal yük seviyesinde SI grafiği 31
Şekil 5.8 : 33 bara aşırı yük seviyesinde SI grafiği 32
Şekil 5.9 : 33 bara yüklenme durumlarına göre güç kayıpları..... 33
Şekil 5.10 : 33 bara radyal dağıtım şebekesinin yakınsama grafiği 34
Şekil 5.11 : 33 bara DÜS bağlı durumda şebeke..... 35
Şekil 5.12 : 33 bara DÜS bağlı durumda şebeke (yeniden yapılandırma sonrası) 36
Şekil 5.13 : DÜS'ün bulunduğu durumda 33 bara şebekenin gerilim grafiği 37
Şekil 5.14 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 33 bara şebeke..... 39
Şekil 5.15 : Yeniden yapılandırma sonrası kapasitörlü 33 bara şebeke 40
Şekil 5.16 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 33 bara şebekenin gerilim grafiği.. 41
Şekil 5.17 : Temel durumda 69 bara radyal dağıtım şebekesi..... 42
Şekil 5.18 : Yeniden yapılandırma sonrası 69 bara radyal dağıtım şebekesi 44
Şekil 5.19 : 69 bara düşük yük seviyesinde gerilim grafiği..... 45
Şekil 5.20 : 69 bara nominal yük seviyesinde gerilim grafiği 45
Şekil 5.21 : 69 bara aşırı yük seviyesinde gerilim grafiği 46
Şekil 5.22 : 69 bara düşük yük seviyesinde SI grafiği..... 47
Şekil 5.23 : 69 bara nominal yük seviyesinde SI grafiği 47
Şekil 5.24 : 69 bara aşırı yük seviyesinde SI grafiği 48
Şekil 5.25 : 69 bara yüklenme durumlarına göre güç kayıpları..... 48
Şekil 5.26 : 69 bara radyal ağıtım şebekesinin yakınsama grafiği 50
Şekil 5.27 : 69 bara DÜS bağlı durumda şebeke..... 51
Şekil 5.28 : 69 bara DÜS bağlı durumda şebeke (yeniden yapılandırma sonrası) 52
Şekil 5.29 : DÜS'ün bulunduğu durumda 69 baralı şebekenin gerilim grafiği..... 54
Şekil 5.30 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 69 bara şebeke..... 55
Şekil 5.31 : Yeniden yapılandırma sonrası kapasitörlü şebeke 56
Şekil 5.32 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 69 bara şebekenin gerilim grafiği.. 57

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE PSO KULLANILARAK KAYIP MİNİMİZASYONU

ÖZET

Elektrik dağıtım şebekelerindeki hatlar üzerinde konut, ticari ve endüstriyel tipteki yükler bulunmaktadır ve bu yük türlerinin günlük değişimleri birbirinden farklı olmaktadır. Yüklerde meydana gelen bu değişim, ana dağıtım trafosu ve hatlarda puant yüklere neden olmakta ve bu da şebekenin güvenilir ve kaliteli enerji akışında sorunlar meydana getirmektedir.

Şebekenin yeniden yapılandırılması, yük yoğunluğu fazla olan hattan yüksüz hatta yüklerin aktarılmasını sağlar. Aynı zamanda gerilim profilinin düzeltilmesi ve tüm sistemin güç kaybının azaltılmasını da gerçekler. Hatlar arası yük aktarımı şebekede bulunan anahtarların açık/kapalı durumlarının değiştirilmesiyle sağlanır. Şebekedeki hat sayısının n olduğu ve her hatta bir anahtar olduğu düşünüldüğünde, kayıbın minimum olduğu en uygun yeni bir şebeke yapısının bulunması için 2^n adet anahtarlama durumunu göz önünde bulundurmak gerekir.

Tez çalışmasında yeniden yapılandırma problemine parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) uygulanarak dağıtım şebekesindeki kayıplar azaltılmış ve gerilim profili düzeltilmiştir. Problemin amaç fonksiyonu, toplam güç kaybını minimize eden, en uygun anahtarlama kombinasyonunun belirlenmesidir. Uygun anahtarlamanın seçimiyle şebeke yapısı ilk duruma göre değiştirilmiş ve en az güç kaybı ve en iyi gerilim profilini sağlayan yeni bir radyal şebeke yapısı bulunmuştur.

Tezde önerilen algoritma literatürde sıkça kullanılan iki test şebekesi üzerinde üç farklı yük (nominal, düşük yük, aşırı yük) seviyesinde denenmiş ve sonuçların literatürdeki çalışmalarla karşılaştırılması yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda PSO algoritmasının uygun anahtar kombinasyonunu seçerek en az kaybı ve en iyi gerilim profilini verdiği görülmüştür. Çalışmada gerilim kararlılığı indeksi de kullanılarak, yeniden yapılandırma öncesi ve sonrasında şebekedeki kritik baralar belirlenmiş, bulunan yeni şebeke yapısının kararlılığı da incelenmiştir.

Gelişen teknolojiyle birlikte artan enerji talebi, fosil yakıtların gelecekte tükenebilecek olması ve bu yakıtların çevreye olan zararları, yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini artırmıştır ve literatürde de önemli bir konu halini almıştır.
Dağıtık üretim sistemlerinin etkilerini de incelemek için şebekeye uygun boyutlarda ve uygun baralara yerleştirilen dağıtık üretim sistemleriyle birlikte yeniden yapılandırma konusu tekrar ele alınmıştır. Ayrıca kapasitör banklarının şebekeye eklenmesiyle yeniden yapılandırma probleminin çözümü incelenmiştir. Böylece şebekeye bağlanacak olan aktif ve reaktif güç kaynaklarının şebekedeki etkileri incelenmiştir.

LOSS MINIMIZATION IN DISTRIBUTION NETWORKS BY USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

SUMMARY

In distribution networks, each distribution feeder consist residental, commercial and industrial loads and changes of these loads are different from each others. Daily changes of the load, result with peak loads on main transformator and feeder and this case cause problem on reliable and quality power flow of distribution networks. To relieve feeders and make the network operate reliable and stable conditions, distribution network reconfiguration is an effective method.

Network reconfiguration provides the transfer of the loads from heavily loaded feeder to lightly loaded feeder and as well it is also effective on voltage profile improvement and power loss reduction.

Transfer of the loads between feeders is provided by changing of the open/closed cases of the switches in the distribution network. When we think n is the number of the lines in the distribution network and there is one switch for each line, 2^n switching cases must be considered to find a new optimal network topology which provides minimum power loss and maximum voltage magnitudes.

In this thesis, particle swarm optimization algorithm is used for the distribution network reconfiguration with the objectives of power losses minimization and voltage profile improvement.

Particle swarm optimization algorithm is a swarm-based solution method developed by Kennedy and Eberhart. Algorithm is inspired by social behaviours of bird and fish. Unlike genetic algorithm, particle swarm optimization algorithm has no evolution operations. Advantages of the algorithm are easy implementation to the optimization problems and algorithm has few parameters to adjust. Good choice of the parameters has important impact on the performance of the particle swarm optimization algorithm.

Because of the network reconfiguration problem is a complex combinational optimization problem, the particle swarm optimization algorithm is used for determination of the optimal switching combination that provides objective functions of the network reconfiguration problem. By choosing of the proper switching, network topology has changed in comprasion with the base case and a new network topology which gave the minimum power loss and the best voltage profile has found.

Proposed algorithm in this thesis is tried on two frequently used test networks with three different load levels (nominal, light and heavy) and results are compared with the other methods in literature.

In comprasion, it is seen that the particle swarm optimization algorithm choosed the proper switching combination and gave minimum loss and the best voltage profile.

Voltage stability index is used for the study to determine critical buses in the network before and after the reconfiguration thus voltage stability of the new network topology is examined. Voltage stability indexes are compared the voltage profiles and it is seen that indexes are successful to determine voltage stability.

Distributed generation is a popular issue in the literature nowadays. As the growing demand on energy with the developing technology. And as conventional energy sources are exhaustible, new energy resources are gain importance. The new energy resorces can be given as wind, photovoltaic, fuel cell power plants and they are also enviromentally friendly resources.

Definition of the distributed generation is given as "The generation of electricity energy from plants that are smaller than central generating plants so as to allow interconnection at a point in the power system". Benefits of the distributed generation are given below:

- Power loss reduction.
- Voltage profile enhancement.
- By minimizing feeder loading, improving present network and reduce network additional investments.
- Relieve the feeders by supplying to extra load when the times load density is high.
- Effect of the price change on the electric markets is less than the other users have not distributed generations.
- Distributed generation is clean energy format compared to the fossil fuels.

But improper sizing and allocation of distributed generation units can counter effect the system. In this study, a network used with optimally the distributed generation units.

Solution of the reconfiguration problem is tackled again to examine the effect of distributed generation systems are located on feeders with optimal sizes and allocations in distribution networks. And results showed that distributed generation is an effective method to minimize power losses and improve voltage profile of the distribution network.

Capacitor placement is a one of the loss minimization technique in the literature. Optimally located and proper sized capacitor banks have benefits for the power systems:

- Minimize power loss.
- Voltage profile improvement.
- Power factor correction.
- Stability improvement.
- Control of power flow.

The capacitor banks that will be used in the network must be chosen in proper size and locations. Otherwise, there will be voltage raise in the network and this damages the devices. Besides the raise on the voltage, power losses will be increased.

To show the effects of the capacitor placement, network with optimally located capacitor banks are considered. And solution of reconfiguration problem is analysed. 33 and 69 bus radial distribution test networks are used for the study and loss minimization techniques are tried on the networks. The active and reactive power supplies connected to the network are studied.

In 33 bus distribution network, system is fed by a supply and there are 32 lines and 5 tie switches. And 69 bus distribution has 68 lines and 5 tie switches. These networks are especially choosen to compare the methods in the literature.

Application of the particle swarm optimization algorithm is realized in MATLAB environment and for power flow process, Matpower is used. Because of the discrete form of the reconfiguration problem, discrete particle swarm optimization is proposed in this thesis study.

As a result, application results showed that the network reconfiguration is an efficient and common-used method to reduce power loss and improve voltage profile. And also with optimally located distributed genaration units reduce loss better than the capacitor placement. Three methods for power loss reduction is combined in this study and results are really encouraging.

1. GİRİŞ

Elektrik dağıtım şirketlerinin temel amacı; tüketicilerin enerji talebini güvenilir ve ekonomik bir şekilde karşılamaktır. Dağıtım şebekelerinde, ticari, mesken, endüstriyel yükler gibi farklı tipte yükler bulunmaktadır. Yüklerdeki küçük bir değişim gerilimde çökmelere sebep olabilmektedir. Yük değişimlerinde sistemi kararlı çalışma koşullarında tutmak için şebekenin yeniden yapılandırılması gerekmektedir.

Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması işlemi, şebekedeki anahtarların açılıp/kapatılarak şebeke yapısının değiştirilmesi ve güç kayıplarını azaltan, gerilim kararlılığını iyileştiren en uygun radyal çalışma yapısının bulunmasıdır. En uygun radyal işletim çözümünün bulunması için anahtarların pozisyonun değiştirilerek elde edilen bütün muhtemel ağaçların göz önünde bulundurulmasından dolayı şebekenin yeniden yapılandırılması problemi karmaşık kombinasyonel lineer olmayan optimizasyon problemi haline gelmektedir. Normal çalışma koşulları değiştiğinde, şebekedeki anahtarların durumları değiştirilerek yükler aşırı yüklü hattan yük yoğunluğu az olan hatta aktarılır. Bu işlem şebekede güç kayıplarının azaltılmasını, gerilim şeklinin düzeltilmesini ve hat kapasitesinin artırılmasını sağlar.

Güç kayıplarının azaltılması için dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması ilk olarak Merlin ve Back tarafından önerilmiştir [1]. Referansta, en az güç kaybını verecek olan en uygun şebeke yapısına karar vermek için dal ve sınır optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Yöntemdeki temel mantık, ilk başta bütün anahtarların gözlü bir şebeke kurmak için kapatılması daha sonra anahtarların radyal bir yapı elde etmek için sırayla açılması üzerinedir. Literatürde dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması üzerine pek çok yöntem geliştirilmiştir. Civanlar ve ark., dal değişimi sezgisel algoritmasını önermişlerdir [2]. Daha sonra Baran ve Wu dal değişimi algoritmasını geliştirmişlerdir [3]. Genetik algoritma (GA) tabanlı kayıp azaltılması için yeniden yapılandırma Nara ve ark. tarafından tanıtılmıştır [4]. Ayrıca literatürde birçok GA tabanlı yöntemler de bulunmaktadır [5-8]. Referans [9]'da bakterilerin yiyecek araması algoritması (BYAA) sistemdeki yüklerin dengelenmesi

ve kayıpların azaltılması amacıyla yeniden yapılandırma problemine uygulanmıştır. [10]'da, BYAA yöntemi düzenlenerek radyal dağıtım sistemlerinde güç kaybı azaltılmıştır. Çalışmada algoritmanın yakınsaması da incelenmiştir. Imran ve Kowsalya sürü tabanlı havai fişek algoritmasını (HFA) kayıpların azaltılması amacıyla önermişlerdir [11], çalışmada belirli bir barada değişik türde arızalar olduğu varsayılarak yeniden yapılandırma problemi çözülmüştür. Kaynak [12]'de güç kayıplarını azaltma ve gerilim profilini düzeltme amacıyla en uygun yeniden yapılandırma ve DÜ yerleşimini bulmak için HFA kullanılmıştır. Kurbağaların zıplama hareketinden esinlenerek geliştirilen bir algoritmayla, yeniden yapılandırma problemi çözülmüş ve dağıtım şirketi maliyetlerinin azaltılması üzerine incelemeler yapılmıştır [13]. Kaynak [14]'de ikili grup araştırma algoritması kayıp azaltılması için kullanılmıştır. Çalışma [15]'de Copt-AiNet ve Opt-AiNet algoritmaları, kayıpları azaltacak en uygun radyal yapının bulunması için önerilmiştir. Algoritmalar yapay bağışıklık ağları teorisinden esinlenmiştir. Algoritmaların başlangıçta belirlenmesi gereken birçok parametre içermesi çalışmanın dezavantajıdır. Guguk kuşu arama algoritması (GAA) güç kayıplarının azaltılması ve gerilim şeklinin iyileştirilmesi için şebekenin yeniden yapılandırılması problemine uygulanmıştır [16]. Su ve ark. [17] karınca kolonisi optimizasyonunu (KKO) kayıpları azaltmak için yeniden yapılandırma problemine uygulamışlar ve referans [18]'de bulanık-KKO algoritması yük dengeleme ve yeniden yapılandırma için kullanılmıştır. Rao ve ark. armoni araştırma algoritmasını kayıp azaltmak için kullanmışlar [19] ve algoritma genetik ve geliştirilmiş Tabu aramaları algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Yine başka bir çalışmada aynı algoritma, gerilim şeklinin düzeltilmesi ve kayıpların azaltılması amacıyla yeniden yapılandırma problemine uygulanmıştır [20]. Ayrık yapay arı kolonisi (YAK), sürekli güç akışı teoremini kullanarak sistemin yüklenme faktörünün en büyük değere ulaştırılması için yeniden yapılandırma problemine uygulanmıştır [21]. Yerçekimsel arama algoritması kayıpların azaltılmasında kullanılmıştır [22]. İmparatorluk uyarlamalı sömürgeci rekabet algoritması (İUSRA), yeniden yapılandırma problemi için kullanılmış ve çalışmada sömürgeci rekabet algoritmasının keşif kapasitesini ve yakınsama davranışını geliştirmek için sezgisel bir yasaklı bölge yöntemi önerilmiştir [23]. Niknam ve ark. bal arılarının çiftleşmesi algoritmasını (BAÇA) kullanarak dağıtık üretim sistemlerini de dikkate alan bir yeniden yapılandırma çalışması yapmışlardır [24]. Yine kaynak [25]'de anahtarların açık-kapalı durumlarına karar vermede ikili yer çekimsel arama algoritması (İYAA)

kullanılarak kapasitör yerleştirme ve yeniden yapılandırma çalışması gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmada, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO) dağıtım şebekesinde toplam güç kaybını minimize edecek bir şebeke yapısını bulmak için yeniden yapılandırma problemine uygulanmıştır. Önerilen yöntem 33 bara [3] ve 69 bara [26] radyal dağıtım şebekelerinde test edilmiştir. Gerilim kararlılığı analizleri, gerilim kararlılığı indeksi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şebekeye en uygun boyut ve yerleşimde dağıtık üretim üniteleri ve kapasitör bankları da eklenerek bu birimlerin şebekenin kayıplarına ve gerilimlere olan etkisi de çalışmada incelenen konulardır. Sonuçların geçerliliğini ve başarısını göstermek için literatürde bulunan diğer çalışmalar ile karşılaştırma yapılmıştır.

Tez çalışmasında birinci bölümde tezin amacı, literatür taraması ve tezin yapısından bahsedilmiştir.

Bölüm 2'de dağıtım şebekelerinin türleri verilmiş, dağıtık üretim sistemleri ile kapasitör banklarının dağıtım şebekesine etkileri anlatılmıştır.

Bölüm 3'de yeniden yapılandırma probleminin tanımı yapılmış ve problemin matematiksel modeli; amaç fonksiyonu ve kısıtlarıyla birlikte verilmiştir.

Bölüm 4'de tez çalışmasında geliştirilen parçacık sürüsü optimizasyonu algoritması genel olarak anlatılmış ve yeniden yapılandırma problemine uyarlanışı verilerek daha detaylı bir şekilde incelenmiştir.

Bölüm 5'te literatürde sıkça kullanılan 33 ve 69 bara radyal dağıtım şebeke örnekleri üzerinde yeniden yapılandırma uygulamaları yapılmış ve sonuçların literatürdeki diğer çalışmalarla karşılaştırılması verilmiştir. Bu bölümde ayrıca optimal olarak yerleştirilen dağıtık üretim sistemleri ve kapasitör bankları da şebekeye eklenerek, yeniden yapılandırmanın da dahil edildiği bir durum çalışması yapılarak güç kayıpları ve gerilim profili incelenmiştir.

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

2. ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKELERİ

2.1 Şebeke Yapıları

Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu'nun yayınlamış olduğu Elektrik Şebeke Yönetmeliğine göre dağıtım şebekesi; elektrik enerjisi gerilim seviyesinin 36 kV ve altında olduğu şebekedir [27]. Elektrik enerjisinin dağıtımındaki amaç; kullanıcıya kesintisiz, kaliteli ve güvenilir bir şekilde enerji sağlamaktır. Bu nedenle elektrik şebekeleri, tüketicilerin en uygun ve kesintisiz enerji alabileceği şekilde farklı şebeke türlerinde tasarlanmıştır. Dağıtım şekillerine göre kullanılan şebeke sistemleri [28]:

• Radyal (Dallı) şebekeler

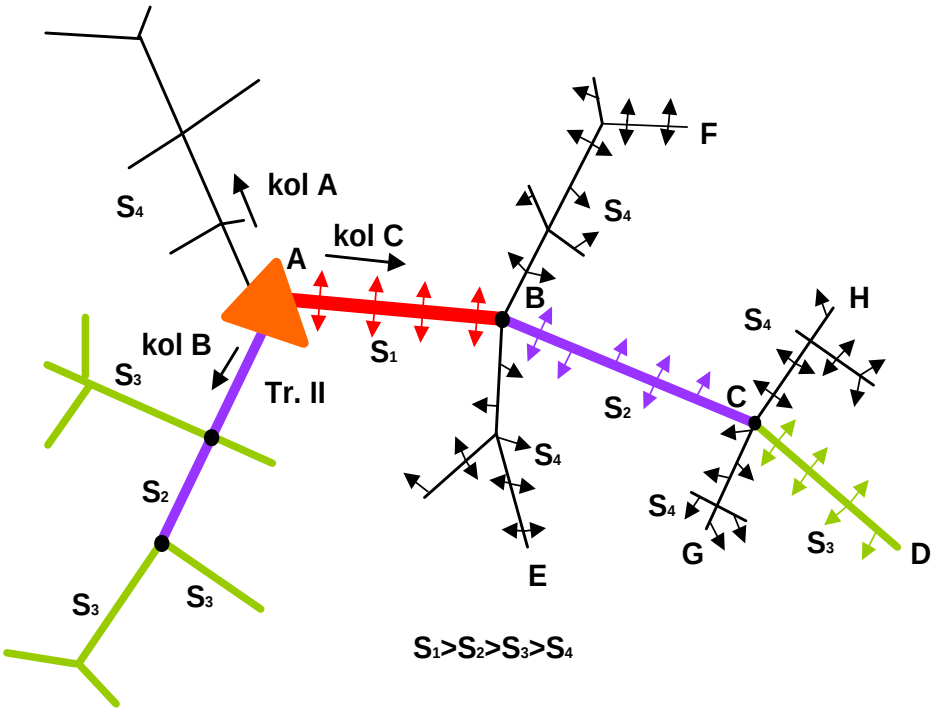
• Ring (Halka) şebekeler

• Ağ (Gözlü) şebekeler olmak üzere üç tiptedir.

2.1.1 Radyal (Dallı) şebeke

Tek kaynaktan beslenen ve şekli ağacın dallarına benzeyen şebeke türüne radyal şebeke denir. Bu şebeke çeşidinde yük yoğunluğunun çevresine göre daha fazla olduğu yere dağıtım trafosu yerleştirilir. Trafoya yakın ana hatlar kalın kesitlidir, ana hattan ayrılan ince dallar branşman hatlarıdır ve en son alıcıya kadar uzanmaktadır. Şekil 2.1'de A, B ve C kollarındaki kalın kesitli hatlar ana hatları, E, F, G ve H gibi ince kesitli hatlar da branşman hatlarını göstermektedir.

Radyal şebekenin ucuz tesis bedeli, işletme ve bakım kolaylığı, hatlarda meydana gelen arızaların tespitinin kolay olması gibi avantajları bulunmaktadır. Bu şebekenin sakıncalı bir özelliği de şebekede herhangi bir arıza olması durumunda çok sayıda tüketicinin enerjisiz kalabilmesidir.

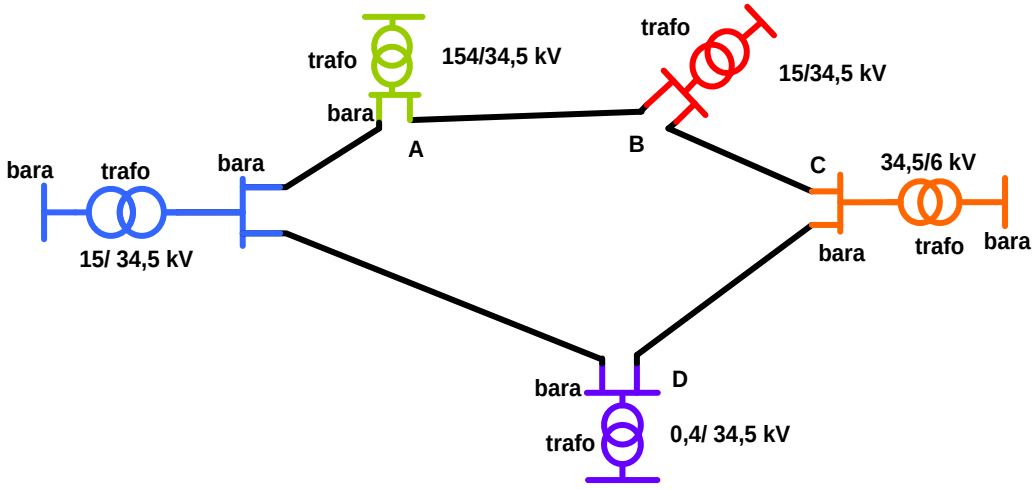


Şekil 2.1 : Tek taraftan beslenen radyal şebeke yapısı

2.1.2 Ring (Halka) Şebeke

Ring (halka) şebeke, radyal şebeke yapısından farklı olarak beslemenin birden fazla dağıtım trafosundan yapıldığı ve trafoların birbirlerine paralel bağlı kapalı bir sistem oluşturduğu şebeke türüdür.

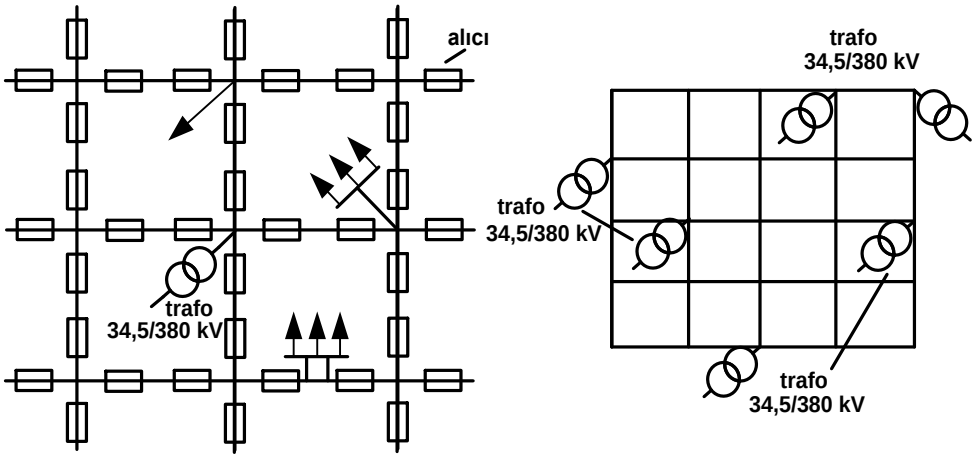
Şekil 2.2'de de görüldüğü gibi bu şebeke yapısında besleme birden fazla trafo ile yapıldığından ringde bir arıza olması durumunda sadece arızalı kısım devre dışı kalır, çok az sayıda alıcının enerjisiz kalması sağlanmış olur.



Şekil 2.2 : Ring (Halka) şebeke yapısı.

2.1.3 Ağ (Gözlü) Şebeke

Ağ (gözlü) şebekede Şekil 2.3'de gösterildiği gibi, besleme birden fazla trafo ile yapılmaktadır ve tüketicileri besleyen hatların ağ gibi örülmüş gözlerden oluştuğu şebeke türüdür. Ring şebekeye benzer olarak besleme süreklidir ve arıza durumunda şebekede sadece arızalı kısım devre dışı kalır. Diğer bölgeler kesintiden etkilenmez. Fakat beslemenin bir yerden yapıldığı durumda ana dağıtım trafosunda arıza meydana geldiğinde şebekenin tamamı enerjsiz kalır. Kesintisiz ve sürekli enerji sağlanması, gerilim düşümlerinin az oluşu ve sistemin güçlü alıcıları taşıma kapasitesinin yüksek olması gibi avantajları vardır. Ayrıca kısa devre akımının etkisi ve işletme-bakımlarının zorluğu gibi dezavantajları vardır.



Şekil 2.3 : Ağ (Gözlü) şebeke yapısı.

2.2 Dağıtım Şebekelerinde Dağıtık Üretim ve Kapasitörler

2.2.1 Dağıtık üretim sistemleri

Gelişen teknolojiyle birlikte artan güç talebi elektrik enerjisi üretiminde hidroelektrik, termik ve doğalgaz santralleri gibi geleneksel enerji üretimlerine alternatif olarak güneş, rüzgar, biyogaz, yakıt hücreleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelişi başlatmış ve bu kaynakların enerji üretimindeki payı giderek artmaktadır. Bu tür yeni enerji üretimine Dağıtık Üretim (DÜ) adı verilmektedir.

Literatürde DÜ için belirli bir tanım bulunmamakla birlikte genel olarak kabul edilen tanım Ackerman ve ark. tarafından önerilmiş olan "dağıtım şebekesine veya yük yoğunluğunun fazla olduğu bölgelere doğrudan bağlanabilen ve 50 MW'dan düşük güçlü üretim birimleri" ifadesidir [29].

DÜ'ler dağıtım sistemine doğrudan bağlı ya da sayaç üzerinden şebekeye bağlıdır ve bu da DÜ'lerin dağıtım seviyesinde olduğunu göstermektedir.

Son zamanlarda, dağıtık üretim sistemleri (DÜS) dağıtım sistemlerinin planlanmasında önemli bir rol oynamaktadırlar. Literatürde, DÜS'lerinin şebekeye entegrasyonu ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır [30-38]. Güç sistemlerinde DÜS'lerin pek çok avantajı vardır. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir [39].

- Şebeke kayıplarının azaltılması.
- Gerilim profilinin düzenlenmesi.
- Hatlardaki yüklenmelerin azaltılmasıyla mevcut şebekenin iyileştirilmesi ve ilave şebeke yatırımları ihtiyacının olmaması.
- Yük yoğunluğunun fazla olduğu zaman dilimlerinde fazla yükü karşılayarak şebekeyi rahatlatma.
- Elektrik piyasalarında meydana gelen fiyat değişimlerinden DÜ kullanan tüketiciler kendi enerjilerini ürettikleri için daha az etkilenmesi.
- Fosil yakıtlara göre çevre dostu bir enerji üretim şekli olmasıdır.

DÜS'lerin şebekeye bağlantısında uygun yer ve boyut seçimi çok önemlidir. Bağlantı yapılacak baranın doğru seçilmediği ve DÜ boyutunun uygun olmadığı durumlarda, gerilimde aşırı yükselme ve güç kayıplarında artış meydana gelerek yukarıda bahsedilen avantajlar dezavantaja dönüşebilmektedir.

2.2.2 Kapasitör bankları

Elektrik şebekelerinde kapasitörler, reaktif güç desteğini sağlamak amacıyla yaygın olarak kullanılmaktadır. Kapasitörlerin şebekeye bağlantısının sağladığı faydalar aşağıdaki gibidir.

- Yük baralarındaki gerilimin yükseltilmesi
- Şebeke kayıplarının azaltılması
- Güç faktörü (cosφ) değerinin büyütülmesi
- Hatlardaki yüklenmenin azaltılması

Kapasitörlerin dağıtım şebekesine bağlantısında dikkat edilmesi gereken durum, kapasitörlerin uygun boyut ve bağlantı noktalarında olmasıdır. Şebekenin yük profili de göz önünde bulundurularak, kVAr cinsinden kapasitör boyutu anahtarlamalı (switched), sabit (fixed) üniteler ya da iki türün birlikte kullanılmasıyla sağlanır.

Tesis maliyeti açısından anahtarlamalı kapasitörler pahalı olarak görülse de ileriki zamanlarda şebekeye eklenecek yeni yükler de hesaba katılarak anahtarlamalı kapasitör banklarının tercih edilmesi daha avantajlı olacaktır. Böylece yükte meydana gelen değişimler için ilave sabit kapasitör eklemek yerine anahtarlamalı kapasitörlerle bir üst kademeye çıkılarak şebekeye reaktif güç sağlanır.

Optimal kapasitör yerleşimi konusu 1960'lı yıllardan bu yana literatürde önemli bir araştırma konusu olmuştur. 80'lerde Grainger [40] tarafından önerilen çalışmada sezgisel temelli yöntemle kapasitör yerleştirme konusu daha detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu alandaki çalışmalara referans olmuştur. Daha sonraki yıllarda da literatürde minimum kayıpları veren, gerilim profilinin iyileştirilmesini sağlayacak şekilde kapasitör yerleşimi, boyutlandırılması ve türü üzerine pek çok çalışma mevcuttur [25, 41-43]. Bu çalışmalarda amaç fonksiyonu çeşitli algoritmalar kullanılarak optimize edilmiştir.

Kapasitör yerleşimi tek başına güç kayıplarını azaltmada kullanıldığı gibi, yeniden yapılandırma da uygulanarak kayıplar önceki duruma göre biraz daha azaltılabilmektedir. Litatürde de eş zamanlı kapasitör yerleşimi ve yeniden yapılandırma işlemi üzerine çalışmalar bulunmaktadır.

Çalışmalarda amaç fonksiyonları, yük ve işletme kısıtları göz önünde bulundurularak incelenmiştir. Kapasitörler kullanarak reaktif güç kompanzasyonu ile hatların taşıma kapasiteleri iyileştirilmekte ve yeni hat tesisi için yatırım gereksinimleri azaltılmaktadır. Hatlardaki reaktif güç akışı azaltılarak daha verimli ve kaliteli bir şekilde güç transferi yapılabilmektedir.

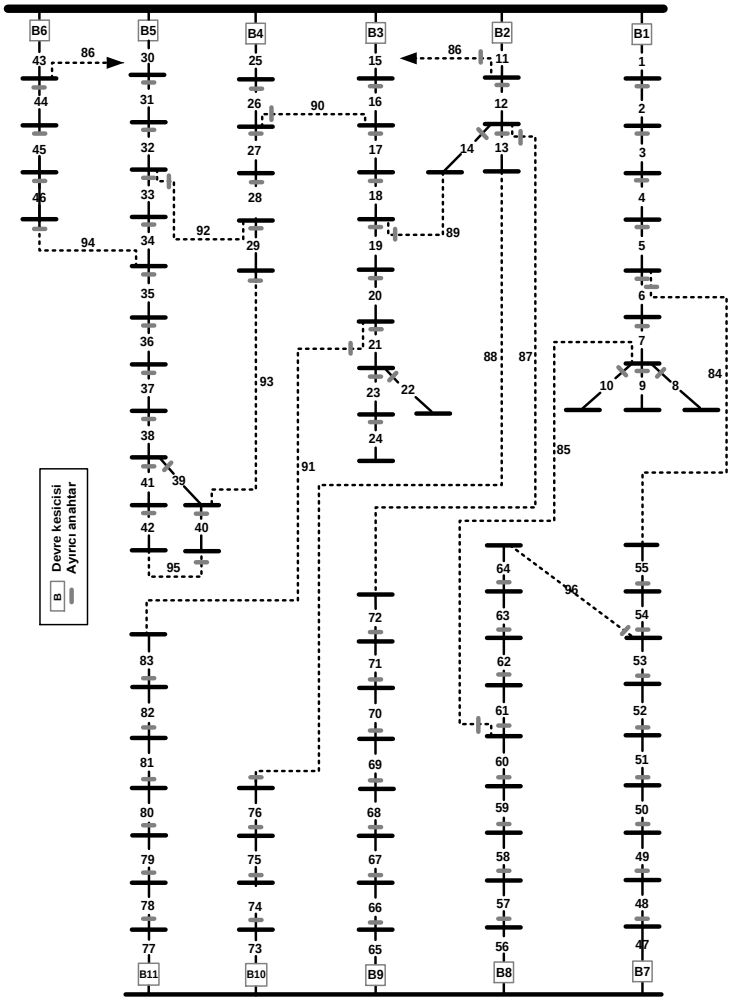
Kapasitörlerin şebekeye uygun yerleşimi yapılmaz ise yukarıda belirtilen avantajlar dezavanataja dönüşmekte gerilimde yükselmeler ve hat kayıplarında artış olmaktadır.

Kapasitörler, dağıtım şebekelerinde kompanzasyon için sıkça kullanılmaktadır. DÜ üniteleri ile karşılaştırıldığında tesis maliyeti ve yer işgali açısından daha ekonomik bir yöntemdir. Ancak DÜ ünitelerinin kayıp azaltmadaki etkisinin kapasitörlere göre daha fazla olduğu Bölüm 5'de yapılan incelemelerde görülmüştür.

3. YENİDEN YAPILANDIRMA PROBLEMİ

3.1 Problemin Tanımı ve Amacı

Dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırılması, şebekedeki anahtarların durumlarının (açık veya kapalı) değiştirilerek, şebeke topolojisinin değiştirilmesi işlemidir. Yeniden yapılandırma, dağıtım sistemlerinin işletilmesinde kullanılan önemli bir yöntemdir ve şebekenin güvenilirliğini arttırır. Dağıtım şebekeleri enerji sürekliliğini sağlamak amacıyla Şekil 3.1'deki gibi kapalı ring şebeke olarak tasarlanır fakat işletme kolaylığı açısından açık ring yani radyal şebeke olarak işletilir.



Şekil 3.1 : Kapalı ring şebeke örneği [44].

Yeniden yapılandırmanın kullanıldığı alanlar:

- Arıza durumunda servis restorasyonu,
- Bakım için planlı kesintiler
- Kayıp azaltma
- Yük dengeleme
  a) Şebekedeki aşırı yüklü kısımları rahatlatma
  b) Gerilim profilini düzeltmedir.

Şebekenin yeniden yapılandırılmasında anahtarlama işlemi temel kontrol hareketidir. Şebekede normalde kapalı olan ayırıcı ve normalde açık olan bağlantı anahtarları bulunmaktadır. Açık bir anahtarı kapatıp, kapalı olanı da açarak sistemin radyal yapıda kalması sağlanır. Bunun yanında şebekede birçok aday anahtarlama kombinasyonu olduğundan, şebekenin yeniden yapılandırılması karmaşık bir problem haline gelmektedir. Anahtarların açık-kapalı (0-1) durumunun modellenmesi ayrık (discrete) ya da ikili optimizasyon problemi olarak ifade edilir.

Anahtarların ikili yapısı ve radyallik kısıtları; klasik optimizasyon tekniklerinin yeniden yapılandırma probleminin çözümünde kullanılmasına olanak sağlar. Bu yüzden literatürdeki algoritmaların çoğu analitik ya da bilgi tabanlı yaklaşımların kullanıldığı sezgisel arama temelli yöntemlerdir. Literatürdeki algoritmalar temelde iki tiptedir [45]:

1- Dal değiştirme (branch exchange) yöntemi: Sistem uygun bir radyal yapıda çalışır ve algoritma aday anahtar çiftlerini açıp kapatır [45].
2- Ring (loop) kesme yöntemi: Sistem tamamen gözlü yapıdadır ve algoritma uygun radyal yapıya ulaşmak için aday anahtarları açar [45].

Literatürde incelenen çalışmalarda daha çok dal değiştirme yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Yine tez çalışmasında dal değiştirme yöntemi uygulanmış ve şebekenin radyal yapısından hareketle problemin çözümü gerçekleştirilmiştir.

3.2 Yeniden Yapılandırma Probleminin Matematiksel Modeli

Şebekenin yeniden yapılandırılması, çok sayıda anahtarlama durumunun olmasından dolayı karmaşık kombinasyonel bir problemdir ve belirlenen kısıtları sağlayan bir amaç fonksiyonu ile tanımlanır. Bu çalışmadaki amaç fonksiyonu güç kayıplarının azaltılmasıdır ve Denklem (3.1) ile ifade edilmiştir. Ayrıca çalışmada gerilim

kararlılığı konusu da incelenmiş ve gerilim kararlılığının belirlenmesinde literatürde sıkça kullanılan kararlılık indeksi tercih edilmiştir.

Güç kayıplarının azaltılması: Dağıtım sistemlerinde güç kaybının azaltılması önemli bir faktördür ve dallardaki güç kayıplarının toplanmasıyla hesaplanır.

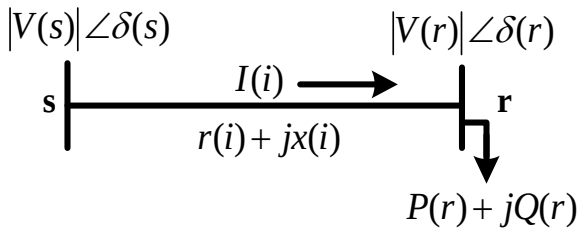
$$\min P_L = \sum_{i=1}^{N_n} r_{ij} \left(\frac{P_i^2 + Q_i^2}{\left|V_i^2\right|} \right) \tag{3.1}$$

Amaç fonksiyonunun belirlenmesi kadar problemin kısıtlarını belirlemek de önemlidir. Bu problemde şebekenin yapısal ve elektriksel sınırlamaları problemin kısıtları olarak belirlenmiştir. Yeniden yapılandırma probleminin kısıtları aşağıda verildiği gibidir:

- Bara gerilimi sınırları: $V_{i,min} \le V_i \le V_{i,max} \qquad i \in N_d$
- Hattın kapasite sınırları: $I_i \le I_{i,max}$
- Radyal şebeke yapısına uygunluk ve yük bağlantıları: Yeniden yapılandırma sonrası elde edilen yeni şebeke topolojisi radyal şebeke olmalı, herhangi bir çevre oluşturmamalı ve bütün yükler şebekeye bağlı ve enerjilendirilmiş olmalıdır.

Gerilim kararlılık indeksi (Stability Index-SI) : Gerilim kararlılığı indeksi dağıtım sistemlerinde sürekli hal gerilim kararlılığı hakkında önemli bir bilgi vermektedir. İndeks değişimine bakılarak şebekenin kararsızlık noktasına yakın olduğu baralar belirlenmektedir.

N baralı radyal bir dağıtım sistemi Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Şekilde, dağıtım sistemlerindeki alıcı ve gönderici baralar bulunmaktadır ve bu baralar bir hat ile seri bağlıdırlar.



Şekil 3.2 : Dağıtım sistemlerinin elektriksel eşdeğer devresi.

Şekildeki örnek dağıtım sistemi için gerilim kararlılığı indeksi, referans [46] daki gibi tanımlanabilir,

$$I(i) = \frac{V(s) - V(r)}{r(i) + jx(i)} \tag{3.2}$$

$$P(r) - Q(r) = V^*(r) I(i) \tag{3.3}$$

N : bara sayısı;

i : dal sayısı;

$SI(r)$: r baranın indeksi (r = 2, 3,..,N);

$r(i)$: i dalının direnci;

$x(i)$: i dalının reaktansı;

$V(s)$: s barasının gerilimi;

$V(r)$: r barasının gerilimi;

$P(r)$: r barası boyunca beslenen aktif güç;

$Q(r)$: r barası boyunca beslenen reaktif güç.

Denklem (3.2) ve (3.3) birlikte kullanılarak Denklem (3.4) aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\begin{aligned} &|V(r)|^4 - \{|V(r)|^2 - 2P(r)r(i) - 2Q(r)x(i)\}|V(r)|^2 + \\ &\left\{P^2(r) + Q^2(r)\right\}\left\{r^2(i) + x^2(i)\right\} = 0 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Denklemde işlem kolaylığı sağlamak için (3.5), (3.6) kabulleri yapılırsa kısaca Denklem (3.7) elde edilir.

$$b(i) = |V(s)|^2 - 2P(r)r(i) - 2Q(r)x(i) \tag{3.5}$$

$$c(i) = \left\{P^2(r) + Q^2(r)\right\}\left\{r^2(i) + x^2(i)\right\} \tag{3.6}$$

$$|V(r)|^4 - b(i)|V(r)|^2 + c(i) = 0 \tag{3.7}$$

Denklem (3.7)'nin çözümü tektir ve (3.8) ile verilmiştir.

$$\left|V(r)\right| = 0.707\left\{b(i) + \sqrt{b^2(i) - 4c(i)}\right\}^{\frac{1}{2}} \tag{3.8}$$

$$b(i)^2 - 4c(i) \geq 0 \tag{3.9}$$

Denklem (3.9)'da, denklem (3.5) ve (3.6)' daki ifadeler yerine konulur ve denklemin yeniden düzenlenmesinden sonra aşağıdaki Denklem (3.10) elde edilir.

$$\left|V(s)\right|^4 - 4\left\{P(r)x(i) - Q(r)r(i)\right\}^2 - 4\left\{P(r)r(i) + Q(r)x(i)\right\}\left|V(s)\right|^2 \geq 0 \tag{3.10}$$

Sonuç olarak r barası için SI denklemi (3.11)'deki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} SI(r) &= \left|V(s)\right|^4 - 4.0\left\{P(r)x(i) - Q(r)r(i)\right\}^2 \\ &-4.0\left\{P(r)r(i) + Q(r)x(i)\right\}\left|V(s)\right|^2 \end{aligned} \tag{3.11}$$

Eğer SI değerleri 0'dan büyükse sistem kararlı koşullarda çalışır değilse kararsızlık ortaya çıkabilir. İndeks değeri en küçük olan bara kritik bara olarak belirlenir ve kritik bara gerilim çökmelerine karşı en hassas baradır.

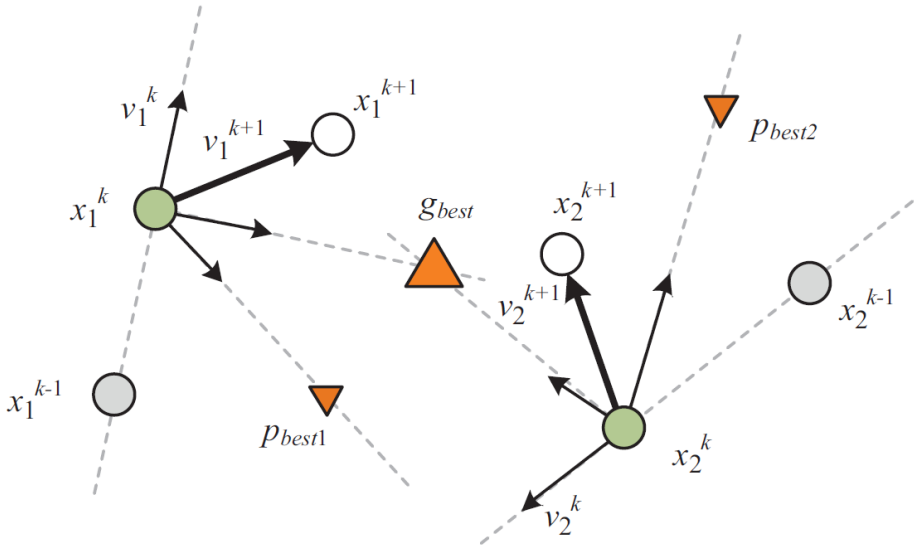
4. PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU (PSO)

4.1 PSO Algoritması ve Formülasyonu

Parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), 1995 yılında Kennedy ve Eberhart tarafından kuş ve balık sürülerinin davranışlarından esinlenerek optimizasyon problemlerinin çözümü için geliştirilmiştir [47]. PSO sürü tabanlı bir optimizasyon yöntemidir. PSO'nun az parametre gerektirmesi ve yerel minimuma takılma riskinin az olması, çok boyutlu karmaşık problemlere kolay uygulanabilir olması gibi üstünlükleri bulunmaktadır.

PSO algoritmasına örnek olarak kuş sürülerinin yiyecek arama davranışları verilebilir. Sürüdeki her bir kuşun (parçacık) kendine ait bir hız ve konum değişimiyle, sürü çözüm uzayında hareket etmektedir. Her bir kuş, başlangıç konumu ve hızıyla yiyecek aramaya başlar. Kuşlar yiyecek ararken yiyeceğe en yakın olan kuşu takip ederler. Parçacıklar yani kuşlar, hareketleri sırasında kendi koordinatlarını bir fonksiyona göndermektedirler ve bu sayede parçacıkların uygunluğu başka bir deyişle yiyeceğe olan uzaklığı ölçülmektedir.

PSO sürü tabanlı bir algoritma olduğu için sürüdeki her bir parçacığın konum bilgisi sürüdekilerle paylaşılmalıdır. Her tekrarlamada parçacık konumları pbest (parçacığın en iyi değeri) ve gbest (sürü içindeki en iyi değer) değerlerine göre güncellenir. Yani bir parçacığın çözüm uzayındaki her boyuttaki hızının ve yönünün her tekrarda nasıl değişeceği, komşularının en iyi koordinatları ve kendi kişisel en iyi koordinatlarının bir birleşimi olmaktadır. Parçacıkların çözüm uzayındaki hareketi Şekil 4.1 ile gösterilmiştir. Algoritma, döngü durdurma kriterine ya da maksimum iterasyon sayısına ulaşıldığında sonlandırılır.



Şekil 4.1 : PSO algoritmasında parçacıkların hareketi [48].

Problemde *d* adet parametreden oluşan *n* adet parçacık olduğunu varsayalım. Sürünün parçacık matrisi Eşitlik (4.1)'deki gibidir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & \cdots & x_{1d} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & \cdots & x_{2d} \\ \vdots & \cdots & \ddots & \cdots & \vdots \\ \vdots & \cdots & \cdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & \cdots & x_{nd} \end{bmatrix}_{n \times d} \tag{4.1}$$

Parçacık sürüsü matrisindeki *i.* parçacık, (4.2)'deki gibi matrissel formda ifade edilir.

$$x_i = \begin{bmatrix} x_{i1} & x_{i2} & x_{i3} & \cdots & x_{id} \end{bmatrix} \tag{4.2}$$

Önceki en iyi uygunluk değerini veren *i.* parçacığın pozisyonu ($pbest_i$) matrisi (4.3) ile verilmiştir.

$$pbest_i = \begin{bmatrix} p_{i1} & p_{i2} & p_{i3} & \cdots & p_{id} \end{bmatrix} \tag{4.3}$$

gbest sürüdeki en iyi parçacıktır ve (4.4)'deki gibi matrissel formda gösterilir.

$$gbest_i = \begin{bmatrix} g_{i1} & g_{i2} & g_{i3} & \cdots & g_{id} \end{bmatrix} \tag{4.4}$$

Yine (4.5) ile verilen matrisle *i*. parçacığın hızı;

$$v_i = \left[v_{i1} \;\; v_{i2} \;\; v_{i3} \;\; \cdots \;\; v_{id} \right] \tag{4.5}$$

olarak ifade edilir. Global ve bireysel en iyi değerlerin bulunmasıyla parçacık hızı Eşitlik (4.6) ve konumu Eşitlik (4.7) ile güncellenir.

$$v_{id}^{k+1} = w \times v_{id}^{k} + c_1 \times rand1 \times (p_{id} - x_{id}^{k}) + c_2 \times rand2 \times (p_{gd} - x_{id}^{k}) \tag{4.6}$$

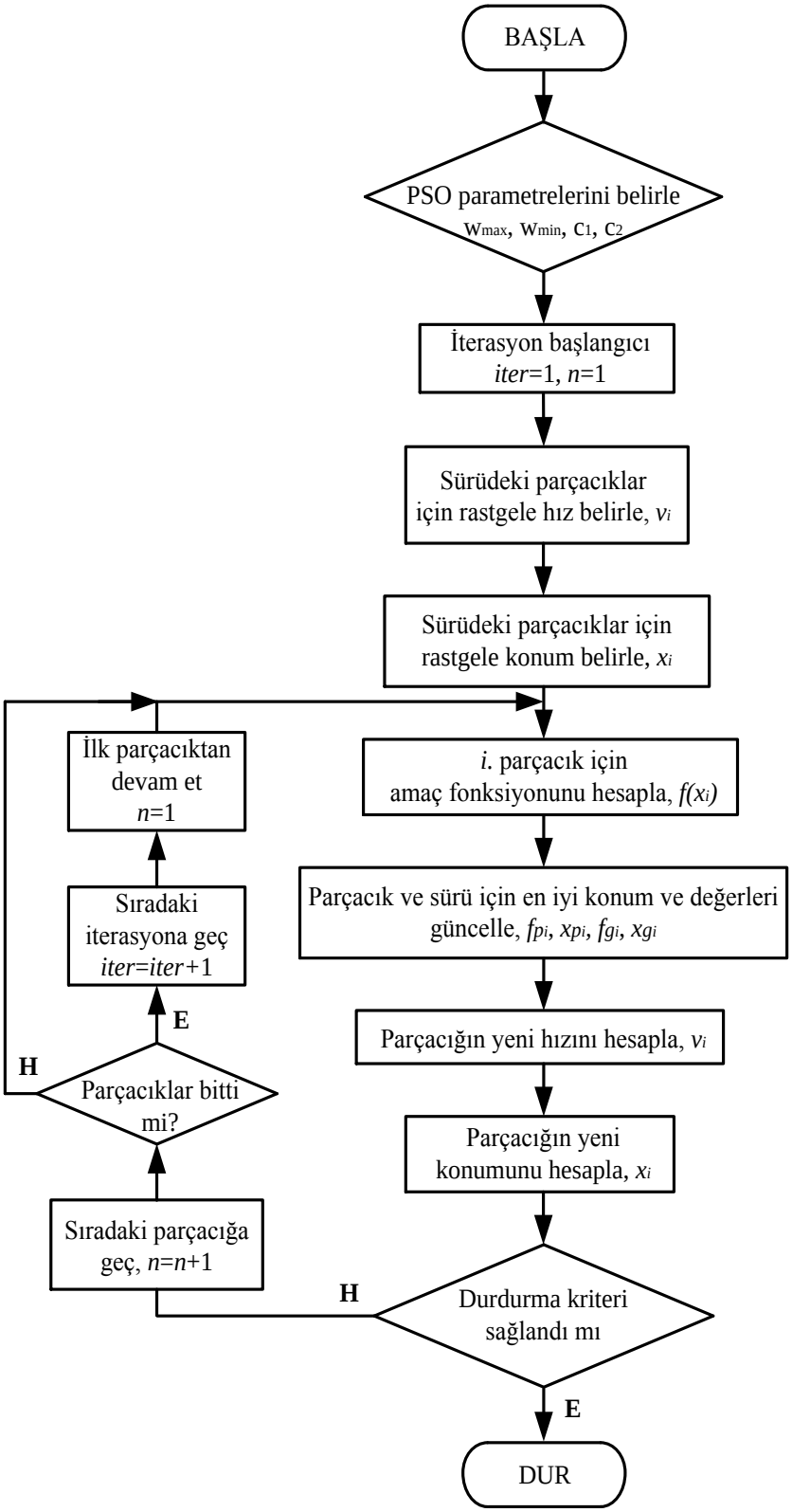
$$x_i^{k+1} = x_i^{k} + v_i^{k+1} \tag{4.7}$$

Burada v_{id} ; k . iterasyonda d boyutunda i parçacığının hızı, $rand()$ 0 ve 1 arasında rassal bir değişken, x_{id}^{k} k . iterasyonda d boyutunda i parçacığının konumu, p_{id} i parçacığının en iyi konumu, p_{gd} bütün sürü içerisindeki en iyi konumu ifade etmektedir. Eşitlikte yer alan c_1 ve c_2 öğrenme faktörü katsayılarıdır. c_1, sürüdeki bir parçacığın kendi tecrübelerine göre hareket etmesini sağlayan bir parametredir. Benzer şekilde c_2 ise sürüdeki diğer parçacıkların kendi tecrübelerine göre hareket etmelerini sağlamaktadır. Öğrenme faktörlerinin küçük değerde seçilmesi parçacıkların hedef bölgeden daha uzak yerlerde gezinmesine imkan tanır böylece arama uzayı genişletilmiş olur. Ancak bu işlem sonuca ulaşma süresini arttırmaktadır. Değerlerin büyük seçilmesi ise hedefe ulaşmayı hızlandırmakta ve beklenmeyen bir hareket durumunda da hedef bölgenin gözden kaçmasına neden olabilmektedir. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında öğrenme faktörü değerinin $c_1 = c_2 = 2.0$ seçilmesinin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

w, eylemsizlik ağırlığı parametresidir ve genellikle 0.2 ile 2 arasında değer almaktadır. Algoritmada bu parametre yerel ve global aramalar arasındaki dengeyi sağlamak için kullanılmaktadır. Eylemsizlik ağırlığının uygun seçilmesi global optimum değerini bulmak için önemlidir. w değerinin büyük seçilmesiyle PSO, global arama, küçük seçilmesiyle de yerel arama yapan bir algoritma gibi davranır. Bu parametrenin doğru seçilmesi ile az sayıda iterasyonla en uygun sonuca ulaşılır. w eylemsizlik ağırlığının k . iterasyonundaki fonksiyonu Eşitlik (4.8)'de verilmiştir.

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

w_{max}, w_{min} ve k sırasıyla maksimum, minimum ağırlıklar ve şimdiki iterasyondur. PSO algoritmasının akış diyagramı Şekil 4.2'de verilmiştir.



Şekil 4.2 : PSO akış diyagramı.

4.2 PSO Algoritmasının Yeniden Yapılandırma Problemine Uygulanması

Bu çalışmada, PSO algoritması dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması problemini çözmek için kullanılmıştır. Algoritmada sürü olarak adlandırılan parçacık grubu bulunmakta ve her bir parçacığın *d*-boyutlu uzayda bir pozisyonu vardır. *d* optimize edilecek değişken sayısını göstermektedir.

Dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması probleminin çözüm adımları aşağıdaki gibidir [49]:

Adım 1: PSO parametrelerinin hazırlanması.

İlk önce PSO için gerekli parametrelere değer atanır. Bu değerler;

N: iterasyon sayısı (100).

n: popülasyon boyutu (30).

d: arama uzayının boyutu (bağlantı anahtarı sayısı=5).

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

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

Adım 2: Anahtarlama kombinasyonunu içeren, rastgele bir başlangıç popülasyonu, ilk konum ve ilk hızlar için 30x5 boyutunda matrisler oluşturulur. Uygunluk değerinin hesabı için popülasyon boyutunda tek satırlık boş bir matris hazırlanır.

Adım 3: Güç akışı için şebeke verileri programa yüklenir ve baralar arası bağlantıyı kontrol etmek için dal bağlantısı (branch incidence) matrisi oluşturulur. Bu matriste birbirleriyle bağlantısı olan baralara 1 değeri atanırken bağlantısı olmayan baralara ise 0 değeri verilir. Bağlantı matrisi ile şebekede meydana gelebilecek kapalı çevrelerin takibi yapılabilir.

Adım 4: Ana döngüde iterasyon sayısına göre; her bir parçacık için hız ve konum belirlemesi yapılır. Burada eylemsizlik ağırlığı Eşitlik 4.8'de verildiği gibi iterasyon sayısıyla azaltılarak daha geniş bir arama yapılır.

for $d = 1:D$

$v_{id} = w \times v_{id} + c_1 \times rand1 \times (p_{id} - x_{id}) + c_2 \times rand2 \times (p_{gd} - x_{id})$

if $rand < S(v_{id})$ $\quad x_{id} = 1$

else $x_{id} = 0$

end

end

Yukarıdaki döngü kullanılarak, parçacıklar için hızlar ve konumlar hesaplanarak matrissel formda kaydedilir. Burada Eşitlik (4.9)'da verilen $S(x)$, parçacık hızlarını 0 ve 1 arasında ölçeklendiren sigmoid fonksiyonudur. Bu nedenle algoritma ayrık ya da ikili PSO adını alır.

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

Yeniden yapılandırma probleminde, anahtarların durumuna ait x matrisi, yukarıda anlatılan şekilde (4.10)'daki gibi 0 ve 1'lere dönüştürülür.

$$x = \begin{bmatrix} 0 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & 1 \end{bmatrix}_{n \times d} \tag{4.10}$$

Eşitlikte n; sürünün popülasyonunu, d ise bağlantı anahtarı sayısını ifade eder. Bu problem için matrisin boyutu 30x5 olmaktadır.

Adım 5: Amaç fonksiyonu hesabı yapılır. Bu kısımda algoritma; sürüden elde ettiği anahtarlama kombinasyonuna göre oluşan radyal şebeke için güç akışını gerçekleştirerek amaç fonksiyonunu hesaplar. Güç akışı için programa anahtarlama kombinasyonuna göre şebekenin hat ve yük bilgileri gönderilir.

Adım 6: i parçacığı için uygunluk fonksiyonu (fitness function) kontrol edilir. Ayrıca problem için verilen kısıtlara bakılarak şartların sağlanması kontrol edilir. *Pbest* güncellenir, bulunan konum öncekinden daha iyi ise *Pbest* olarak seçilir. Eğer konum *Gbest*'den daha iyi ise *Gbest*'in değeri olarak atanır.

Adım 7: Durdurma kriterini kontrol edilir, eğer sağlıyorsa *Gbest* problemin en uygun çözümü seçilir, değilse algoritmada Adım 4'e geri dönülür.

Eğer iterasyon sayısı belirlenen değere ulaştı ise, algoritma sonlandırılır. Çalışmada kullanılan algoritmanın doğruluğunu kontrol etmek için program 20 tekrar ile çalıştırılmış ve optimal sonuçlar Bölüm 5'de her iki test şebekesi için de verilmiştir.

5. ÖRNEK UYGULAMALAR

Bu bölümde tez çalışmasında geliştirilen PSO ile yeniden yapılandırma yöntemi 33 ve 69 bara radyal dağıtım şebekelerine uygulanmıştır. Yapılan benzetim çalışmalarında, yüklerin yeniden yapılandırma problemine etkisini incelemek için yarı yük ($0.5P_n$), nominal (P_n) ve aşırı yük ($1.6P_n$) olmak üzere üç farklı yüklenme seviyesi kullanılmıştır.

Ayrıca test şebekelerine dağıtık üretim sistemleri ve kapasitör bankları optimal boyutlarda ve en uygun baralara yerleştirilerek yeniden yapılandırmanın farklı koşullar altında şebekeye etkisi incelenmiştir.

Çalışmada PSO algoritması için MATLAB R2013b programı ve dağıtım şebekesinin güç akışı kısmında ise Ray Zimmerman tarafından geliştirilen MATPOWER [50] kullanılmıştır.

Dağıtım şebekesinin analizinde yapılan kabuller aşağıda verilmiştir [51,52];

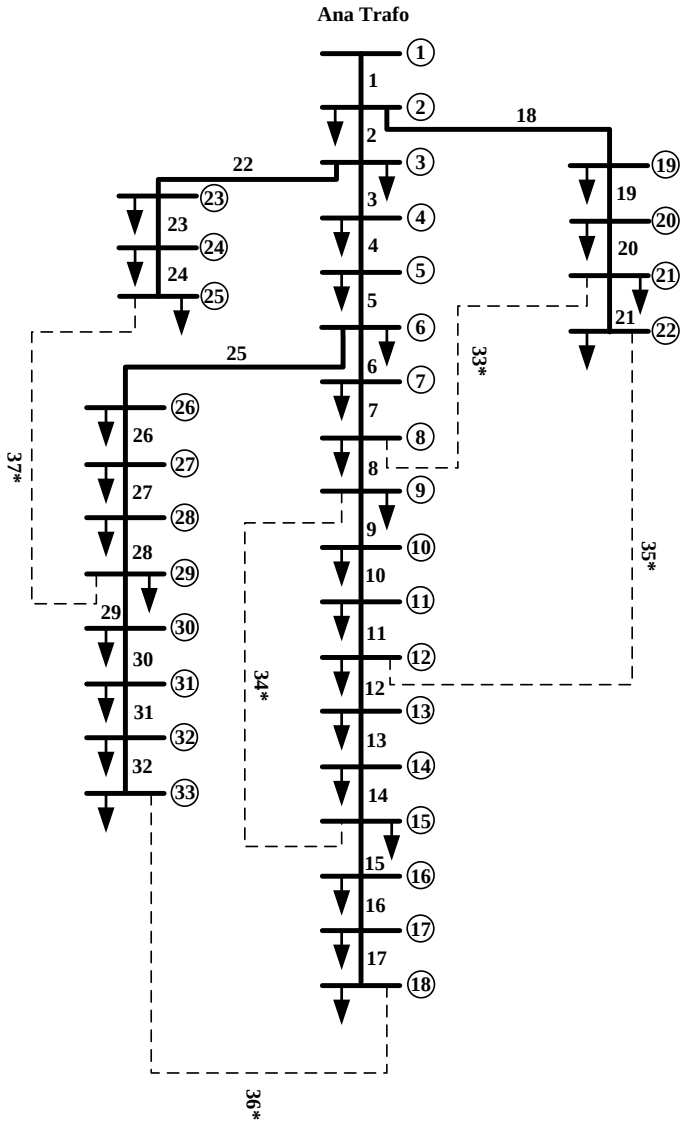
1. Sistemdeki tüm yükler dengelidir.
2. Sistemin bozucu etkilere karşı geçici hal durumları ihmal edilmiş ve durağan hal için analizler gerçekleştirilmiştir.
3. Baralar arasında tek bir hat olduğu ve her bir hat için de bir anahtar olduğu kabul edilmiştir.
4. Test dağıtım şebekesinin açık ring (radyal)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

5.1 33 Bara Radyal Dağıtım Şebekesi

33 bara radyal dağıtım şebekesi 32 ayırıcı anahtar ve 5 bağlantı anahtarına sahiptir. Şebekenin gerilim değeri 12.66 kV'dir. Şebekede tek bir besleme noktası vardır ve şebekeye bağlı 3.72 MW aktif ve 2.3 MVAr reaktif yük gücü bulunmaktadır. Test şebekesinin hat ve yük bilgileri Ek A1'de verilmiştir.

5.1.1 Yeniden yapılandırma uygulaması

Radyal dağıtım şebekelerinin yeniden yapılandırılmasına örnek olarak verilen 33 baralı şebekenin farklı yüklenme koşullarındaki durumunu incelemek için üç farklı yük modeli seçilmiştir. Modelleme için yarı yükte yük güçleri 0.5 ile, aşırı yükte ise 1.6 ile çarpılarak benzetimler yapılmıştır. Benzetimi yapılan şebekenin nominal işletme koşullarındaki ilk hali (temel durum) Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 : Temel durumda 33 bara radyal dağıtım şebekesi.

33 bara radyal şebekede, kesikli çizgi ile gösterilen 33*, 34*, 35*, 36* ve 37* numaralı hatlardaki anahtarlar bağlantı anahtarları olup, normalde açık konumdadırlar. Diğer anahtarlar ayırıcı anahtarlardır ve normalde kapalı durumdadırlar.

Şekil 5.1'deki mevcut şebekede anahtarların durumları değiştirilerek, kayıpların en aza indirildiği yeni bir şebeke topolojisi aranmaktadır. Bu amaçla PSO ile yeniden yapılandırma algoritması olası anahtar kombinasyonlarını inceleyerek güç kayıplarını minimize eden en uygun topolojiyi vermiştir. Elde edilen sonuçlara göre yeniden yapılandırma sonrasında en az güç kaybını veren anahtar kombinasyonu;

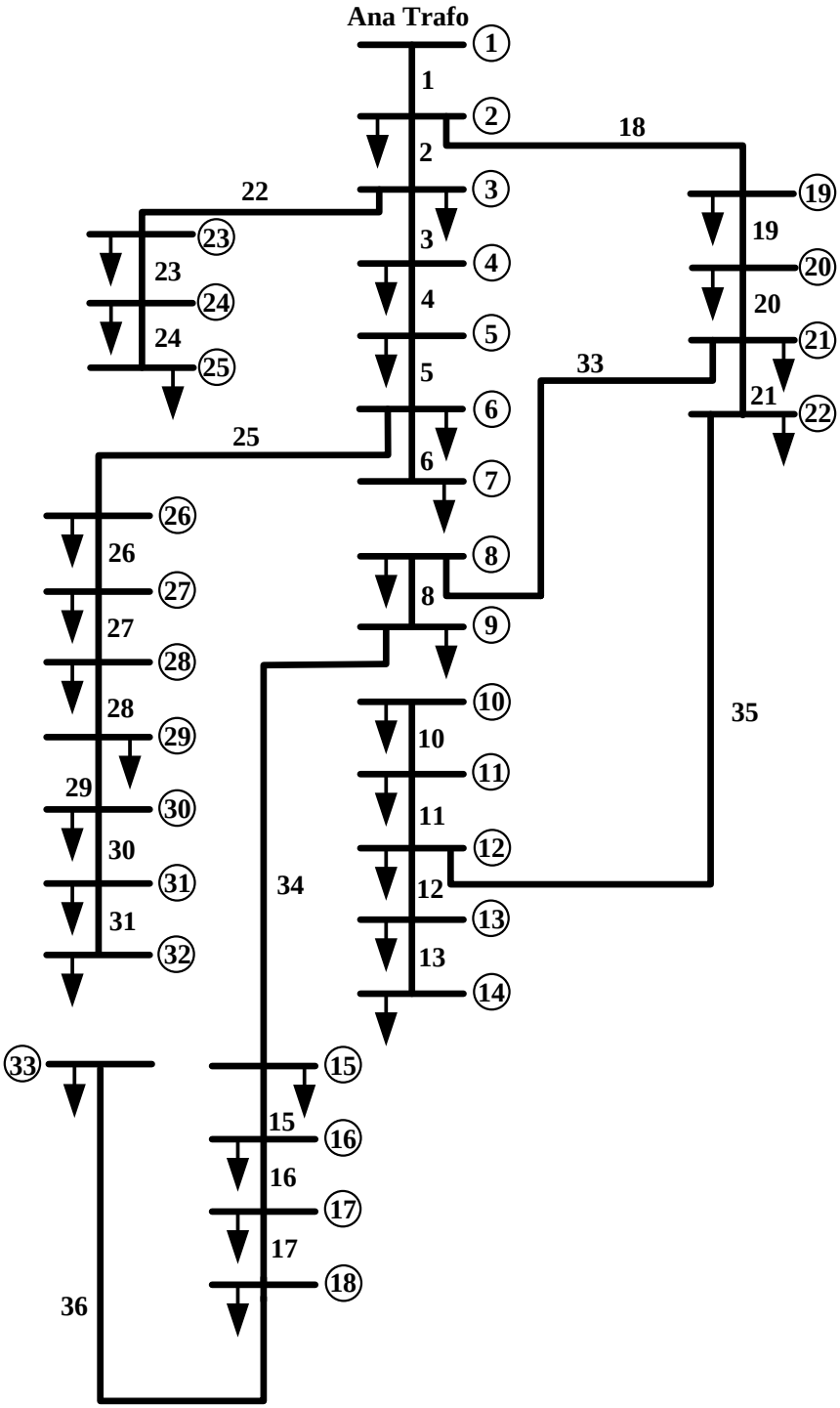
- 7 ve 8 numaralı baralar arasında bulunan 7 numaralı anahtar
- 9 ve 10 numaralı baralar arasında bulunan 9 numaralı anahtar
- 14 ve 15 numaralı baralar arasında bulunan 14 numaralı anahtar
- 32 ve 33 numaralı baralar arasında bulunan 32 numaralı anahtar
- 25 ve 29 numaralı baralar arasında bulunan 37 numaralı anahtarların açık diğer anahtarların kapalı olduğu durumdur.

Üç farklı yüklenme modeli (düşük, nominal ve aşırı yük) için sonuçlar Çizelge 5.1'de verilmiştir. Çizelgede şebekenin ilk hali temel durum olarak alınmıştır. Hat kayıpları, en düşük gerilim değerine sahip olan bara ve pu cinsinden gerilim değeri ile anahtarların ilk durumları çizelgede verilmiştir.

Çizelge 5.1 : 33 bara test şebekesi için PSO sonuçları.

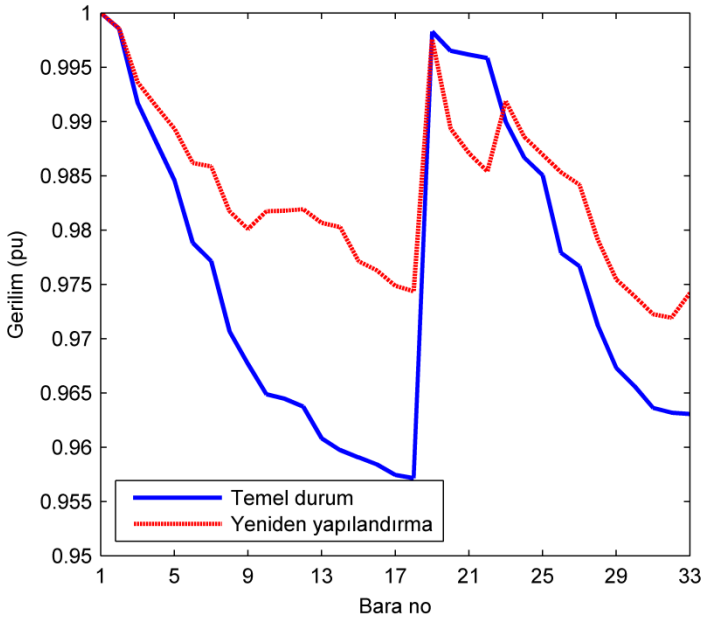
Durumlar	Maddeler	Yüklenme durumu		
		Yarı yük (0.5)	Nominal yük (1.0)	Aşırı yük (1.6)
Temel durum	Açık anahtarlar	33- 34- 35- 36- 37	33- 34- 35- 36- 37	33- 34- 35- 36- 37
	Güç kaybı (kW)	47.06	202.67	575.31
	Minimum gerilim (pu)	0.9583	0.9131	0.8529
	(Bara no)	(18)	(18)	(18)
Yeniden yapılandırma	Açık anahtarlar	7- 9- 14- 32- 37	7- 9- 14, 32- 37	7- 9- 14- 32- 37
	Güç kaybı (kW)	33.20	138.93	377.34
	Minimum gerilim (pu)	0.9719	0.9423	0.9045
	(Bara no)	(32)	(32)	(32)
	Kayıp azaltma oranı (%)	29.44	31.45	34.41

Yeniden yapılandırma sonrasında elde edilen yeni şebeke topolojisi Şekil 5.2'de verilmiştir.



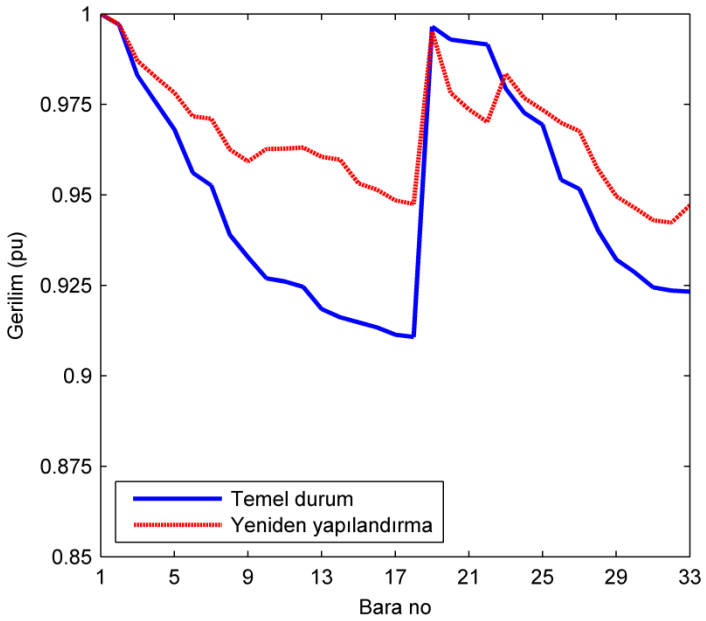
Şekil 5.2 : Yeniden yapılandırma sonrası 33 bara radyal dağıtım şebekesi.

Yine Şekil 5.3 yarı, Şekil 5.4 nominal ve Şekil 5.5 ise aşırı yüklenme durumlarındaki bara gerilim grafiklerini göstermektedir.



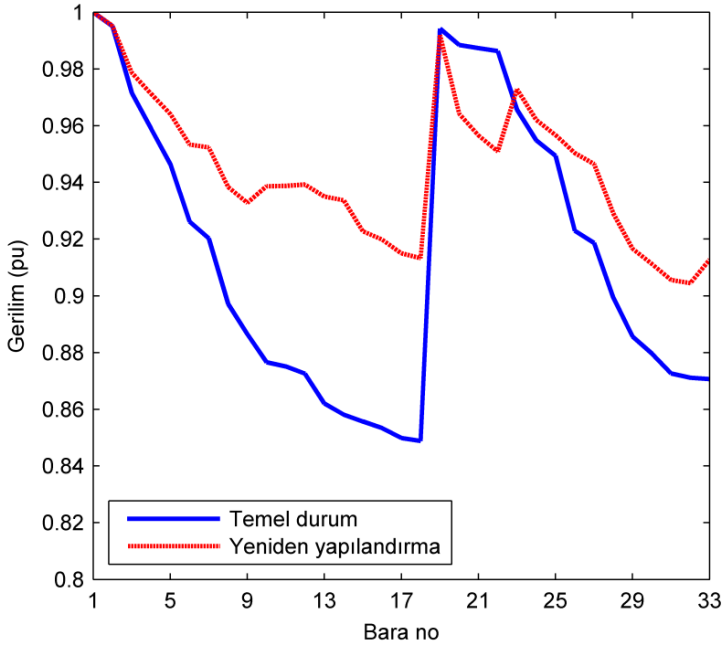
Şekil 5.3 : 33 bara yarı yük seviyesinde gerilim grafiği.

Yeniden yapılandırmanın gerilim üzerindeki olumlu etkisi her üç yük seviyesinde de gözlemlenmiş ve bulunan yeni radyal şebeke yapısının hem gerilim profilini düzeltmede hem de kayıpların azaltılmasında uygun bir yapı olduğu görülmüştür.



Şekil 5.4 : 33 bara nominal yük seviyesinde gerilim grafiği.

Şekil 5.2'deki yeni şebeke incelendiğinde ilk durumda beslemeye en uzak olan bara 18 iken ikinci durumda 32 nolu bara beslemeye en uzak olan ve gerilim değeri en düşük olan baradır. Anahtarların durumlarının değiştirilmesiyle, yükler yük yoğunluğu fazla olan hattan daha az olan hatta aktarılarak kayıplar azaltılmış ve bunun sonucunda gerilim profili de iyileştirilmiştir.

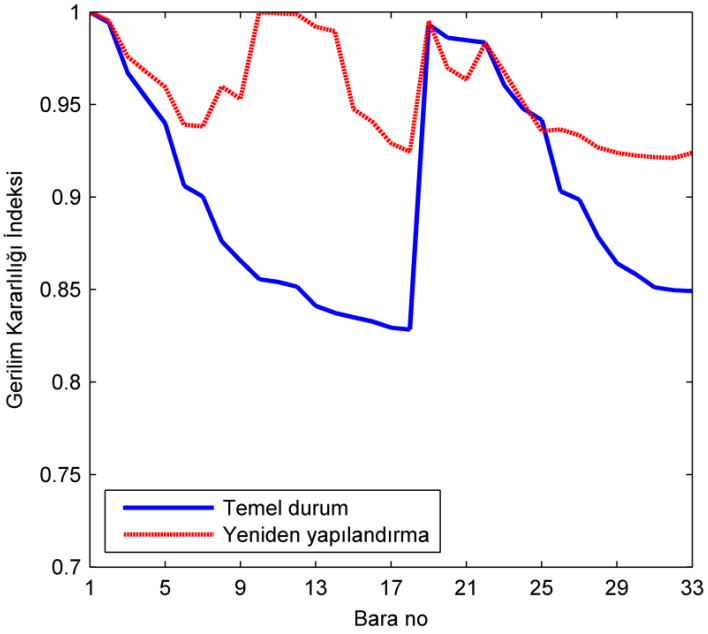


Şekil 5.5 : 33 bara aşırı yük seviyesinde gerilim grafiği.

Yeniden yapılandırma işleminin gerilim kararlılığına etkisinin incelenmesi de yine bu çalışmanın bir konusudur.

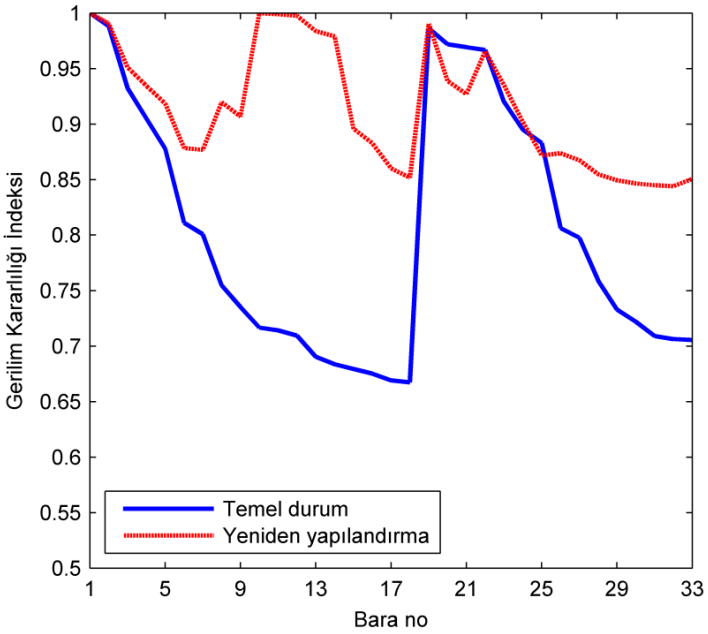
Bölüm 3.2'de verilen SI denklemi ile temel ve yeniden yapılandırma durumlarındaki indeks değerleri hesaplanmış ve değişimleri incelenmiştir.

Düşük yük durumunda SI değerlerinin değişimi Şekil 5.6 ile gösterilmektedir. Yine gerilim profillerini destekleyecek şekilde, temel duruma göre daha iyi bir SI grafiği elde edilmiştir.



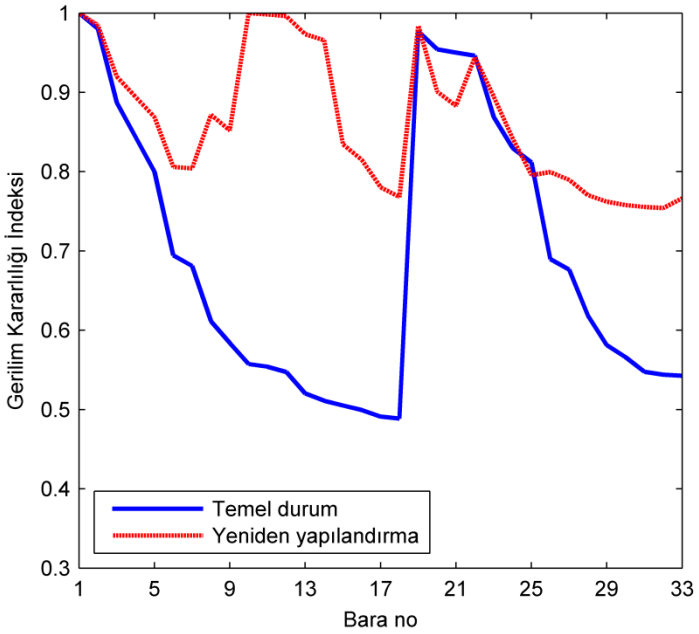
Şekil 5.6 : 33 bara yarı yük seviyesinde SI grafiği.

Şekilde en küçük indeks değeri 0.8281 (bara 18) iken yeniden yapılandırma sonrası bu değerin 0.9206'ya (bara 32) yükseldiği görülmektedir. SI değerlerinin sıfıra yakınlığı gerilim kararlılığının ölçütüdür ve şebekede sıfıra en yakın olan bu iki bara gerilim kararlılığı açısından kritik baralar olarak da nitelendirilebilir.



Şekil 5.7 : 33 bara nominal yük seviyesinde SI grafiği.

Aynı indeks hesaplama işlemleri diğer durumlara da uygulanmıştır. Şekil 5.7'de nominal yüklenmede başlangıçta 0.6673 (bara 18) olan indeks 0.8840'a (bara 32) ulaşmıştır. Şekil 5.8'de gösterilen aşırı yüklenme durumunda ise indeksin değeri 0.4884'den (bara 18) 0.7538'e (bara 32) yükselmiştir.

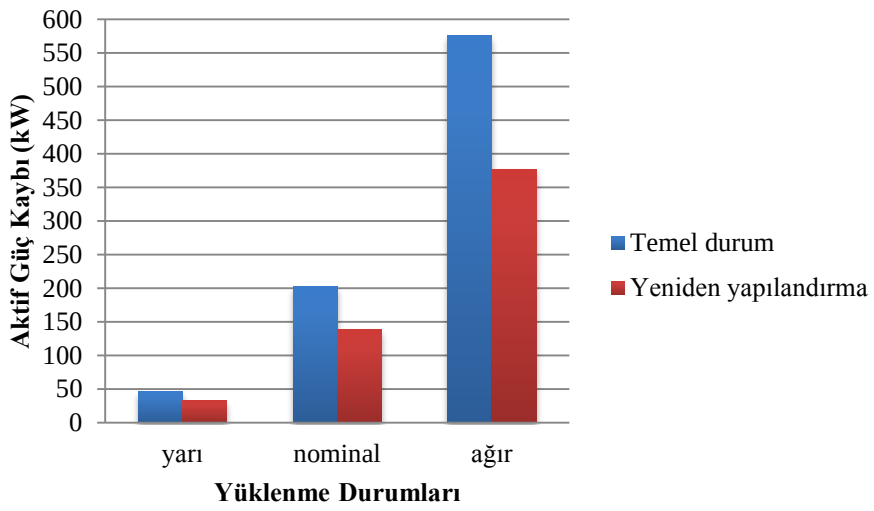


Şekil 5.8 : 33 bara aşırı yük seviyesinde SI grafiği.

Hesaplanan değerlerden sıfıra en yakın olan indekse sahip olan bara gerilim çökme riskinin yüksek olduğu barayı ifade eder.

Gerilim kararlılığı indeksi hesaplamalarından da görüldüğü üzere sonuçlar gerilim profili ile tutarlıdır ve bu da indeksin statik gerilim kararlılığı için kullanışlı bir karar faktörü olduğunun göstergesidir.

Yüklenme durumlarındaki güç kayıplarının değişimi Şekil 5.9'da verilmiştir. Aşırı yüklenme durumunda, yüklerin diğer durumlara göre fazla olması nedeniyle hat kayıplarındaki değişim diğerlerine göre daha fazladır.



Şekil 5.9 : 33 bara yüklenme durumlarına göre güç kayıpları.

PSO ile elde edilen sonuçların geçerliliğini karşılaştırmak için literatürde bulunan diğer çözüm yöntemleri ile bir karşılaştırma yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.2'de verilmiştir.

Çizelge 5.2 : 33 bara test şebekesi için literatür karşılaştırması.

Yöntemler	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)	Kayıp azaltma oranı (%)
Temel durum	33- 34- 35- 36- 37	202.67	0.9131	-
PSO	**7- 9- 14- 32- 37**	**138.92**	**0.94234**	**31.45**
İGAA [14]	7- 9- 14- 32- 37	139.50	0.9378	31.17
İUSRA [23]	7- 9- 14- 32- 37	139.51	0.9378	31.17
Copt-aiNet [15]	7- 9- 14- 32- 37	139.55	0.9378	31.16
HFA [12]	7- 9- 14- 28- 32	139.98	0.9413	30.93
AAA [20]	7- 9- 14- 32- 37	138.06	0.9342	31.88
SGA [20]	7- 9- 14- 32- 37	139.46	0.9315	31.20
GA [20]	9- 28- 36- 33- 34	141.60	0.9310	30.15

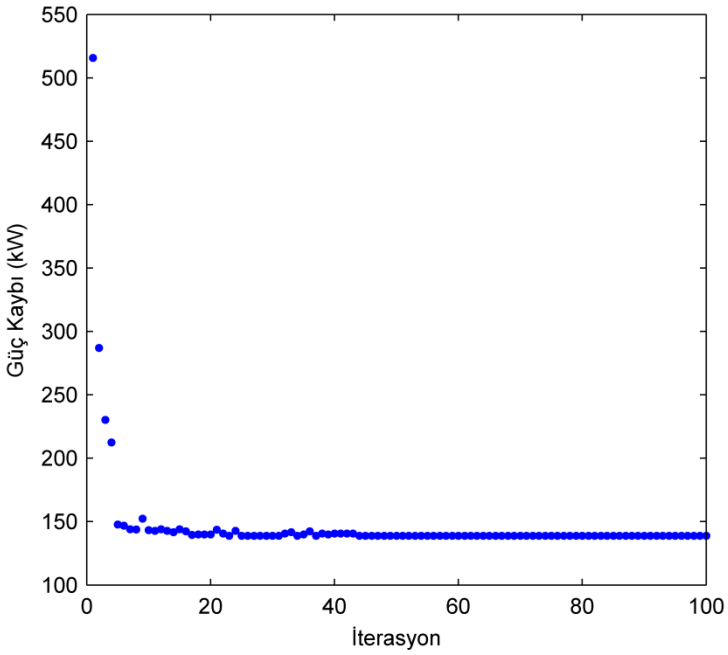
Karşılaştırma sonuçlarına bakıldığında, genel olarak iyi sonuçlar elde edilmiştir ancak kaynak [20]'de geliştirilen armoni arama algoritmasının (AAA) kayıp azaltmaya etkisinin PSO'ya göre daha fazla olduğu görülmektedir.

Aynı anahtarlama durumları bulunmasına rağmen farklı sonuçlar çıkmasının nedeni, çalışmalarda kullanılan güç akışı yöntemlerinin farklı hassasiyete sahip olmasıdır.

Dağıtım sistemlerinde hatların R/X değerleri iletim sistemlerine göre daha büyüktür, bu da güç akışı sırasında yakınsama problemlerine neden olmaktadır ve literatürde güç akışı analizleri için daha hassas yöntemler önerilmektedir. Yine literatürde sıkça rastlanan geri-ileri süpürme (backward-forward sweep) yöntemi dağıtım sistemleri için kullanılan güç akışı yöntemlerine örnek verilebilir. Ayrıca amaç fonksiyonunu sınırlayan kısıtlar da çözümü etkileyen diğer bir durumdur. Algoritmaya eklenen kısıtların sayısı arttıkça problemin sonuçları daha hassas çıkmaktadır. Fakat algoritmanın çok sayıdaki problem kısıtlarını sağlamaya çalışması da işlem süresini uzatmaktadır.

Gerilim profili açısından çalışmanın etkisine bakıldığında, çizelgede belirtilen diğer yöntemlere göre daha iyi bir sonuç alındığı görülmektedir.

Önerilen çalışmanın yakınsama durumuna ait grafik Şekil 5.10'da verilmiştir. Test şebekesi için iterasyon sayısı 100 olarak seçilmiş ve sonuçların geçerliliğini kontrol etmek için 20 kez algoritma çalıştırılmıştır. Intel Core^{TM} i3-3220 3.30Ghz işlemcili ve 4GB RAM'li masaüstü bilgisayarda çalıştırılan algoritmanın bir çevrim süresi 28. 71 sn'dir. Test şebekesinde parçacıklar 44. iterasyonda en uygun değeri bulmuşlardır.



Şekil 5.10 : 33 bara radyal dağıtım şebekesinin yakınsama grafiği.

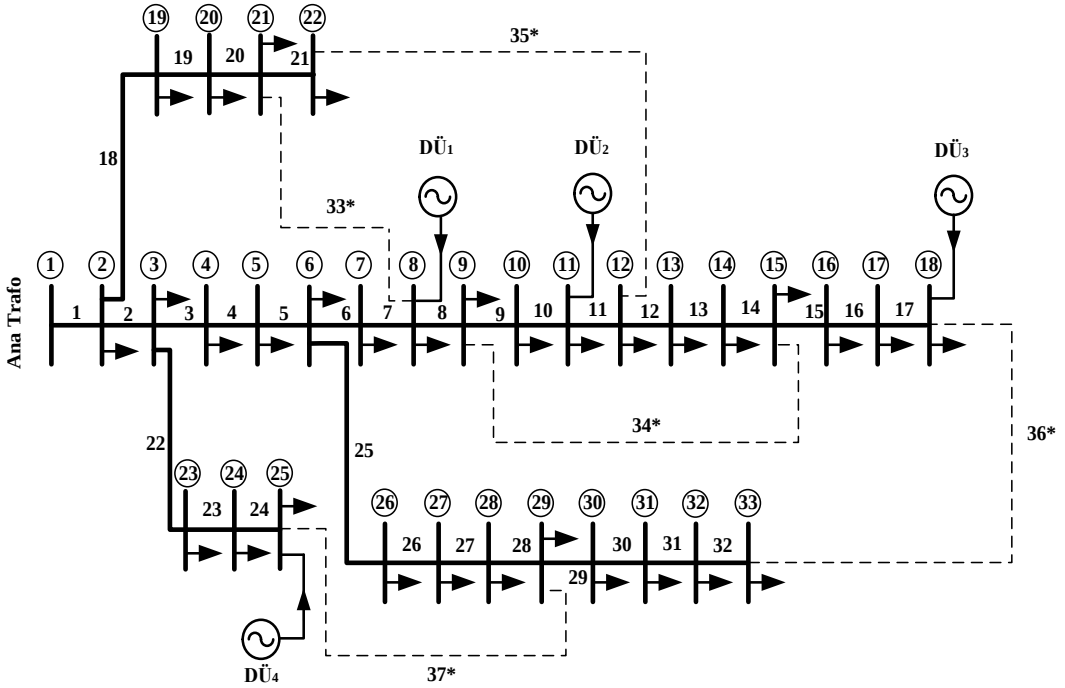
5.1.2 Dağıtık üretim üniteleri bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması

Çalışmanın bu bölümünde şebekeye dağıtık üretim ünitelerinin bağlı olduğu durumda yeniden yapılandırmanın etkisi incelenmiş ve durum incelemeleri aşağıda verilmiştir.

Durum 1: Şebeke yeniden yapılandırmasızdır ve DÜ üniteleri şebekeye bağlı değildir.

Durum 2: Durum 1'deki şebekenin uygun anahtarlamalar yapılarak yeniden yapılandırılmasıdır.

Durum 3: Durum 1'deki şebekeye Şekil 5.11'de gösterildiği gibi DÜ ünitelerinin eklenmesi durumudur.



Şekil 5.11 : 33 bara DÜS bağlı durumda şebeke.

DÜ ünitelerinin şebekeye bağlantısında kullanılacak örnek sistem referans [24]'den alınmıştır.

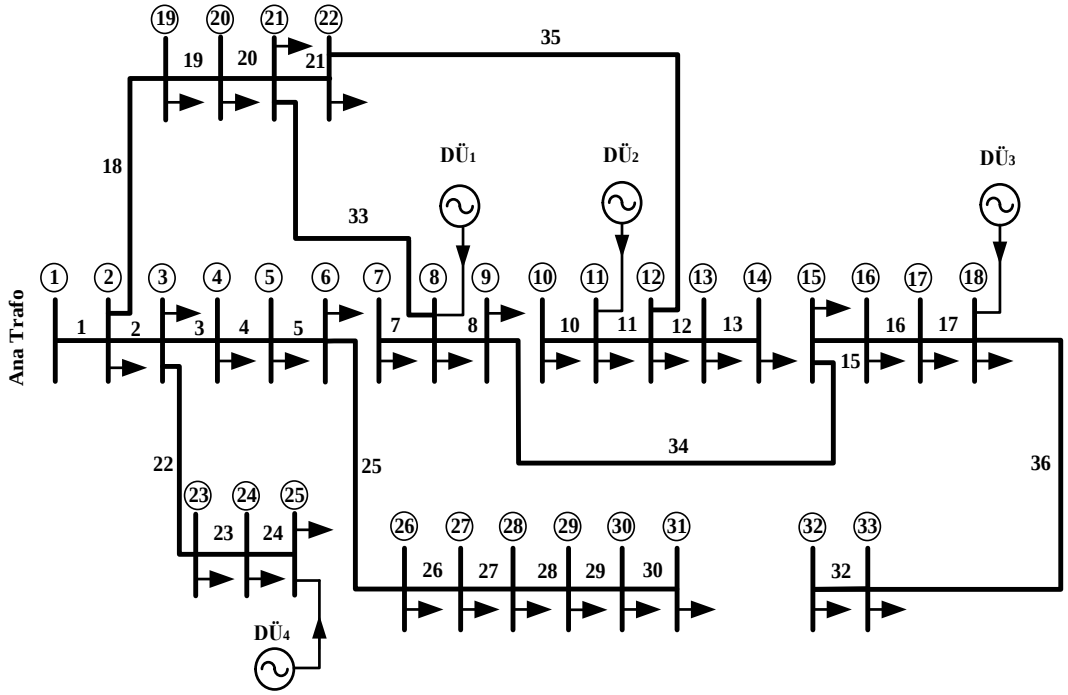
DÜ ünitelerinin türü, şebekeye sağladığı güç, bağlı olduğu bara numarası Çizelge 5.3'de verilmiştir.

Çizelge 5.3 : 33 bara 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 sağladığı kabulü altında çalışma gerçekleştirilmiştir.

Durum 4: Durum 3'deki DÜ üniteli şebekenin yeniden yapılandırılmasıdır ve şebekenin yeni yapısı Şekil 5.12'de gösterilmiştir.



Şekil 5.12 : 33 bara DÜS bağlı durumda şebeke (yeniden yapılandırma sonrası).

Yukarıda verilen dört durumun incelemesi yapılmış ve sonuçlar Çizelge 5.4'de verilmiştir.

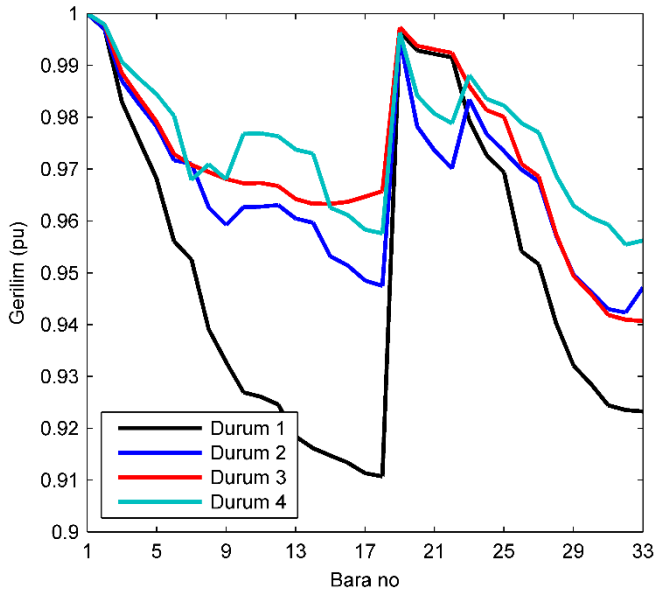
Çizelge 5.4 : 33 bara test şebekesi için DÜ üniteli durumda PSO sonuçları.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	33-34-35-36-37	202.67	0.91310
Durum 2	7-9-14-32-37	138.92	0.94234
Durum 3	33-34-35-36-37	109.800	0.94080
Durum 4	6-9-14-31-37	76.8720	0.95550

Durum 1 ve Durum 2; Bölüm 5.1.1'de bahsedilen yeniden yapılandırma kısmıdır. Durum 3'de şebekeye DÜ ünitelerinin dahil edilmesi durumunda şebekede kayıplar 109.8 kW'a düşmektedir ve temel duruma (Durum 1) göre % 45.82 oranında hat kayıpları azalmıştır. DÜ ünitelerinin eklenmesiyle ünitelerin bağlı olduğu baralara yakın noktalardaki bölgelerde gerilim profili de iyileştirilmiştir.

Durum 4'de DÜ üniteli şebekenin yeniden yapılandırılmasıyla önceki şebeke topolojisine göre daha uygun bir çalışma şekli bulunmuştur. Durum 4'te tüm durumlara göre en az kayıp elde edilmiş ve bu oran temel duruma göre % 62.07'dir.

Ayrıca kayıpların azaltılmasıyla birlikte gerilim profilindeki düzelme de Şekil 5.13'te görülmektedir. Gerilim profili grafiği incelendiğinde Durum 3'de en düşük gerilime sahip olan bara 33 iken, durum 4'de 32 olarak değişmiştir.



Şekil 5.13 : DÜS'ün bulunduğu durumda 33 bara şebekenin gerilim grafiği.

Sonuç olarak, yapılan bu çalışmada Durum 4'de; 6, 9, 14, 31 ve 37 numaralı hatlardaki anahtarların açık, diğer anahtarların kapalı olduğu durumda şebekede en az güç kaybı meydana gelmektedir.

Sonuçlar kaynak [24]'de kullanılan bal arılarının çiftleşme algoritması (BAÇA) ile karşılaştırılmış ve Çizelge 5.5'de görüldüğü gibi PSO diğer dört yönteme göre hat kayıplarını daha az bulmuştur.

Gerilim profili açısından çalışma değerlendirildiğinde, çizelgedeki tüm yöntemlerde en düşük gerilim 0.95 civarındadır ve sonuçlar birbirine çok yakındır.

Çizelge 5.5 : 33 baralı şebeke için DÜ üniteli durumda yöntemlerin karşılaştırılması.

Yöntemler	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
PSO	**6-9-14-31-37**	**76.87200**	**0.95550**
GA [24]	6-12-17-35-37	84.54971	0.95095
PSO [24]	8-14-31-33-37	80.74696	0.95212
BAÇA [24]	6-11-12-31-37	82.36062	0.95189
Değiştirilmiş BAÇA [24]	7-9-14-30-37	76.98436	0.95577

5.1.3 Kapasitör bankları bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması

Kapasitörlerin dağıtım şebekelerinde kayıpların azaltılması ve gerilim profilinin düzeltmesi üzerine etkileri bu bölümde incelenmiştir. Ayrıca kapasitörlerle birlikte yeniden yapılandırma konusu da tekrar ele alınmış ve durum incelemeleri aşağıda verilmiştir.

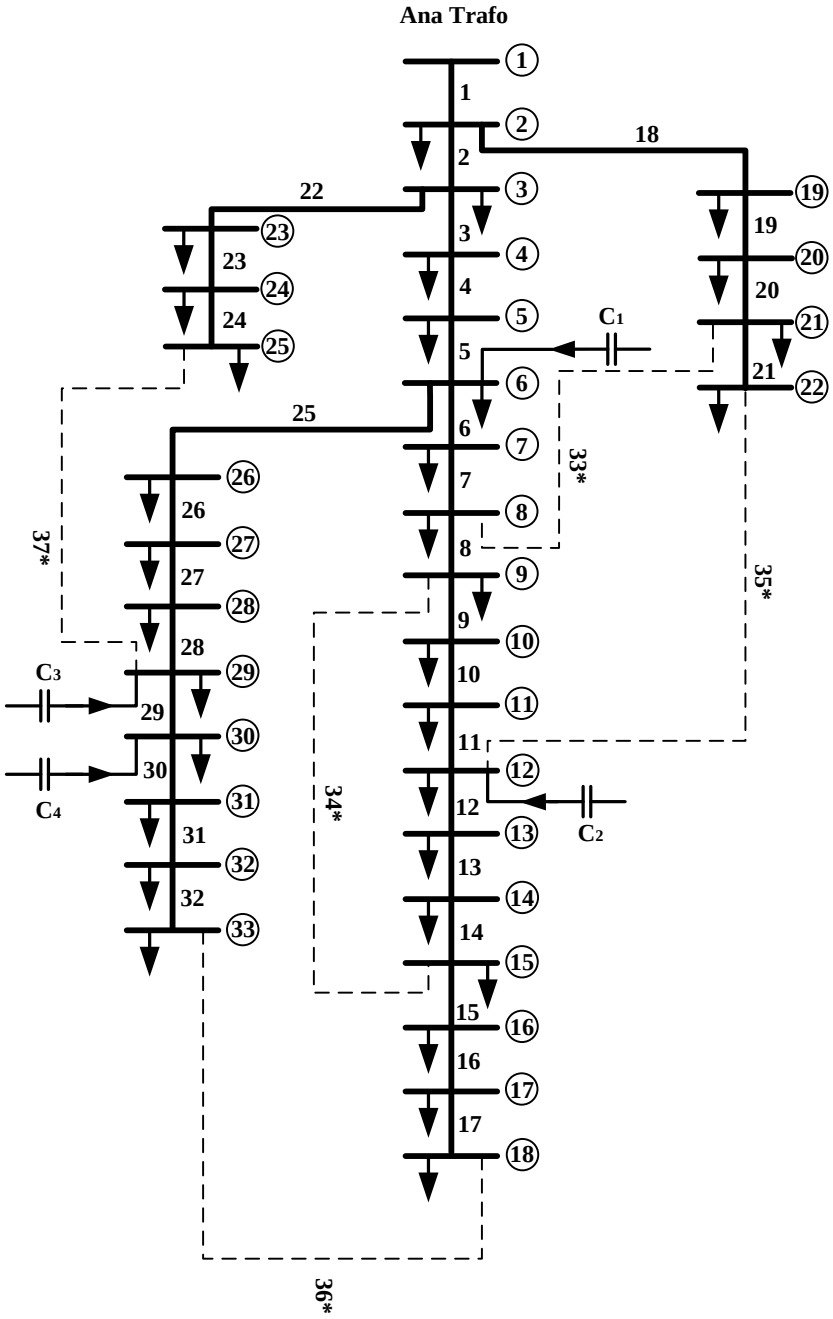
Durum 1: Şebekede yeniden yapılandırma yoktur ve kapasitör bankları şebekeye bağlı değildir.

Durum 2: Durum 1'deki şebekenin uygun anahtarlamalar yapılarak yeniden yapılandırılmasıdır.

Durum 3: Durum 1'deki şebekeye değişik boyutlarda dört kapasitör bankı eklenmiştir. Kapasitörlerin etkisini incelemek için kaynak [25]'deki ikili yerçekimi arama algoritması (İYAA) ile yeniden yapılandırma çalışmasındaki örnek kapasitörlü şebeke kullanılmıştır.

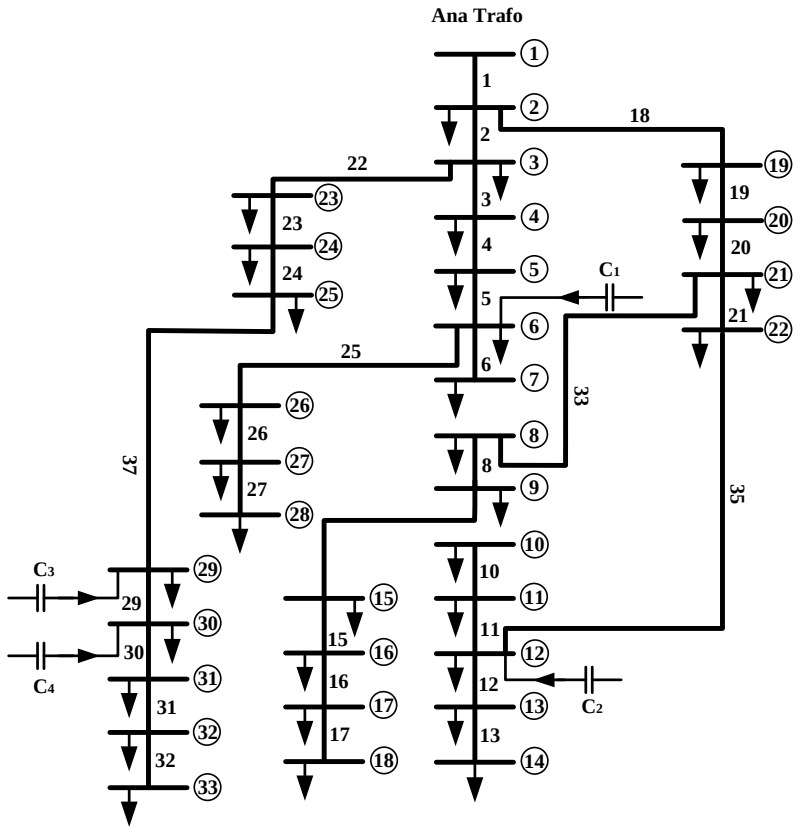
Kapasitörlerin bağlı oldukları noktalar Şekil 5.14'deki gibidir ve boyutları aşağıda verilmiştir:

- C_1=450 kVAr (bara 6)
- C_2=300 kVAr (bara 12)
- C_3=600 kVAr (bara 29)
- C_4=900 kVAr (bara 30)



Şekil 5.14 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 33 bara şebeke.

Durum 4: Durum 3'deki kapasitör banklarının olduğu şebekenin yeniden yapılandırılmasıdır ve şebekenin yeni yapısı Şekil 5.15'de verilmiştir.



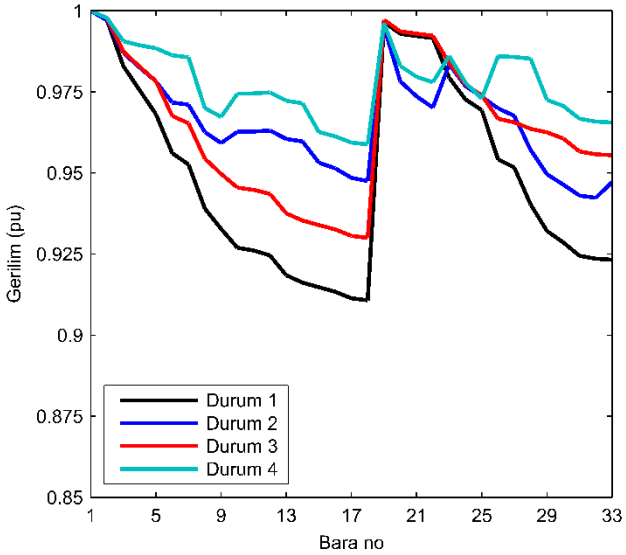
Şekil 5.15 : Yeniden yapılandırma sonrası kapasitörlü 33 bara şebeke.

Farklı boyutlardaki kapasitörlerin şebekeye eklenmesiyle kayıpların azaltılması hedeflenmiştir. Kapasitör banklarının durum incelemesi sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir. En düşük gerilime sahip olan bara Durum 3 ve 4'de de şebekede en uçta bulunan 18 numaralı baradır.

Çizelge 5.6 : 33 bara test şebekesi için kapasitörlü durumda PSO sonuçları.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	33-34-35-36-37	202.67	0.91310
Durum 2	7-9-14-32-37	138.92	0.94234
Durum 3	33-34-35-36-37	149.750	0.93000
Durum 4	7-9-14-28-36	97.320	0.95700

Şekil 5.16'da test şebekesine kapasitör banklarının eklenmesiyle elde edilen yeni gerilim grafiği verilmiştir. Burada dikkat çeken nokta kapasitör eklenmesiyle geilimlerin Bölüm 5.1.2'de verilen DÜ eklenmesine göre biraz daha düşük olmasıdır. Şekilden de görüldüğü gibi DÜ ünitelerinin etkisi kapasitörlere göre daha fazladır. Ancak tesis maliyeti açısından konuya bakıldığında kapasitör bankları daha ekonomiktir.



Şekil 5.16 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 33 bara şebekenin gerilim grafiği.

Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi tezde geliştirilen PSO algoritmasının daha iyi sonuç verdiği görülmektedir. Kayıpların PSO ile % 35.01 oranında diğer yöntemle ise % 24.17 azaltıldığı görülmüştür. En düşük gerilim değeri ise iki yöntemde de birbirine yakındır ve 0.95 pu üzerindedir.

Çizelge 5.7 : 33 bara şebeke için kapasitörlü durumda yöntemlerin karşılaştırılması.

	Temel durum	**PSO**	İYAA [25]
Açık anahtarlar	33-34-35-36-37	**7-9-14-28-36**	10-14-28-32-33
Güç kaybı (kW)	149.750	**97.320**	113.560
Vmin (pu)	0.9300	**0.9570**	0.9560

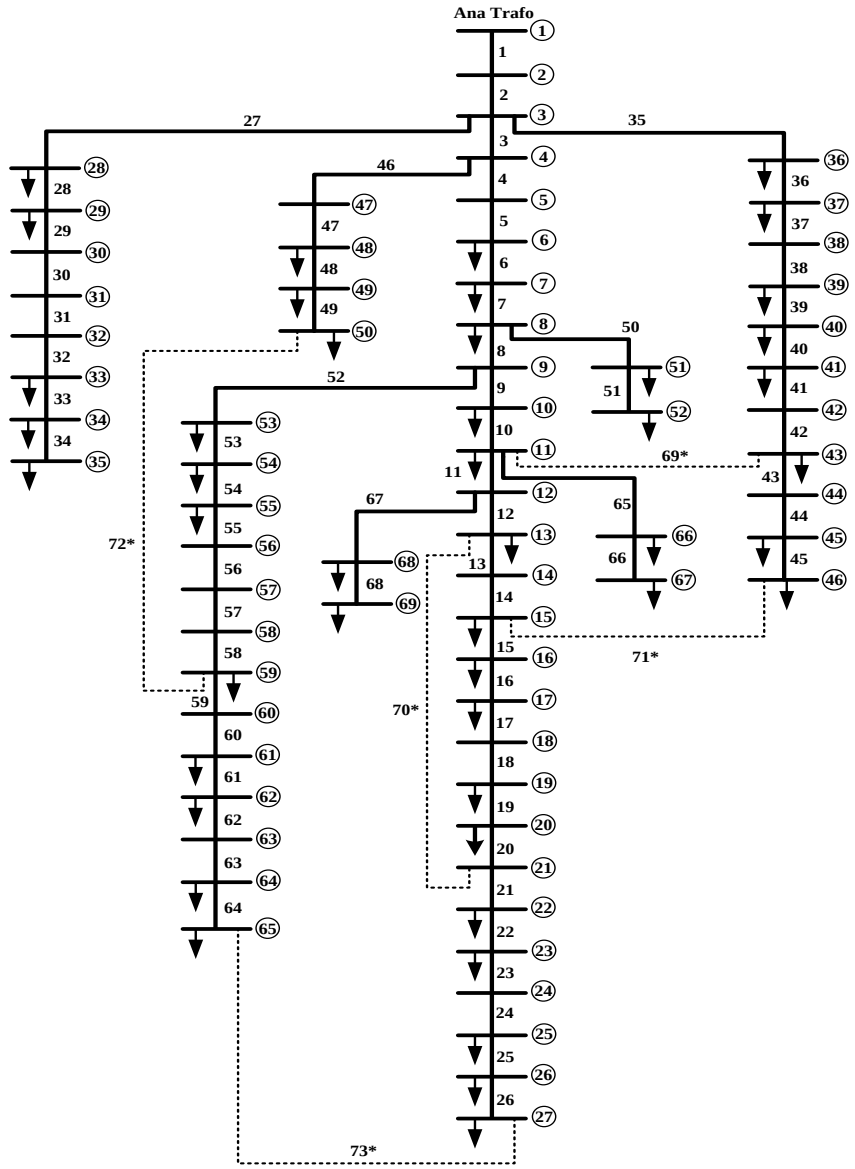
5.2 69 Bara Radyal Dağıtım Şebekesi

69 bara radyal dağıtım şebekesi 68 ayırıcı anahtar ve 5 bağlantı anahtarına sahiptir. Temel gerilim değeri 12.66 kV'dir. Şebekeye bağlı 3.80 MW aktif yük ve 2.69

MVAr reaktif yük gücü bulunmaktadır. Şekil 5.17'de tek hat şeması verilen şebekenin tek bir noktadan beslemesi vardır. Şebekenin hat ve yük bilgileri Ek A2'de verilmiştir.

5.2.1 Yeniden yapılandırma uygulaması

Bu bölümde 69 bara radyal dağıtım şebekesinin üç farklı yüklenme durumu için PSO ile yeniden yapılandırılması incelenmiştir.



Şekil 5.17 : Temel durumda 69 bara radyal dağıtım şebekesi.

Şebekede temel durumda 69*, 70*, 71*, 72* ve 73* numaralı hatlardaki anahtarlar bağlantı anahtarlarıdır ve normalde açık olan anahtarlardır. Geri kalan anahtarlar ise ayırıcı anahtarlardır ve normal şartlarda kapalı durumdadırlar.

Şebekenin yeniden yapılandırılması incelenirken farklı yüklenme durumlarındaki kayıplar ve gerilim profilleri de ele alınmış ve modelleme için yarı (0.5Pn), nominal (Pn) ve aşırı yük (1.6Pn) durumları kullanılmıştır. Çizelge 5.8'de incelemesi yapılan şebeke için sonuçlar verilmiştir.

Çizelge 5.8 : 69 bara test şebekesi için PSO sonuçları.

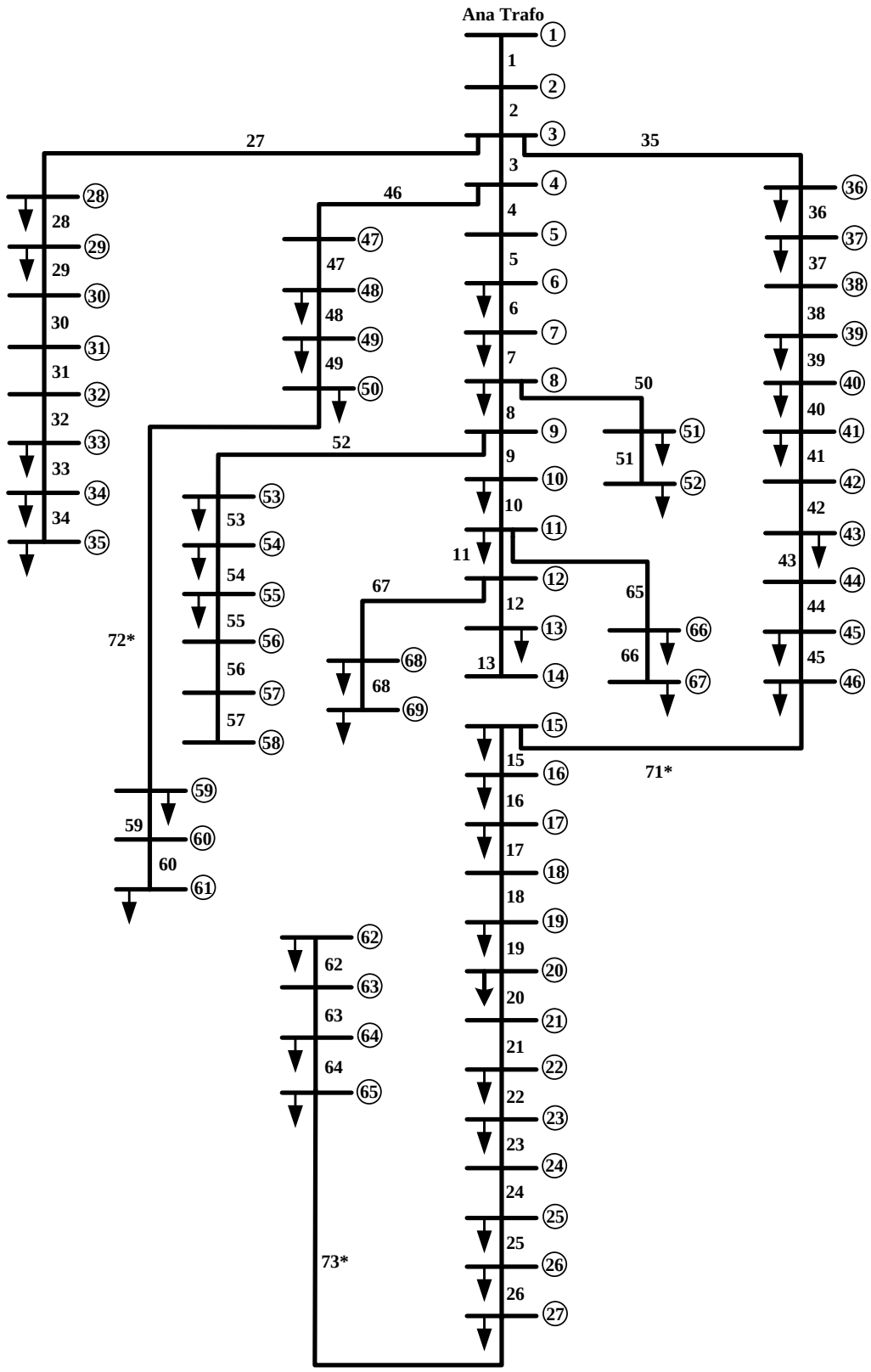
Durumlar	Maddeler	Yük Seviyesi		
		Yarı yük (0.5)	Nominal yük (1.0)	Aşırı yük (1.6)
Temel durum	Açık anahtarlar	69-70-71-72-73	69-70-71-72-73	69-70-71-72-73
	Güç kaybı (kW)	51.6017	224.9804	652.5667
	Minimum gerilim (pu)	0.9567	0.9092	0.8445
	(Bara no)	(65)	(65)	(65)
Yeniden yapılandırma	Açık anahtarlar	14-58-61-69-70	14-58-61-69-70	14-58-61-69-70
	Güç kaybı (kW)	23.60	98.59	267.08
	Minimum gerilim (pu)	0.9754	0.9495	0.9165
	(Bara no)	(61)	(61)	(61)
	Kayıp azaltma oranı (%)	54.25	56.17	59.07

Çizelge 5.8'de de görüldüğü gibi PSO ile yeniden yapılandırma porbleminin çözümünde en az kaybı veren, en uygun anahtarlama kombinasyonu;

- 14 ve 15 numaralı baralar arasında bulunan 14 numaralı anahtar
- 58 ve 59 numaralı baralar arasında bulunan 58 numaralı anahtar
- 61 ve 62numaralı 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 anahtarların açık diğer anahtarların kapalı olduğu durumdur.

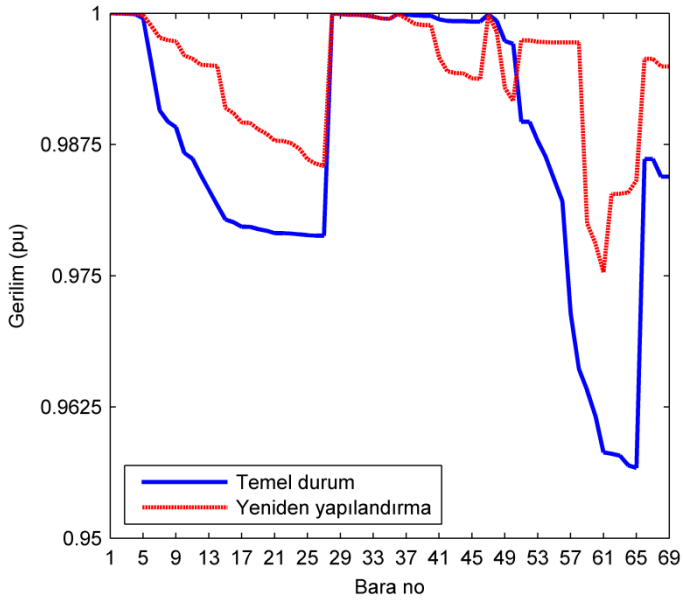
Yeniden yapılandırma öncesi en düşük gerilime sahip olan bara, Şekil 5.17'de görüldüğü üzere şebekede besleme noktasına en uzak olan 65 nolu baradır.

Yeniden yapılandırma sonucunda şebekenin topolojisi Şekil 5.18'deki gibi değişmiş ve 61 nolu baranın beslemeye en uzak ve gerilimi en düşük bara olduğu çalışma sonuçlarında görülmüştür.



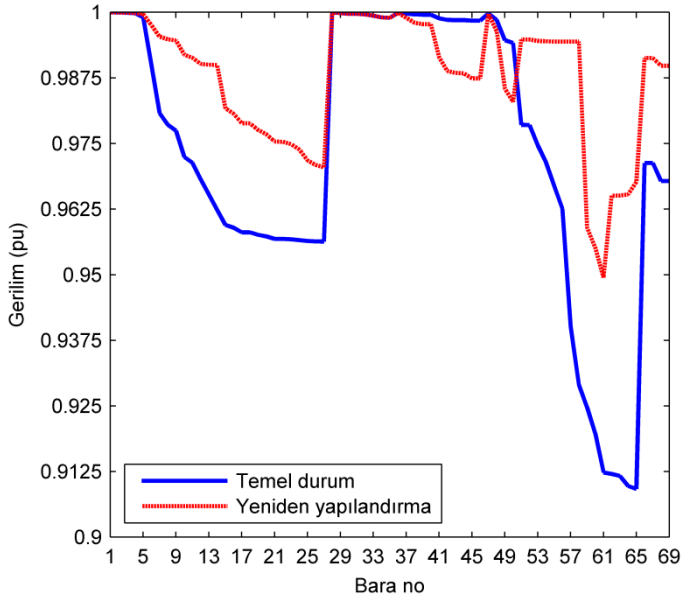
Şekil 5.18 : Yeniden yapılandırma sonrası 69 bara radyal dağıtım şebekesi.

Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21'de sırasıyla şebekenin yarı yük, nominal yük ve aşırı yükle yüklenme durumlarındaki gerilim profillerinin değişimi verilmiştir.



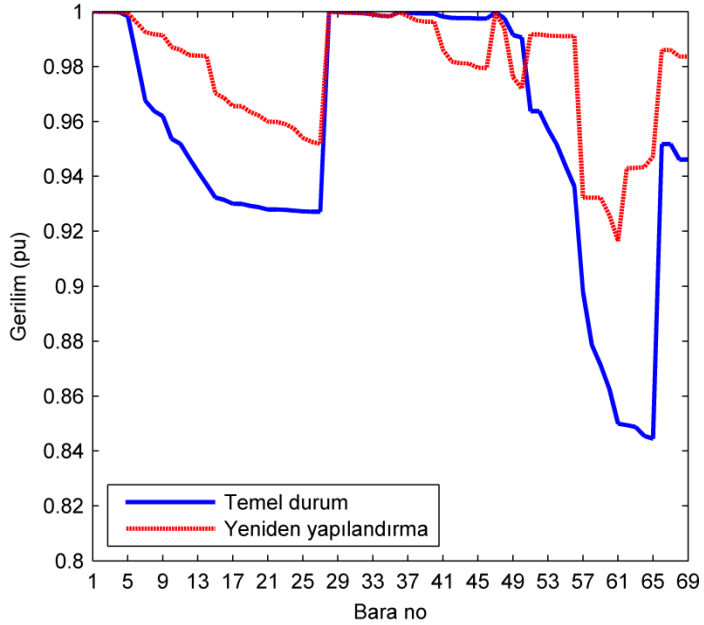
Şekil 5.19 : 69 bara yarı yük seviyesinde gerilim grafiği.

Şekil 5.20'de; nominal yüklenme durumundaki gerilim değişim grafiğine bakıldığında, bara gerilimlerinin Bölüm 3'de belirtilen yeniden yapılandırma probleminin kısıtlarından gerilim limitlerini sağladığı ve %10'luk tolerans değerleri sınırında olduğu görülmektedir.



Şekil 5.20 : 69 bara nominal yük seviyesinde gerilim grafiği.

Şekil 5.21'de aşırı yüklenmede ilk durumda % 10 gerilim toleransının dışında kalan gerilim grafiği yine yapılandırma sonucunda tolerans değerine yaklaştırılmıştır.



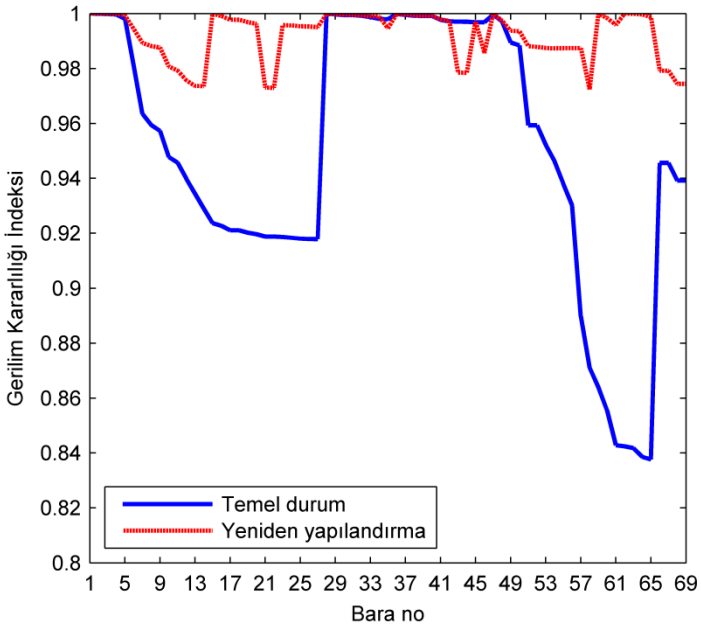
Şekil 5.21 : 69 bara aşırı yük seviyesinde gerilim grafiği.

Yeniden yapılandırmada aşırı yüklü hatların yükünü hafifletmek ve bu sayede gerilim profilini düzeltmek için yük yoğunluğu fazla olan hattan daha az olan hatlara yük aktarımı yapılır. Bu aktarım anahtarların açık-kapalı durumlarını değiştirerek şebekenin topolojisini değiştirmekle gerçekleştirilir.

Gerilim grafiklerinden de görüldüğü üzere yeni şebeke şeklinde kayıplar azaltılmış ve gerilimler ilk çalışma şekline göre yükselmiştir. Burada yukarıda bahsedilen yük aktarımı mantığı uygulanmıştır.

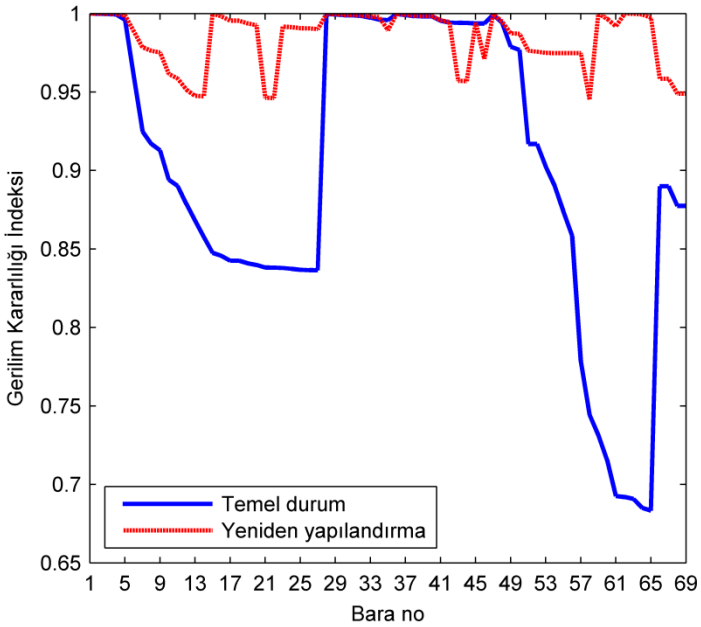
Ayrıca Bölüm 3.2'de bahsedilen gerilim kararlılığı indeksi bu şebeke için de hesap edilerek gerilim kararlılığına etkisi aşağıdaki şekillerde verilmiştir.

Şekil 5.22'de yarı yüklü şebekede indeksin değeri başlangıçta 0.8377 (bara 65) iken şebekenin yeniden yapılandırılması sonrası 0.9465'e (bara 61) yükselmiştir.

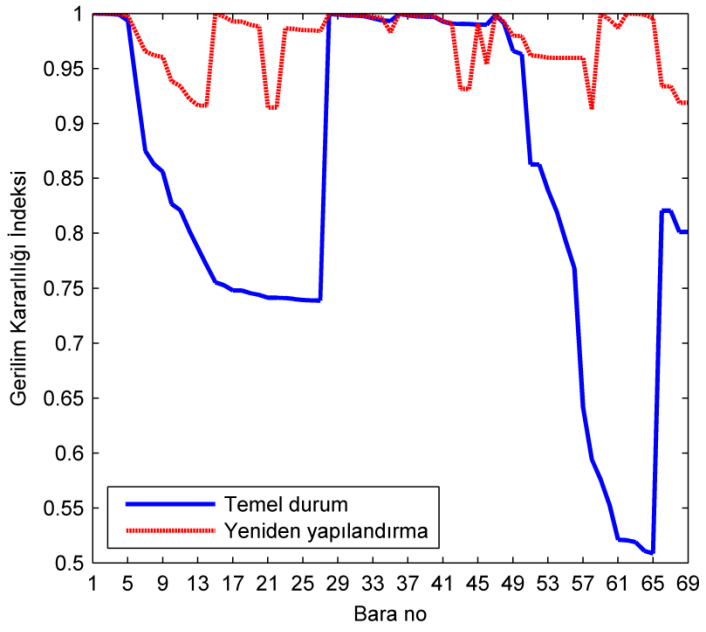


Şekil 5.22 : 69 bara yarı yük seviyesinde SI grafiği.

Yine Şekil 5.23'te nominal ve Şekil 5.24'te aşırı yüklenmelerde de indeksin değeri artmış ve indeks değerleri nominal yük modelinde 0.6862'den (bara 65) 0.8940'a (bara 61), aşırı yük modelinde ise 0.5086'dan (bara 65) 0.8321'e (bara 61) iyileştirilmiştir.



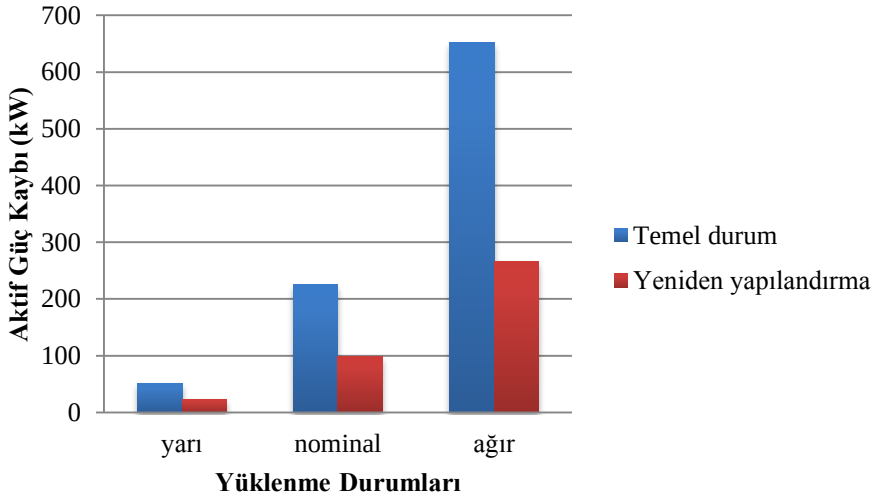
Şekil 5.23 : 69 bara nominal yük seviyesinde SI grafiği.



Şekil 5.24 : 69 bara aşırı yük seviyesinde SI grafiği.

Gerilim kararlılığı incelemesinde indeks kullanarak statik gerilim kararlılığı incelenmiştir. Burada sıfıra en yakın olan indeks değerine sahip olan kritik baranın ilk durumda 65. iken yapılandırma sonrasında 61. bara olduğu görülmektedir.

Kayıpların azaltılmasında yüklenme durumlarının etkisi Şekil 5.25'teki grafikte verilmiştir. Aşırı yüklenme durumunda yük yoğunluğunu fazla olmasından dolayı değişim daha fazladır.



Şekil 5.25 : 69 bara yüklenme durumlarına göre güç kayıpları.

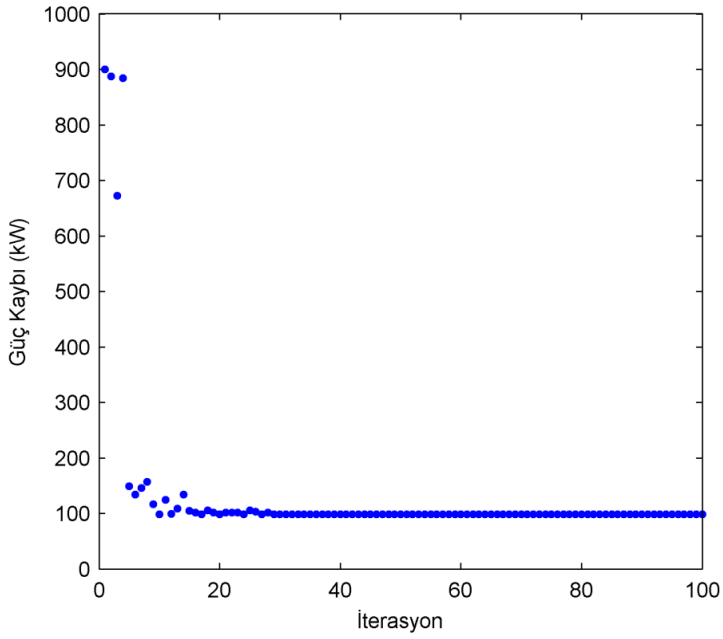
Literatürde bulunan diğer çözüm yöntemleri ile PSO'nun karşılaştırma tablosu Çizelge 5.9 ile verilmiştir. Çalışmaların karşılaştırılmasında HFA ile aynı oranda kayıplar ve minimum gerilim değeri bulunmuştur. Yine İYAA ile de gerilim profili değerleri birbiriyle örtüşmektedir. Çizelge 5.9'da da görüldüğü üzere literatürdeki çalışmalarda hemen hemen aynı anahtarlama kombinasyonları bulunmuştur.

Çizelge 5.9 : 69 bara test şebekesi için literatür karşılaştırması.

Yöntemler	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)	Kayıp azaltma oranı (%)
Temel durum	69- 70- 71- 72- 73	224.9804	0.9092	-
PSO	**14- 58- 61- 69- 70**	**98.59**	**0.9495**	**56.17**
İYAA [14]	14- 57- 61- 69- 70	98.78	0.9495	56.10
HFA [12]	14- 56- 61- 69- 70	98.59	0.9495	56.17
AAA [20]	13- 18- 56- 61- 69	99.35	0.9428	55.85
GA [20]	14- 53- 61- 69- 70	103.29	0.9411	54.08
SGA [20]	13- 17- 55- 61- 69	100.28	0.9428	55.42

Literatürdeki çalışmaların sonuçlarına bakıldığında genellikle 56, 57 ve 58 numaralı anahtarlarda bir değişim görülmektedir. Bu da yine algoritmaların yerel optimumlara takılmasından kaynaklanan bir sorundur. PSO'da bu sorunla karşılaşmayı önlemek için w_{max} değeri küçük seçilmiş ve her iterasyonda w değeri azaltılarak çözüm uzayı geniş tutulmuştur. Ayrıca algoritma için 20 çevrim tekrarı yapılmış ve kararlı çözümlerin elde edilmesi amaçlanmıştır.

Önerilen çalışmanın yakınsama durumuna ait grafik Şekil 5.26'da verilmiştir. Amaç fonksiyonu olan şebeke güç kaybının iterasyona bağlı değişimidir. 17. iterasyonda parçacıklar en uygun değere ulaşmış ancak çözüm uzayında daha iyi bir çözümü aramaya devam etmişlerdir. Parçacıklar 29. iterasyonda en iyi güç kaybı değerine yerleşmişlerdir. Algoritmanın bir çevrim süresi 48. 86 sn'dir ve 20 çevrim yapılarak sonuçların tutarlılığı incelenmiştir.



Şekil 5.26 : 69 bara radyal dağıtım şebekesinin yakınsama grafiği.

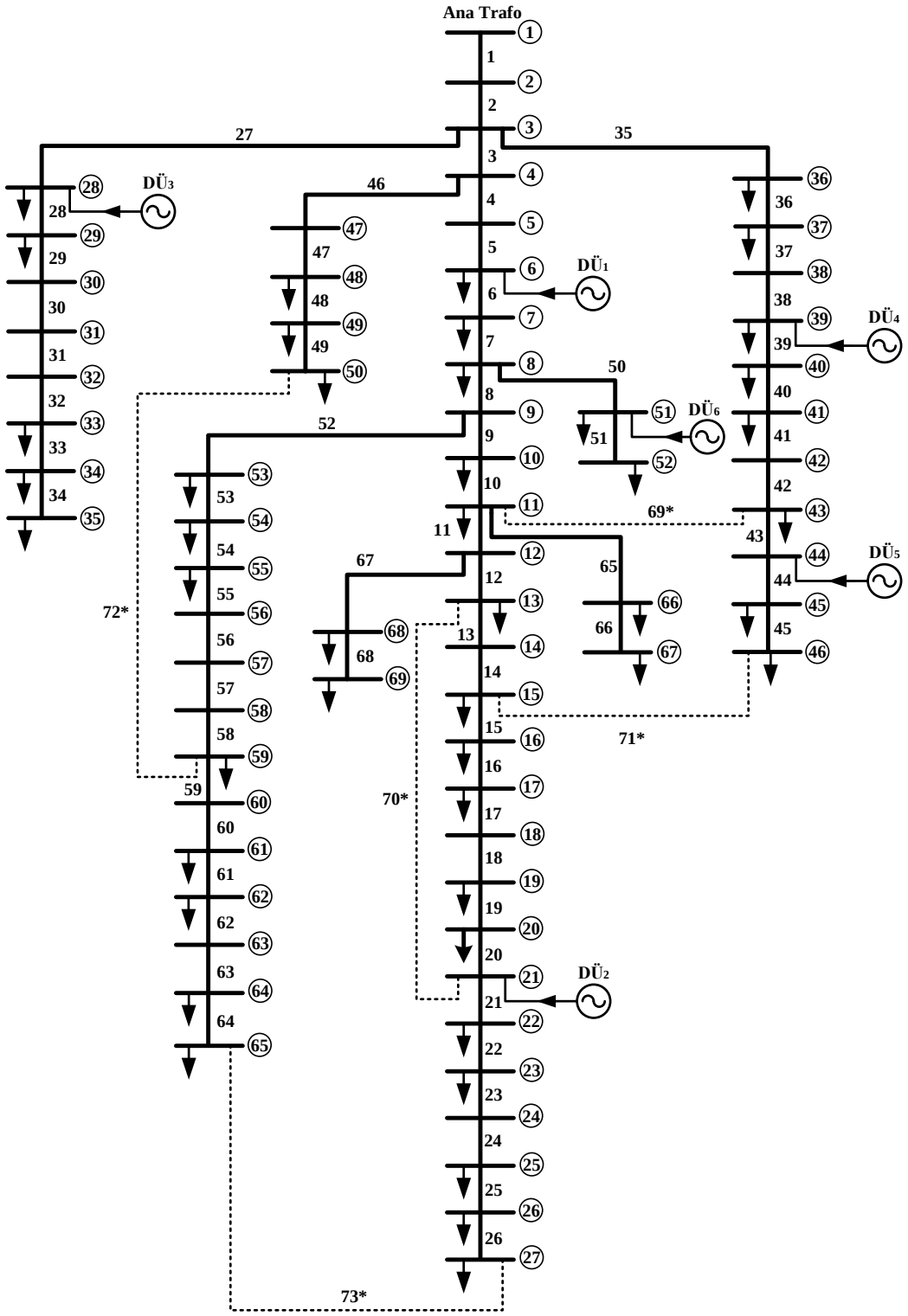
5.2.2 Dağıtık üretim üniteleri bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması

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 yeniden yapılandırmasızdır ve DÜ üniteleri şebekeye bağlı değildir.

Durum 2: Durum 1'deki şebekenin uygun anahtarlamalar yapılarak yeniden yapılandırılmasıdır.

Durum 3: Durum 1'deki şebekeye Şekil 5.27'de gösterildiği gibi DÜ ünitelerinin eklenmesi durumudur.



Şekil 5.27 : 69 bara DÜS bağlı durumda şebeke.

Şekil 5.27'deki DÜ ünitelerinin şebekeye bağlantısının gösterildiği örnek durum referans [24]'den alınmıştır.

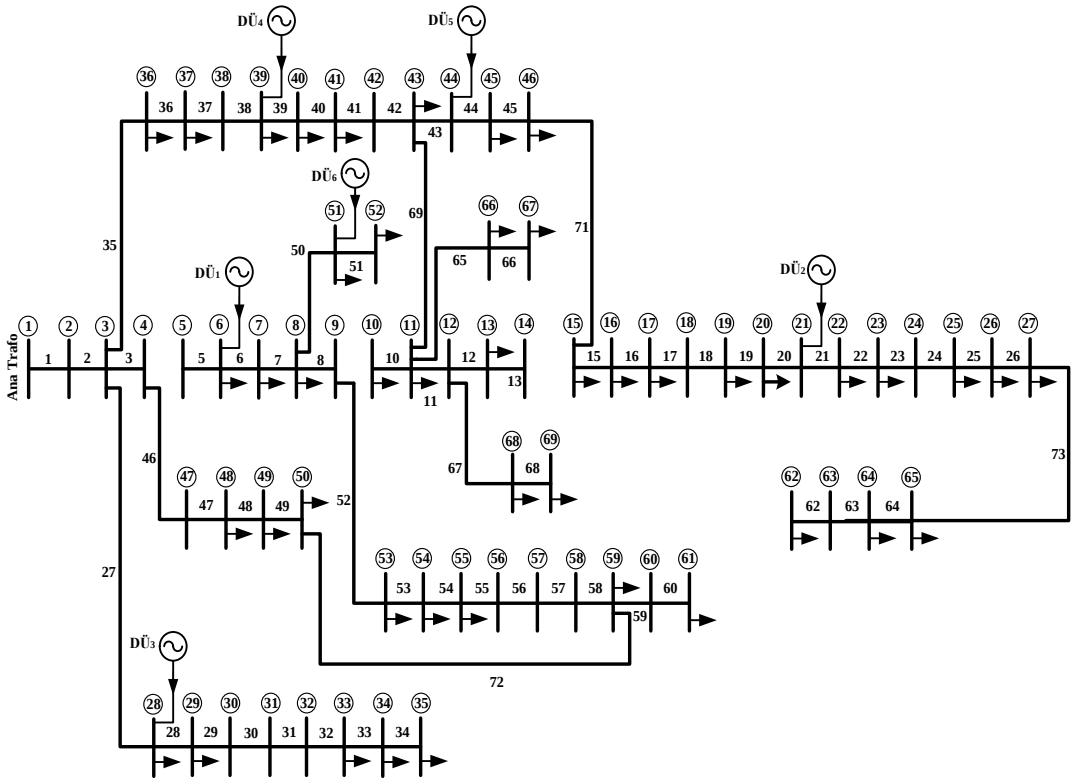
Çizelge 5.10'da DÜ ünitelerinin türü, şebekeye sağladığı güç, bağlı olduğu bara numarası verilmiştir.

Çizelge 5.10 : 69 bara test sistemi için DÜ özellikleri.

Ünite	Kapasite (kW)	Tür	Yer
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

Burada DÜ ünitelerinin şebekeye sadece aktif güç sağladı kabulu yapılarak durumlar incelenmiştir.

Durum 4: Durum 3'deki DÜ üniteli şebekenin yeniden yapılandırılmasıdır ve şebekenin yeni yapısı Şekil 5.28'de gösterilmiştir.



Şekil 5.28 : 69 bara DÜS bağlı durumda şebeke (yeniden yapılandırma sonrası).

Yukarıda belirtilen dört durumun incelemesi yapılmış ve Çizelge 5.11'de PSO algoritmasının sonuçları verilmiştir. Şebekeye dağıtık üretim ünitelerinin eklenmesi durumunda Bölüm 5.2.1'de verilen temel durumdaki hat kayıplarının azaldığı görülmüştür. Ayrıca kayıpların azalmasıyla birlikte gerilim profilindeki düzelme de çalışma sonuçlarında görülmektedir.

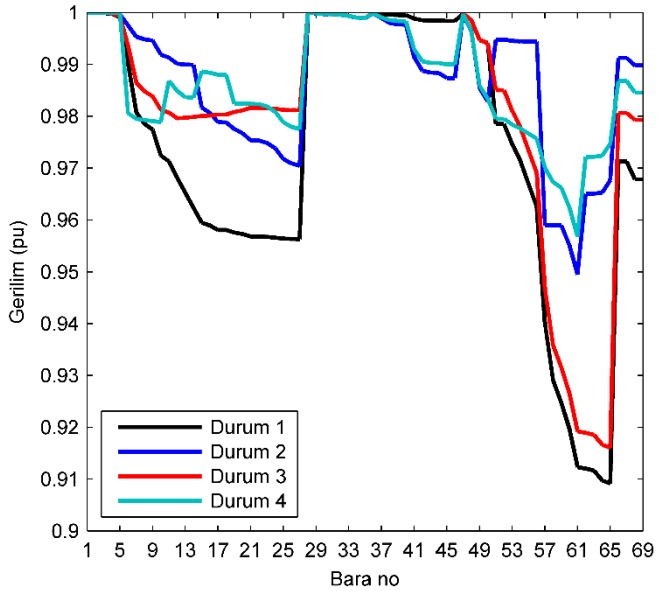
Çizelge 5.11 : 69 bara test sistemi için DÜ üniteli durumda PSO sonuçları.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	69-70-71-72-73	224.9804	0.90920
Durum 2	14-58-61-69-70	98.59	0.94950
Durum 3	69-70-71-72-73	187.5450	0.91600
Durum 4	4-9-14-61-70	80.5100	0.95681

Durum 1 ve 2'nin incelemesi Bölüm 5.2.1'de daha önceden yapılmıştır. Çizelge 5.11'e bakıldığında Durum 3'de temel duruma göre (Durum1) kayıplar % 16.64 oranında azalırken, Durum 4'de bu oran % 64.21'e kadar yükselmiştir.

Durum 3'de şebekede sadece DÜ üniteleri varken şebekedeki kayıplar ilk duruma göre azalmıştır ancak yeniden yapılandırmaya göre daha az başarılıdır DÜ ünitelerinin etkisini artırmak için şebekede gerilimin düştüğü uç noktalara DÜ eklenmesi gerekmektedir. Burada da görüldüğü gibi DÜ ünitelerinin boyutu ve yeri hem kayıplar hem de gerilim açısından oldukça önemlidir.

Ayrıca kayıpların azaltılmasıyla birlikte gerilim profilindeki iyileşme de Şekil 5.29'da görülmektedir. Gerilim profili grafiği incelendiğinde Durum 3'de en düşük gerilime sahip olan bara 65 iken, Durum 4'de 61 olarak değişmiştir.



Şekil 5.29 : DÜS'ün bulunduğu durumda 69 baralı şebekenin gerilim grafiği.

Bu bölümde gerçekleştirilen çalışmalarda, Durum 4'de verilen 4, 9, 14, 61 ve 70 nolu hatlardaki anahtarlar açılıp diğer tüm anahtarların kapatılmasıyla en az kayıp elde edilmiştir. Bu da gerilim profilinde de olumlu yönde bir değişime neden olmuştur. Yapılan çalışmanın literatür karşılaştırılması da Çizelge 5.12'de verilmiş olup PSO sonuçlarının daha iyi olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.12 : 69 bara şebeke için DÜ üniteli durumda yöntemlerin karşılaştırılması.

Yöntemler	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
PSO	**4-9-14-61-70**	**80.5100**	**0.95681**
GA [24]	11-58-61-70-71	88.4282	0.94197
PSO [24]	14-58-61-70-71	87.2016	0.94275
BAÇA [24]	13-55-61-70-71	86.2222	0.94277
Değiştirilmiş BAÇA [24]	14-56-61-70-71	85.2230	0.94278

Anahtarlama kombinasyonunun önceki çalışmalara göre çok daha farklı olduğu ve en az kaybı veren doğru bir tercih olduğu da çalışma sonuçlarında görülmektedir.

Gerilim profili incelendiğinde, ilk durumda şebekede sadece DÜ üniteleri varken en az gerilim genliğine sahip olan bara 65 iken yapılandırma sonucunda 61 numaralı barada en düşük gerilim gözlenmiştir. Gerilim genliği 0.91 seviyesinden 0.95'e iyileştirilmiştir.

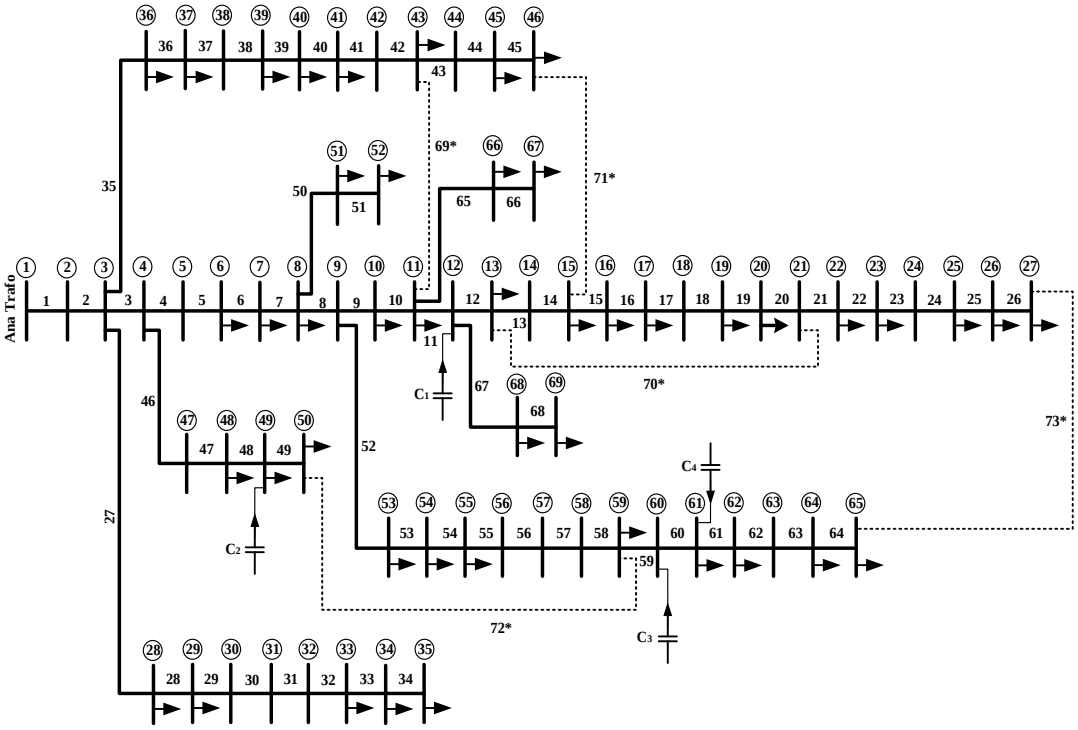
5.2.3 Kapasitör bankları bulunan şebekenin yeniden yapılandırılması

Şebekeye kapasitör ünitelerinin dahil edilmesi durumunda güç kaybı ve gerilim profili değişiminin incelenmesi için dört durum belirlenmiştir.

Durum 1: Şebekede yeniden yapılandırma yoktur ve kapasitör bankları şebekeye bağlı değildir.

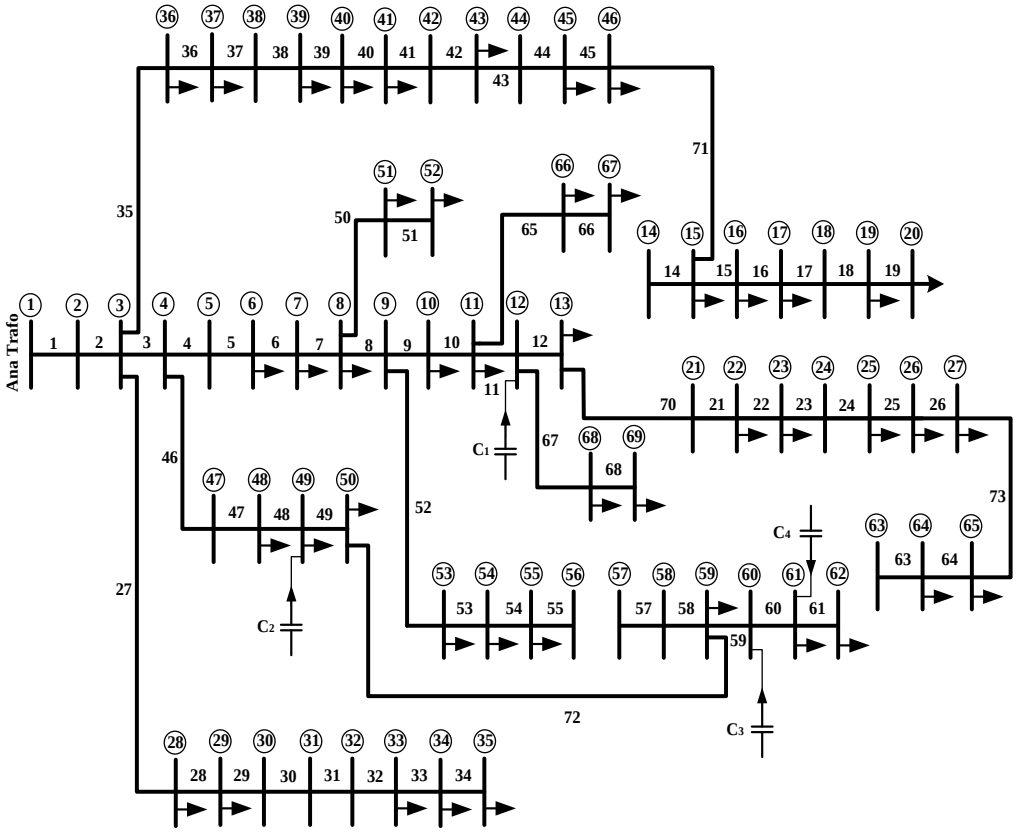
Durum 2: Durum 1'deki şebekenin uygun anahtarlamalar yapılarak yeniden yapılandırılmasıdır.

Durum 3: Durum 1'deki şebekeye 500 kVAr gücünde dört kapasitör bankı eklenmiştir. Kapasitörlerin bağlı oldukları noktalar 12, 49, 60 ve 61 numaralı baralardır ve referans [39]'daki çalışmadaki kapasitör boyutları kullanılmıştır. Şekil 5.30'da kapasitörlü şebeke verilmiştir.



Şekil 5.30 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 69 bara şebeke.

Durum 4: Durum 3'deki kapasitör banklarının olduğu şebekenin yeniden yapılandırılmasıdır ve şebekenin yeni yapısı Şekil 5.31'de verilmiştir.



Şekil 5.31 : Yeniden yapılandırma sonrası kapasitörlü 69 bara şebeke.

Yukarıdaki durum incelemelerinde şebekeye kapasitör banklarının eklenmesi durumunda güç kayıplarının incelemesi gerçekleştirilmiştir. Çizelge 5.13'de dört durumun güç kaybı ve gerilim sonuçları verilmiştir.

Çizelge 5.13 : 69 bara test şebekesi için kapasitörlü durumda PSO sonuçları.

Durumlar	Açık anahtarlar	Güç kaybı (kW)	Minimum gerilim (pu)
Durum 1	69-70-71-72-73	224.9804	0.90920
Durum 2	14-58-61-69-70	98.590	0.94950
Durum 3	69-70-71-72-73	98.969	0.94900
Durum 4	13-20-56-62-69	48.440	0.97040

Elde edilen sonuçlara bakıldığında şebekeye kapasitör ünitelerinin dahil edilmesi durumunda (Durum 3) kayıplarda % 56.18 oranında bir azalma görülmektedir. Bu duruma yeniden yapılandırma da eklendiğinde (Durum 4) kayıp azaltma oranı % 78.47 olmaktadır.

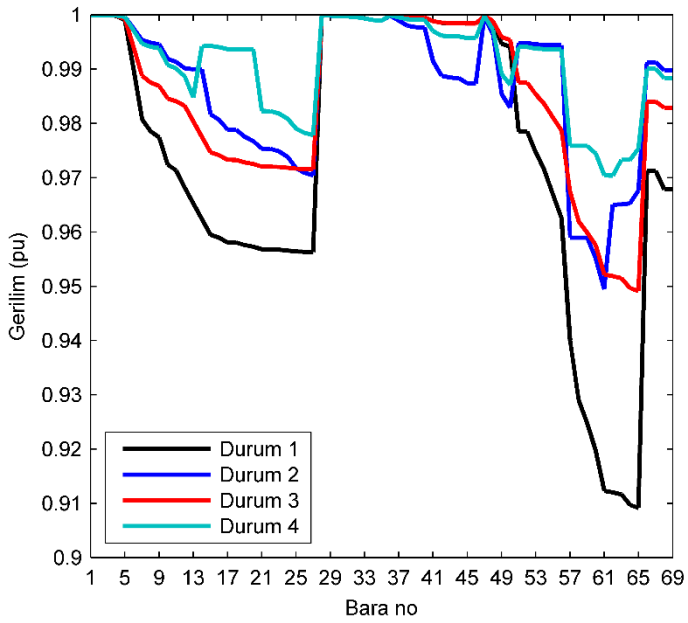
Durum 3'de en düşük gerilime sahip olan bara 65 iken yeniden yapılandırma sonrasında elde edilen Durum 4'de en düşük gerilim 62. baradadır ve Çizelge 5.13'de de görüldüğü gibi minimum gerilim değeri Durum 3'e göre daha küçüktür. Burada ana besleme noktasına en uzak olan bara olmamasına rağmen 62 nolu barada gerilim düşük çıkmıştır. Bunun sebebi şebekenin kompanzasyonu için seçilen noktaların uygun seçilmemesi ve sadece kompanzasyonun kayıp azaltmada sınırlı bir etkisinin olmasıdır.

Çalışmanın literatür karşılaştırması GA ile yapılmış ve Çizelge 5.14'te sonuçlar verilmiştir. PSO ile % 51.06 oranında kayıpların azaldığı ve GA ile de bu oranın % 19.40 olduğu sonuçlardan görülmektedir.

Çizelge 5.14 : 69 bara şebeke için kapasitörlü durumda yöntemlerin karşılaştırılması.

	Temel durum	**PSO**	GA [39]
Açık anahtarlar	69-70-71-72-73	**13-20-56-62-69**	14-17-56-64-69
Güç kaybı (kW)	98.969	**48.440**	79.778
Vmin (pu)	0.9490	**0.9704**	-

Nominal yüklenmede şebeke için incelemesi yapılan dört durumun gerilim grafikleri Şekil 5.32'de verilmiştir. Kayıplardaki % 50 civarındaki azalmayla birlikte baraların gerilimleri de 0.95 seviyelerinden 0.97'lere kadar yükselmiştir.



Şekil 5.32 : Kapasitörlerin bulunduğu durumda 69 bara şebekenin gerilim grafiği.

Şebekeye uygun boyut ve konumlarda yerleştirilen kapasitör üniteleri daha da artırılarak kayıplar azaltılabilir ancak burada hattın taşıyabileceği akım değeri de dikkate alınmalıdır. Ayrıca ilave kapasitör ünitesi ek maliyet anlamına geleceğinden, maliyet araştırması da ayrı bir çalışma konusudur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, parçacık sürüsü optimizasyonu kullanılarak radyal dağıtım şebekesinin yeniden yapılandırılması problemi çözülmüştür. Amaç fonksiyonu olarak güç kayıplarının azaltılması seçilmiştir. Tezde verilen yöntem, üç farklı yüklenme (yarı, nominal ve aşırı yük) durumunda, iki test şebekesine uygulanmış ve sonuçlar literatürde bulunan çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda elde edilen kayıp azaltma yüzdesi PSO yönteminin yeniden yapılandırma probleminde başarılı olduğunu göstermiştir. Uygulama sonuçlarına göre 33 bara radyal şebeke test sisteminde nominal yüklenme durumunda kayıplar %31.46, 69 bara radyal şebeke test sisteminde ise %56.17 oranında azaltılmıştır. Çalışmada gerilim kararlılığı incelemesi de yapılmış ve indeks kullanılarak, gerilim grafiklerindeki iyileşme incelenmiştir. Ayrıca test şebekesinde dağıtık üretim üniteleri ve kapasitör banklarının bulunması durumunda şebeke yeniden yapılandırılmış ve her iki sistemin de hat kayıplarını azaltırken aynı zamanda gerilim profilini de düzelttiği görülmüştür.

Sonuç olarak PSO, kayıp azaltma ve gerilim profilinin düzeltilmesi için radyal dağıtım şebekesinin yapılandırılmasında etkili sonuçlar vermiş ve büyük boyutlu problemlere uygulanabilirliği, az parametre ile diğer sezgisel yöntemlere göre daha iyi sonuç vermesinden dolayı tercih edilmiştir.

Bu çalışmanın devamında yeniden yapılandırma problemi için yazılan algoritmaya dağıtık üretim üniteler konusu geliştirilip eş zamanlı olarak şebekenin yeniden yapılandırılması ile ilgili çalışmalar yapılabilir. Tezde verilen algoritma daha büyük boyuttaki dağıtım sistemleri üzerinde test edilebilir. Ayrıca hat kayıplarının maliyet analizi de çalışmaya eklenebilir. Yine gerçek bir bölgenin dağıtım şebekesinin verileri alınarak, güç kayıpları ve gerilim profilleri dağıtım şirketinin verileriyle karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

[1] **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.

[2] **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.

[3] **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.

[4] **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.

[5] **Zhu, J.Z.** (2002). Optimal reconfiguration of electric distribution network using refined genetic algorithm, *Electric Power Systems Research*, ***62***, 37–42.

[6] **Prasad, K., Ranjan, R., Sahoo, N. C. ve Chaturvedi, A.** (2005). Optimal configuration of radial distribution system using fuzzy mutated genetic algorithm, *IEEE Transactions Power Delivery*, **20 (2)**, 1211–1213.

[7] **Torres, J., Guardado, J. L., Davalos, F. R., Maximov, S. ve Melgoza, E.** (2013). A genetic algorithm based on the edge window decoder technique to optimize power distribution systems reconfiguration, *Electric Power Systems Research*, ***45***, 28–34.

[8] **Duan, D. L., Ling, X. D., Wu, X. Y. ve Zhong, B.** (2015). Reconfiguration of distribution network for loss reduction and reliability improvement based on an enhanced genetic algorithm, *Electric Power Systems Research*, ***64***, 88–95.

[9] **Kumar, K. S. ve Jayabarathi T.** (2012). Power system reconfiguration and loss minimization for an distribution systems using bacterial foraging optimization algorithm, *International Journal of Electric Power Energy Systems*, ***36 (1)***, 13–17.

[10] **Naveen, S., Kumar, S. K. ve Rajalakshmi, K.** (2015). Distribution system reconfiguration for loss minimization using modified bacterial foraging optimization algorithm, *International Journal of Electric Power Energy Systems*, ***69***, 90–97.

[11] **Imran, A. M. ve Kowsalya, M.** (2014). A new power system reconfiguration scheme for power loss minimization and voltage profile enhancement

using fireworks algorithm, *International Journal of Electric Power Energy Systems*, ***62***, 312–322.

[12] **Imran, A. M., Kowsalya, M. ve Kothari, D. P.** (2014). A novel integration technique for optimal network reconfiguration and distributed generation placement in power distribution networks, *International Journal of Electric Power Energy Systems*, ***63***, 461–472.

[13] **Arandian, B., Hooshmand, R. A. ve 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 Electric Power Energy Systems*, ***61***, 48–55.

[14] **Teimourzadeh, S. ve Zare, K.** (2014). Application of binary group search optimization to distribution network reconfiguration, *International Journal of Electric Power Energy System*, ***62***, 461–468.

[15] **Souza, S. S. F., Romero, R. ve Franco J.F.** (2015). Artificial immune networks Copt-aiNet and Opt-aiNet applied to the reconfiguration problem of radial electrical distribution systems, *Electric Power Systems Research*, ***119***, 304–312.

[16] **Nguyen, T. T. ve Truong**, **A. V.** (2015). Distribution network reconfiguration for power loss minimization and voltage profile improvement using cuckoo search algorithm, *International Journal of Electric Power Energy System*, ***68***, 233–242.

[17] **Su, C. T., Changand, C. F. ve Chiou J. P.** (2005). Distribution network reconfiguration for loss reduction by ant colony search algorithm, *Electric Power Systems Research*, ***75***, 190–199.

[18] **Saffar, A.**, **Hooshmand, R. ve Khodabakhshian, A.** (2011). A new fuzzy optimal reconfiguration of distribution systems for loss reduction and load balancing using ant colony search-based algorithm, *Applied Soft Computing*, ***11 (5)***, 4021–4028.

[19] **Rao, R. S., Narasimham, S. V. L., Raju, M. R. ve Rao, A. S.** (2011). Optimal network reconfiguration of large-scale distribution system using harmony search algorithm, *IEEE Transactions on Power Systems*, ***26 (3)***, 1080–1088.

[20] **Rao, R. S., Ravindra, K., Satish, K. ve 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.

[21] **Aman, M. M., Jasmon, G. B., Bakar, A. H. A. ve Mokhlis, H.** (2014). Optimum network reconfiguration based on maximization of system loadability using continuation power flow theorem, *International Journal of Electric Power Energy System*, ***54***, 123–133.

[22] **Shuaib, Y. M., Surya, M., Kalavathi, C. ve Rajan, C. A.** (2014). Optimal Reconfiguration in Radial Distribution System Using Gravitational Search Algorithm, *Electric Power Components and Systems*, ***42 (7)***, 703–715.

[23] **Mirhoseini, S. H. , Hosseini, S. M., Ghanbari, M. ve Ahmadi, M.** (2014). A new improved adaptive imperialist competitive algorithm to solve the reconfiguration problem of distribution systems for loss reduction and voltage profile improvement. *International Journal of Electric Power Energy System, **55***, 128–143.

[24] **Niknam, T., Fard, A.K. ve Seifi, A.** (2012). Distribution feeder reconfiguration considering fuel cell/wind/photovoltaic power plants, *Renewable Energy, **37***, 213–225.

[25] **Esmaeilian, H. R. ve Fadaeinedjad, R.** (2015). Distribution system efficiency improvement using network reconfiguration and capacitor allocation, *Electrical Power and Energy Systems, **64***, 457–468.

[26] **Savier, J. S. ve Das**, **D.** (2007). Impact of network reconfiguration on loss allocation of radial distribution systems, *IEEE Transactions on Power Delivery, **2 (4)***, 2473–2480.

[27] **EPDK**, 2013: Elektrik Piyasası Şebeke Yönetmeliği.

[28] **MEGEP**, 2011: *Enerji üretimi*, T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, Ankara.

[29] **Ackermann, T., Andersson, G. ve Söder, L.** (2001). Distributed generation: a definition, *Electric Power Systems Research, **57 (3)***, 195–204.

[30] **Acharya, N., Mahant, P. ve Mitulananthan, N.** (2006). An analytic approach for DG allocation in primary distribution network, *International Journal of Electrical Power and Energy Systems, **28 (10)***, 669–678.

[31] **Gandomkar, M., Vakilian, M. ve Ehsan, M.** (2005). A genetic-based tabu search algorithm for optimal DG allocation in distribution networks, *Electric Power Components and Systems, **33 (12)***, 1351–1362.

[32] **Wang, C. ve Nehrir, M.H.** (2004). Analytical approaches for optimal placement of distributed generation sources in power systems, *IEEE Transactions on Power Systems, **19 (4)***, 2068–2076.

[33] **Gözel, T.** (2009). Dağıtım sistemlerine yerel elektrik santrallerinin yerleştirilmesi. Koaceli, Türkiye, (doktora tezi), Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü.

[34] **Rosseti, G.J., de Oliveira, E.J., de Oliveira, L.W., Silva, I.C. ve Peres, W.** (2013). Optimal allocation of distributed generation with reconfiguration in electric distribution systems, *Electric Power Systems Research, **103***, 178–183.

[35] **Hung, D. Q., Mithulananthan, N. ve Bansal, R.C.** (2010). Analytical expressions for DG allocation in primary distribution networks, *IEEE Transactions on Energy Conversion, **3 (3)***, 814–820.

[36] **Franco, J.F., Rider, M.J., Lavarato, M. ve Romero, R.** (2013). A mixed-integer LP model for the reconfiguration of radial electric distribution systems considering distributed generation, *Electric Power Systems Research, **97***, 51–60.

[37] **Taher, S.A. ve Karimi, M.H.** (2014). Optimal reconfiguration and DG allocation in balanced and unbalanced distribution systems, *Ain Shams Engineering Journal*, ***5 (3)***, 735–749.

[38] **Zidan, A. ve El-Saadany, E.F.** (2015). Distribution system reconfiguration for energy loss reduction considering the variability of load and local renewable generation, *Energy*, ***15***, 698–707.

[39] **El-Khattam, W. ve Salama, M.M.A.** (2004). Distributed generation technologies, definitions and benefits, *Electric Power Systems Research*, ***71***, 119–128.

[40] **Lee, S.H. ve Grainger J.J.** (1981). Optimum size and location of shunt capacitors for reduction of losses on distribution feeders, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, ***100 (3)***, 1105–1118.

[41] **Baran, M. E. ve Wu, F. F.** (1989). Optimal sizing of capacitors placed on a radial distribution system, *IEEE Transactions on Power Delivery*, ***4 (1)***, 735–743.

[42] **Charlisle, J.C. ve El-Keib, A.A.** (2000). A graph search algorithm for optimal placement of fixed and switched capacitors on radial distribution systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, **15 (1)**, 423–428.

[43] **Gallano, R.J.C. ve Nerves, A.C.** (2014). Multi-objective optimization of distribution network reconfiguration with capacitor and distributed generator placement, *TENCON 2014 IEEE Region 10 Conference*, Bangkok, Thailand, 22-25 Ekim.

[44] **Abdelaziz, A., Osama, R. ve El-Khodary, S.** (2012). Reconfiguration of distribution systems for loss reduction using the hipercube ant colony optimization algorithm, *IET Generation Transmission Distribution*, ***6 (2)***, 176–187.

[45] **Kalambe, S. ve Agnihotri, G.** (2014). Loss minimization techniques used in distribution network: bibliographical survey, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **29**, 184–200.

[46] **Chakravorty, M, and Das D.** (2001). Voltage stability analysis of radial distribution networks, *International Journal of Electric Power Energy System*, ***23(2)***, 129–135.

[47] **Kennedy, J., ve Eberhart, R. C.** (1995). Particle swarm optimization, *Proceeding of IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, Western Australia, 27 Kasım–01 Aralık.

[48] **Wang, C., Liu, Y. ve Zhao, Y.** (2013). Application of dynamic neighbourhood small population particle swarm optimization for reconfiguration of shipboard power system, *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, ***26***, 1255–1262.

[49] **Jin, X., Zao, J., Sun, Y., Li, K. ve Zhang, B.** (2004). Distribution network reconfiguration for load balancing using binary particle swarm optimization, *Conference on Power System Technology*, Singapore, 21–24 Kasım.

[50] **Zimmerman, R.D., Murillo-Sanchez, C.E. ve Thomas, R.J.** (2011). MATPOWER Steady-state operations, planning and analysis tools for

power systems research and education, *IEEE Transactions on Power Systems*, ***26 (1)***, 12–19.

[51] **Nara, K., Shiose, A., Kitagawa, M. ve Ishiara, T.** (1992). Implementation of genetic algorithm for distribution systems loss minimum reconfiguration, *IEEE Transactions on Power Systems*, ***7 (3)***, 1044–1051.

[52] **Hsu, Y.Y., Peng, S.K. ve Yu, H.S.** (1992). Distribution service restoration using a heuristic search approach, *IEEE Transactions on Power Delivery*, ***7 (2)***, 734–740.

EKLER

EK A: Örnek radyal dağıtım şebekelerinin hat ve yük bilgileri

EK A

Çizelge A.1 : 33 bara radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.

Hat no	İlk bara	Son bara	Hat parametreleri		Son baradaki yük	
			R (Ω)	X (Ω)	P_L (kW)	Q_L (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 bara radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.

Hat no	İlk bara	Son bara	Hat parametreleri		Son baradaki yük	
			R (Ω)	X (Ω)	P_L (kW)	Q_L (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 bara radyal dağıtım şebekesi hat ve yük bilgileri.

Hat no	İlk bara	Son bara	Hat parametreleri		Son baradaki yük	
			R (Ω)	X (Ω)	P_L (kW)	Q_L (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 : Halime Hızarcı

Doğum Yeri ve Tarihi : Kastamonu- 10.11.1990

E-Posta : halimehizarci@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2012, Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

Arş. Gör.: 2012- Devam, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği