

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

**KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİNDE YENİLENEBİLİR
ENERJİ KAYNAKLARININ GERİLİM KARARLILIĞINA
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rukiye B.AYMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

MAYIS 2023

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

**KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİNDE YENİLENEBİLİR
ENERJİ KAYNAKLARININ GERİLİM KARARLILIĞINA
ETKİLERİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Rukiye B.AYMAZ

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇIN

MAYIS 2023

Rukiye B.Aymaz tarafından hazırlanan “KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ GERİLİM KARARLILIĞINA ETKİLERİ” adlı tez çalışması 18.05.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Jüri Başkanı : **Prof. Dr. Mehmet Ali YALÇIN**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr.Öğr.Üyesi Talha Enes GÜMÜŞ**
Sakarya Üniversitesi

Jüri Üyesi : **Dr.Öğr.Üyesi Erdal Mustafa YEĞİN**
Kocaeli Üniversitesi



ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

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

18/05/2023

Rukiye B. Aymaz





Babama...



TEŞEKKÜR

Yüksek lisansım boyunca beni destekleyen, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren değerli danışman hocam Sayın Prof.Dr. Mehmet Ali Yalçın'a, tezimin yürütülmesi esnasında bana her türlü yardımı için değerli hocam Sayın Dr.Öğr.Üyesi Talha Enes Gümüş'e içtenlikle teşekkürlerimi sunarım.

Eğitim hayatım boyunca başarılarımla mutlu olan anneme, beni maddi manevi destekleyen ve her zaman yanımda olan aileme, yeğenlerim Asel ve Adem Alp'e çok teşekkür ederim.

Rukiye B.Aymaz



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ	v
TEŞEKKÜR	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR.....	xiii
SİMGELER	xv
TABLO LİSTESİ	xvii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Kapsamı.....	5
1.2. Literatür Araştırması	6
2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK	11
2.1. Gerilim Kararlılığı.....	12
2.1.1. Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı	15
2.1.2. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı	16
2.1.3. Uzun süreli gerilim kararlılığı.....	16
2.1.4. Kısa süreli gerilim kararlılığı	16
2.2. Elektriksel Yükler	16
2.2.1. Sabit empedans yükleri	17
2.2.2. Sabit akım yükleri	17
2.2.3. Sabit güç yükleri	17
2.3. Gerilim Kararlılığı Analiz Yöntemleri	18
2.3.1. Dinamik gerilim kararlılığı analizi.....	18
2.3.2. Statik gerilim kararlılığı analizi	18
2.3.2.1. Güç akışı analizi.....	19
2.3.2.2. PV eğrileri	25
2.3.2.3. QV eğrileri	26
2.3.2.4. Thevenin eşdeğer devre yaklaşımı ile gerilim kararlılığı analizi.....	27
3. OPTİMİZASYON PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA ile ÇÖZÜMÜ	31
3.1. Genetik Algoritma ile İlgili Kavramlar	32
3.2. Önerilen Çözüm Yöntemi	33
3.3. Optimizasyon Probleminde Kullanılan Amaç Fonksiyonları	35
3.3.1. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi	35
3.3.2. Gerilim profilinin iyileştirilmesi	35
3.3.3. Gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesi.....	35
3.4. Optimizasyon Probleminde Kullanılan Kısıtlar	36
4. KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİ.....	37
5. BENZETİM ÇALIŞMALARI	41

5.1. Yöntem	41
5.1.1. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 1. senaryo.....	43
5.1.2. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 2. senaryo.....	44
5.1.3. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 3. senaryo.....	46
5.1.4. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 4. senaryo.....	48
6. SONUÇ.....	51
KAYNAKLAR.....	53
EKLER.....	59
ÖZGEÇMİŞ.....	93



KISALTMALAR

CIGRE	: The International Council on Large Electric Systems
DÜ	: Dağıtık Üretim
DG	: Distributed Generation
DSTATCOM	: Dağıtım Statik Kompansatörü
FVSI	: Fast Voltage Stability Index (Hızlı Gerilim Kararlılık İndeksi)
GA	: Genetik Algoritma
GS	: Gerilim Sapması (Voltage Deviation)
IEEE	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
KBA	: Kuzeybatı Anadolu
LSI	: Line Stability Index (Hat kararlılık indeksi)
SVC	: Statik Var Kompansatör
VSM_v	: Gerilim Kararlılık İndeksi (Voltage Stability Margin)
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları



SİMGELER

$*$	: Eşlenik
E_{Th}	: Thevenin Gerilimi
I	: Akım
P	: Aktif Güç
Q	: Reaktif Güç
R_{Th}	: Thevenin Direnci
V	: Gerilim
ΔP	: Aktif Güçteki Değişim
ΔQ	: Reaktif Güçteki Değişim
ΔV	: Gerilimdeki Değişim
φ	: Güç Açısı
V_i	: i. Bara Gerilim
δ_i	: i. Bara Yük Açısı
P_i	: i. Bara Aktif Gücü
Q_i	: i. Bara Reaktif Gücü
S_i	: i. Bara Görünür Gücü
$V_{ölçülen}$	: Ölçülen Gerilim Değeri
Y_{bara}	: Bara Admitans Matrisi



TABLO LİSTESİ

Sayfa

Tablo 2.1. Gerilim çökmeleri.	13
Tablo 4.1. Kuzeybatı Anadolu güç sisteminde bulunan üretim santrallerine ait üretim değerleri (100 MVA bazda pu. değerler verilmiştir).	37
Tablo 5.1. Oluşturulan 4 senaryo.	42
Tablo 5.2. Senaryo 1'e göre DÜ birimlerinin ekleneceği bara numaraları ve güç değerlerini gösteren tablo.	43
Tablo 5.3. Senaryo 1'e göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.	44
Tablo 5.4. Senaryo 2'ye göre DÜ birimlerinin ekleneceği bara numaraları, güç değerleri ve optimizasyon öncesi ve sonrasına ait indeks değerlerini gösteren tablo.	45
Tablo 5.5. Senaryo 2'ye göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.	46
Tablo 5.6. Senaryo 3'e göre DÜ birimlerinin ekleneceği baralar ve güç değerlerini gösteren tablo.	47
Tablo 5.7. Senaryo 3'e göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.	48
Tablo 5.8. Senaryo 4'e göre DÜ birimlerinin ekleneceği bara numaraları, güç değerleri ve optimizasyon öncesi ve sonrasına ait indeks değerlerini gösteren tablo.	49
Tablo 5.9. Senaryo 4'e göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.	50



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Ülkemizde 2022 yılı itibariyle kaynaklara göre kurulu güç [4].	2
Şekil 2.1. Güç sistemlerinde kararlılık [42, 43].	12
Şekil 2.2. Gerilim kararlılığı sınıflandırması	15
Şekil 2.3. i. baraya ait güçlerin gösterimi	22
Şekil 2.4. Newton Raphson Algoritması.	24
Şekil 2.5. PV Eğrisi.....	25
Şekil 2.6. QV eğrisi.....	26
Şekil 2.7. N baralı sistem ve Thevenin eşdeğer devresi.	28
Şekil 3.1. Genetik algoritmada popülasyon.	32
Şekil 3.2. Önerilen çözüm yöntemine ait akış şeması.	34
Şekil 5.1. Senaryo 1'e ait gerilim profili.	44
Şekil 5.2. Senaryo 2'ye ait gerilim profili.....	46
Şekil 5.3. Senaryo 3'e ait gerilim profili.	48
Şekil 5.4. Senaryo 4'e ait gerilim profili.	50



KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİNDE YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ GERİLİM KARARLILIĞINA ETKİLERİ

ÖZET

Elektrik enerjisine olan ihtiyacın artmasına bağlı olarak güç sistemlerinin büyümesiyle kararlılık konusunun değerlendirilmesi önem kazanmıştır. Yük tarafındaki enerji talebi artışı ve sınırlı üretim kaynakları güç sisteminin gerilim kararlılığı açısından kritik değerlerini etkilemektedir. Yük talebi artışına bağlı olarak enerji talebini karşılamak için içerisinde yenilenebilir enerji kaynakları (YEK) ve çeşitli teknolojiler barındıran dağıtık üretim birimleri (DÜ) güç sistemine farklı konumlarda ve boyutlarda eklenmektedir. Bu birimler son yıllarda güç sistemlerinde elektrik enerjisi üretiminde önemli ölçekte pay sahibi haline gelmiştir. Dağıtık üretimlerin sisteme eklenmesi, güç sisteminin üretim kapasitesini arttırırken ayrıntılı araştırma yapılmadan kapasite ve yerleşim yeri seçimi durumunda sistemde güç kayıplarını arttırdığı gibi sistem kararlılığını da olumsuz etkileyebilmektedir. Bu nedenle ortaya çıkabilecek olumsuzlukları engellemek için, dağıtık üretim birimlerinin sisteme en uygun yer ve güç değerinde seçilmesi gerekmektedir. Ayrıca enerji sistemlerinde gerilim çökmelerinden kaçınmak için gerilim kararlılığını değerlendirmek bir gereklilik olmuş ve gerilim kararlılığı indeksleri önerilmiştir. İndeksler gerilim kararlılığı değerlendirilmesi yapılacak bara hakkında bilgi vermektedir. Bu çalışmada, Türkiye enerji iletim sisteminin önemli bölgelerinden olan Kuzeybatı Anadolu (KBA) 114 baralı güç sistemi örnek alınmış ve bu sisteme eklenecek dağıtık üretim kaynaklarının yer ve güç değerlerinin belirlenmesi problemi, genetik algoritmalar (GA) optimizasyon yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Amaç fonksiyonu olarak aktif güç kayıplarının azaltılması, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılık indeksinin maksimize edilmesi olmak üzere üç farklı fonksiyon kullanılmıştır. Yük tarafındaki enerji talebi artışı göz önüne alınarak mevcut Kuzeybatı Anadolu güç sisteminde yük artışı yapılmıştır. Yük artışı ve amaç fonksiyonlarına göre belirlenen 4 farklı senaryo oluşturulmuş, 114 baralı Kuzeybatı Anadolu güç sistemine uygulanmıştır. Örnek alınan 114 baralı Kuzeybatı Anadolu güç sistemine dağıtık üretim birimleri eklenmeden önce ve oluşturulan 4 senaryo ile dağıtık üretim birimleri eklendikten sonraki gerilim profili, aktif güç kayıpları ve gerilim kararlılığı indeks değerleri karşılaştırılmıştır. Önerilen yaklaşım ile güç sisteminin ağ topolojisini değiştirmeksizin belirlenen yer ve kapasitede dağıtık üretim kaynaklarının eklenmesi durumunda; aktif güç kayıplarının azaldığı, bara gerilim profilinin iyileştiği ve gerilim kararlılığı indeksinin arttığı gözlemlenmiştir.



THE EFFECTS OF RENEWABLE ENERGY SOURCES ON VOLTAGE STABILITY IN NORTHWEST ANATOLIA POWER SYSTEM

SUMMARY

Demand for electrical energy has increased with population growth and technological developments, and electrical energy has become an indispensable part of our lives. In meeting the rapidly increasing energy demand, it is important that the cost of energy is low, sustainable and at the same time reliable. Increasing energy competitiveness, energy efficiency and the share of renewable energy sources in the market are among the energy policies of countries. Sustainable renewable energy, which does not harm the environment, is becoming widespread both in our country and in the world, instead of fossil-sourced power plants with carbon emissions. In addition, renewable energy sources are preferred because they can be used together with other production sources. The share of renewable energy in energy production is increasing. However, renewable energy sources-based power generation units are less reliable compared to traditional fossil fuel-based power generation systems due to their intermittent nature. Although having generation units close to the loads in the network prevents voltage drops, the constraints on the output current of renewable energy sources are an important factor on the voltage instability of the network. Microgrids are electrical distribution systems that include loads and distributed energy sources (such as distributed generators, storage devices, or controllable loads) that can be operated in a controlled, coordinated manner while connected to the main grid or the island grid. A microgrid generates dynamics that affect the direction and amplitude of the current. Renewable energy sources have low short-circuit capacities compared to synchronous generators, which visibly reduces the fault levels of the grid. Low short-circuit power limits the ability of asynchronous motors to provide inrush current. At the same time, it creates bus with lower power compared to the buses connected to the synchronous generator. The evaluation of stability has gained importance with the growth of power systems due to the increase in the need for electrical energy. The increase in energy demand on the load side and limited generation resources affect the critical values of the power system in terms of voltage stability. To meet the energy demand depending on the increase in load demand, distributed generation units which contain renewable energy sources (RES) and various technologies are added to the power system in different locations and sizes, and these units have become a significant shareholder in electrical energy production in power systems in recent years. In electrical energy systems, Distributed Generation (DG) is electricity generation facilities that generally consist of renewable energy sources and can be integrated close to the loads. Distributed generation contributes to the power system by improving voltage profile, but this is only possible with the use of appropriate optimization algorithms for optimal sizing and placement of resources. The general criterion for a bus to contribute to voltage stability is that in case of any fault, the bus responds to the fault with small voltage changes and is a strong bus. Sudden changes in load flow or capacitances in load flow are also causes of voltage instability. For these reasons, when adding DG

units to the power system, the issue of which bus to be added and which power value should be selected is important. As a result of the wrong addition of distributed generation to the power system, voltage instability or even voltage sags can occur. While adding distributed generation to the system increases the generation capacity of the power system, it also increases the power losses in the system in case of stage and location selection without detailed research, as well as negatively affecting the stability of the system. For this reason, to prevent possible problems distributed generation units should be chosen at the most suitable location and power value for the system. In this thesis, general information about genetic algorithm is given and genetic algorithm default features in Matlab Global Optimization Toolbox are used. Genetic algorithm (GA) is a metaheuristic search and optimization algorithm proposed by John Holland in 1975, based on Darwin's principle of natural selection, the basic principle of which is survival of the fittest. They are algorithms that try to find the most suitable one among many possible solutions to a problem. Organisms adapt to optimize their chances through the process of natural selection to survive in a given environment. Each solution candidate to the problem is called a chromosome or genotype. Chromosomes are made up of many genes. The population is the collection of solutions in the current generation. With each new generation, a new population is formed. It is assumed that the population reaches its local minimum or local maximum as the number of new generations increases, depending on the problem type. The fitness value shows the performance of the individual in the problem. An individual with a high fitness value means a good solution to the problem. The solution space is the combination of all possible solution candidates to the problem. The main reason why GA is preferred in optimization problems is the multiplicity of solution candidates in the solution space. By using GA and its operators, only a small part of the solution space is evaluated and the best or near-best solutions are reached. As the population evolves from generation to generation, bad solutions tend to disappear and good solutions tend to be used to create better solutions. In addition, it has become a necessity to evaluate voltage stability in order to avoid voltage collapses in energy demands and voltage stability indices have been proposed. The indexes provide information about the bus whose voltage stability evaluation will be made. If used appropriately, indices can provide information about the nature of the problem and contributing factors.

As described in the PV and QV curves, the point corresponding to the critical voltage is the critical power value point, which expresses the maximum loadability limit, and this point is called the voltage collapse point. In the Thevenin equivalent circuit in the maximum power value to be drawn from the bus is calculated with the help of the maximum power theorem and the critical point of the relevant bus is obtained. For voltage stability, the bus voltage must be greater than the critical voltage. By using the bus voltage and critical voltage of the critical bus selected according to the power flow, information about the bus voltage stability is obtained with the voltage stability index (VSM_v). The mentioned critical voltage value is obtained with the help of Thevenin equivalent circuit provided that the amplitudes of the load impedance and Thevenin impedance are the same.

The transmission systems are divided into regions and each region is controlled from its own center, and the Northwest Anatolian region, which is taken as an example, is one of these regions. There are 12 380 kV and 102 154 kV buses (substation) in the Northwest Anatolia region with operating voltages of 380 kV and 154 kV. In this

study, the Northwest Anatolian (KBA) 114 bus power system, which is one of the important regions of Turkey's energy transmission system, was taken as an example and the problem of determining the location and power values of the distributed generation resources to be added to this system was investigated using genetic algorithms (GA) optimization method. KBA 114 bus power system modeled using MATLAB MATPOWER. The size of DG units to be added to the power system is determined to be between %20-%30 of the total production and the number is determined as 10. Three different functions were used as the objective function: reducing active power losses, improving the voltage profile, and maximizing the voltage stability index. Considering the increase in energy demand on the load side, the load increase has been made in the existing Northwest Anatolian power system. 4 different scenarios which determined according to load increase and objective functions were created and applied to the Northwest Anatolian power system with 114 bus. In order to prevent instability problems that may occur in the power system, analyzes were made by creating four different scenarios. Against the instability problems that may occur due to the load growth in the power system, the analysis was made by increasing the load in scenario 3 and scenario 4. A total of 10 DG units, whose power values were determined by the GA optimization method, were added to the KBA 114 bus power system with the proposed solution method. The voltage profile, active power losses and voltage stability index values were compared before adding distributed generation units to the 114 bus Northwest Anatolian power system, which was taken as an example, and after adding distributed generation units with the 4 scenarios which are created.

For scenario 1, the objective functions of minimizing the active power losses and improving the voltage profile were used and the load values were taken as given in APPENDIX-1 A without changing the load values of the KBA 114 bus power system. If DG units are added at the position and power values determined according to scenario 1, it has been observed that the voltage profile for the buses and other buses with DG units increased and the active power losses decreased by %27.85.

For scenario 2, the objective function of minimizing the active power losses, improving the voltage profile and maximizing the voltage stability index is used. The load values of the KBA 114 bus power system are taken as given in APPENDIX-1 A without changing the load values. The bus and power values to which DG units will be added have changed according to scenario 1. If DG units are added at the position and power values determined according to scenario 2, it is seen that the voltage profile for the buses and other buses with DG unit is improved and the active power losses are reduced by %27.94. Index values were compared for the pre-optimization and post-optimization situation. It was observed that the index values increased after optimization, so the system worked more stable.

For scenario 3, the objective functions of minimizing power losses and improving the voltage profile are used. The load values of the KBA power system have been increased by %8. The buses and power values to which DG units will be added have changed according to the other 2 scenarios. If DG units are added at the position and power values determined according to scenario 3, it is seen that the voltage profile increases and the active power losses decrease by %33.63 for the buses and other buses with the DG unit added.

For scenario 4, the objective functions of minimizing power losses, improving the voltage profile and maximizing the voltage stability index are used. The load values have been increased by %8 compared to the 114 bus KBA power system load values. The buses to which DG units will be added have changed according to scenarios 1, 2 and 3. If DG units are added at the position and power values determined according to scenario 4, it is seen that the voltage profile improves and the active power losses decrease by %32.74. Index values were compared for the pre-optimization and post-optimization situation. It was observed that the index values increased after optimization.

With the proposed approach, in the case of adding distributed generation resources at the determined location and capacity without changing the network topology of the power system; It was observed that active power losses decreased, bus voltage profile improved and voltage stability index increased.

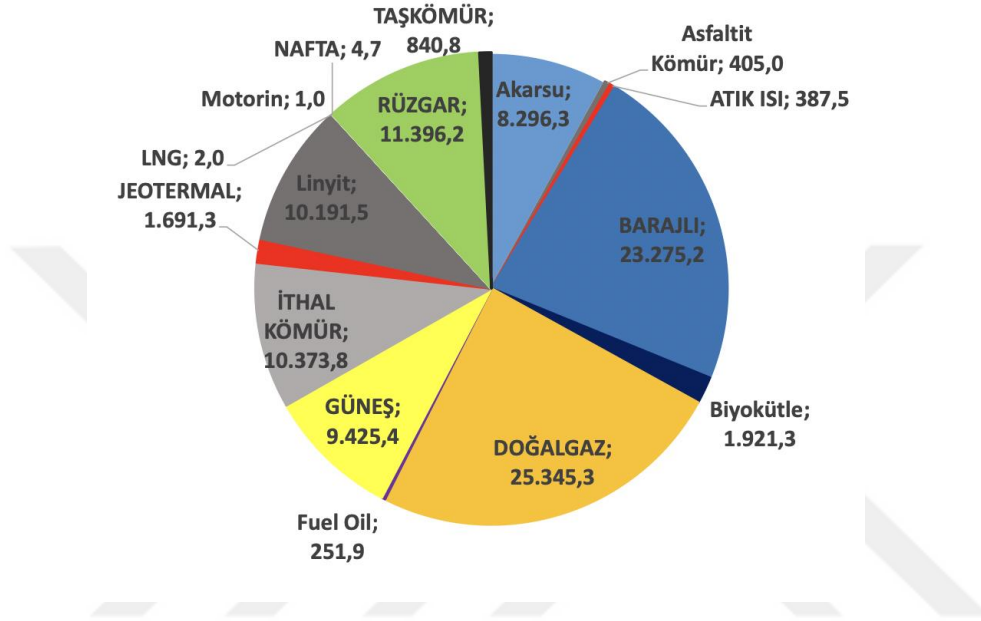


1. GİRİŞ

Elektrik enerjisine talep nüfus artışı ve teknolojik gelişmelerle birlikte artmış, elektrik enerjisi hayatımızın vazgeçilmez bir parçası haline gelmiştir. Bir ülke için enerji, kalkınma hedefleri arasındadır. Hızla artan enerji talebinin karşılanmasında enerjinin maliyetinin düşük, sürdürülebilir ve aynı zamanda güvenilir olması önem arz etmektedir. Enerjide rekabet gücünü, enerji verimliliğini ve yenilenebilir enerji kaynaklarının pazardaki payını arttırmak ülkelerin enerji politikaları arasındadır. Fosil kaynaklı karbon salınlı santrallerin yerine çevreye zarar vermeyen aynı zamanda sürdürülebilir yenilenebilir enerji hem ülkemizde hem de dünyada yaygınlaşmaktadır. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynakları diğer üretim kaynaklarıyla birlikte kullanılabilmesinden dolayı da tercih edilmektedir [1–3].

Güneş, rüzgar, hidrolik, biyokütle, jeotermal ve gel-git enerjisi başlıca yenilenebilir enerji kaynakları olarak sıralanabilir. 2022 yılı aralık ayı sonu itibarıyla ülkemiz kurulu gücü 103.809,3 MW'a ulaşmış ve kurulu gücümüzün kaynaklara göre dağılımı şekil 1.1'de daire grafiği olarak verilmiştir [4]. Enerji üretiminde yenilenebilir enerjinin payı artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları ısıtma [5] ve minimum karbondioksit salınımı ile elektrik üretiminde [6] kullanılmaktadır. Piyasada hem şebeke bağlantılı hem de bağımsız yenilenebilir enerji kaynakları sistemleri mevcuttur [7]. Şebeke bağlantılı sistem genelde yüksek enerji ihtiyacını sağlamak için uygundur. Bağımsız sistemler ise uzaktaki konut kullanıcıları için faydalıdır. Ancak yenilenebilir enerji kaynakları tabanlı enerji üretim birimleri kesintili yapıları nedeniyle geleneksel fosil yakıt tabanlı güç üretim sistemlerine kıyasla daha az güvenilirdir. Farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji depolama sistemiyle birleştirilmesi, güç sistemlerine güvenilirlik katabilir [8]. Bu entegrasyon hibrit yenilenebilir enerji kaynakları olarak adlandırılır. Farklı yenilenebilir enerji kaynakları farklı elektrik üretim kapasitelerine sahiptir. Hükümet ve kamu hizmeti şirketlerinin, elektrik şebekesinin dağıtım planlamasının gerçekleştirilmesi için farklı konumlardaki farklı yenilenebilir enerji kaynaklarının tam kapasitesini bilmeleri önemlidir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının uygun şekilde dağıtımı, nihayetinde enerji üretim birimlerinin işletme ve bakım maliyetlerini azaltacaktır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından verimli bir şekilde

faydalanabilmek için yenilenebilir enerji modelleri, emisyon azaltım modelleri, enerji planlama modelleri, enerji arz ve talep modelleri, tahmin modelleri ve kontrol modelleri [5] gibi literatürde çeşitli optimizasyon modelleri mevcuttur. Ayrıca politikacılar petrol ve doğal gaz fiyatlarındaki artışlardan dolayı elektrik enerjisinin karbondan arındırılması hızlandırmak için elektrik enerjisinin ulaşım ve ısınmada kullanılması yönünde adımlar atmaktadır.



Şekil 1.1. Ülkemizde 2022 yılı itibariyle kaynaklara göre kurulu güç [4].

Elektrik enerji sistemlerinde Dağıtık Üretim (DÜ) genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşan, yüklere yakın yerlere entegre edilebilen elektrik üretim tesisleri olarak tanımlanmaktadır [9]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer üretim kaynaklarıyla birlikte kullanılabilmesi, sistemde oluşan harmoniklerin azaltılması [10], güç kalitesinin iyileştirilmesi [11], sistem güvenilirliğinin iyileştirilmesi [11] ve gerilim profilinin iyileştirilmesi DÜ birimlerinin tercih edilmesinin başlıca sebepleridir. Güç sistemlerinin yapısına baktığımızda doğrudan iletim sistemine bağlanan üretim tesislerinin yanında dağıtım sistemine bağlanan üretim tesisleri de yaygınlaşmaktadır. Dağıtık üretim birimlerinin tüketiciden uzak yüksek gerilim seviyelerine enerji transferi gereken yerlere kurulması halinde iletim hatlarında aşırı yüklenmeye ve kayıpların artmasına sebep olduğu bilinmektedir [12]. Elektrik enerjisi ihtiyacını anlık olarak karşılayacak tesisler tüketiciye yakın yerlere kurulabilir. Genelde normal işletme koşullarında tüketiciye yakın konumlarda şebekeye bağlanan

dağıtık üretim birimlerinin iletimden kaynaklanan kayıpları düşürdüğü ve besleme hattının ucundaki gerilim düşümlerini azalttığı bilinmektedir. Mevcut iletim ve dağıtım sistemlerinde enerji akışı yüksek gerilim iletim sisteminden son kullanıcının bulunduğu dağıtım sistemine doğrudur. Dağıtım kısmında üretim olmaksızın güç akışı yüksek gerilimden düşük gerilime doğru gerçekleşmektedir. Ancak tüketici tarafında da elektrik enerji üretilmesi çift yönlü bir enerji akışı oluşturmaktadır. Bu tip üretim sistemlerinin üretim süreksizliği ve belirsizliği nedeniyle şebekeyle entegrasyonu zor hale gelmekle beraber elektrik üretimindeki süreksizlik ve belirsizlikler elektrik enerji sistemleri güç akışlarında anlık değişimlere sebep olmaktadır. Bu da şebeke de gerilim problemlerine yol açmaktadır. DÜ birimlerden gelen güç katkıları güç sisteminin güç akışını değiştirmektedir. DÜ birimleri reaktif güç akışını değiştirdikleri için dağıtık üretimin boyutları ve konumları gerilim kararlılığında önemli bir etkidir. Genelde DÜ birimlerinin kayıpları azaltma, gerilim regülasyonu ve kararlılığının iyileştirilmesi konusunda güç sistemine katkı sağladığı bilinir [13, 14]. Dağıtık üretimler enerji verimliliğinde ve gerilim profilinde iyileşme sağlayarak güç sistemine katkıda bulunurlar ancak bu katkılar kaynakların optimal boyutlandırılması ve yerleşimi için uygun optimizasyon algoritmalarının kullanımı ile mümkündür [15]. Dağıtık üretim ünitelerinin sayısı gün geçtikçe önemli ölçüde artmaktadır ve teknik, ekonomik ve çevresel etkileri analiz edilmelidir. Şimdilerde ilgilenilen teknik etkiler gerilim profili, güç kaybı, koruma, güç kalitesi, güvenilirlik, güç kontrolü ve kararlılıktır [16]. Optimal olmayan konumlarda kurulu DÜ birimlerinin optimum olmayan boyutlandırma ile entegrasyonu, aşırı kayıplara ve fiderin aşırı yüklenmesine yol açar [17, 18].

Dağıtık üretim kaynaklarının çoğunlukla yenilenebilir enerji kaynaklarından oluştuğu bilinmektedir. Ancak büyük ölçekli hidrolik santralleri, denizlerde bulunan rüzgar santralleri gibi santraller dağıtık üretim birimlerinin dışında kalmaktadır. Güç elektroniği inverterleri genellikle şebeke ile yenilenebilir enerji kaynakları arasında ara yüz olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden dağıtık üretim enerji kaynaklarına genellikle inverter tabanlı generatörler denebilir [19]. Dağıtık üretim birimlerini kontrol edilebilir hale getirmek için güç sistemine mikro şebeke halinde eklenirler. Mikro şebeke için Uluslararası Büyük Elektrik Sistemleri Konseyi (CIGRE) tarafından yapılan tanım aşağıdaki gibidir [20].

Mikro şebekeler, ana şebekeye veya ada şebekeye bağılyken kontrollü, koordineli bir şekilde çalıştırılabilen yükler ve dağıtık enerji kaynaklarını (dağıtık generatörler, depolama cihazları veya kontrol edilebilir yükler gibi) içeren elektrik dağıtım sistemleridir.

Geleneksel olarak güç sistemindeki generatörlerin çoğu senkron generatördür. Bu tip generatörler aktif ve reaktif güç akışını kolayca kontrol edebilirler. Ayrıca senkron generatörler rotor hızındaki ani değişiklikleri engelleyen, büyük bir atalet sağlayan ağır rotorlara sahiptirler. Böylece güç sisteminde herhangi bir arıza olması durumunda güç sistemi kararlılığını korumaya yardımcı olurlar. Ancak inverter tabanlı generatörler doğal olarak atalet sağlamazlar. İnverter tabanlı generatörlerin aktif ve reaktif güçlerini kontrol etmek için kontrol şemaları geliştirilse de senkron generatörler kadar geniş aralıkta kontrol edilemezler ve tahmin edilemeyen süreksiz güç çıkışına sahiptirler. IEEE PES Task Force on Microgrid Stability Analysis and Modeling [21] tarafından yayımlanan rapora göre şebekede yüklere yakın üretim ünitelerine sahip olmak gerilim düşmesini engellese de yenilenebilir enerji kaynaklarının çıkış akımı üzerindeki kısıtlar şebekenin gerilim kararsızlığı üzerindeki önemli etkidir. Bir mikro şebeke akımın yönünü ve genliğini etkileyen dinamikler üretir [22]. Yenilenebilir enerji kaynaklarının senkron generatörlere göre kısa devre kapasitelerinin düşük olması şebekenin arıza seviyelerini gözle görülebilir ölçüde düşürür [23, 24]. Düşük kısa devre gücü asenkron motorların ani akım sağlama yeteneğini kısıtlar. Aynı zamanda senkron generatör bağı olan baralara kıyasla daha düşük güçte baralar oluşturur [21]. İnverter tabanlı generatörlerin bu özellikleri güç sistemi kararlılığı ve özellikle de gerilim kararlılığı olmak üzere güç sistemi karakteristiğinde önemli değişikliklere sebep olur [25]. Bir baranın gerilim kararlılığına katkıda bulunabilmesi için genel kriter herhangi bir arıza olması durumunda baranın arızaya küçük gerilim değişiklikleri ile cevap vermesi ve güçlü bir bara olmasıdır [26]. Yük akışındaki ya da yük akışındaki kapasitelerdeki ani değişiklikler de gerilim kararsızlığı sebeplerindendir. Bu sebeplerden dolayı DÜ birimlerinin güç sistemine eklenirken hangi baraya ekleneceğı ve hangi güç değerinin seçilmesi gerektiğı konusu önemlidir. Dağıtık üretimlerin güç sistemine yanlış eklenmesi sonucunda gerilim kararsızlığı hatta gerilim çökmeleri meydana gelebilmektedir [27]. Güç sistemine eklenecek yenilenebilir enerji kaynağının bağlantı noktaları ve güçleri hakkında çalışmalar yapılmaktadır. Dağıtık üretimin şebekenin

nihai performansını kötü etkilememesi için dağıtık üretimlerin güçleri ve konumları farklı çözüm yöntemleri kullanılarak belirlenebilmektedir. Bu çözüm yöntemleri nümerik, analitik metot; optimal boyutlandırma ve konumlandırma için kayıp hassaslık faktörünün kullanımını içermektedir [28, 29]. Güç sistemlerinde üretim, iletim ve dağıtım sistemleri arasındaki koordinasyon son tüketiciye kadar kaliteli ve kesintisiz enerji sağlanabilmesi için büyük öneme sahiptir. Oluşabilecek problemlerin önlenmesi için olumsuz etkilerin önceden tespitinin yapılması ve bu doğrultuda önlemler alınması etkin bir güç sistemi için önem arz etmektedir.

Bu tezde, Türkiye enerji iletim sisteminin önemli bölgelerinden olan Kuzeybatı Anadolu (KBA) 114 baralı güç sistemine yenilenebilir enerji kaynaklarının eklenmesi problemi genetik algoritma optimizasyon yöntemi kullanılarak incelenmiştir. Güç akışı çalışmaları için MATPOWER kullanılmıştır. 3 amaç fonksiyonu belirlenmiştir. Amaç fonksiyonları ile güç sisteminde oluşabilecek yük artışları göz önüne alınarak 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolara göre belirlenen farklı boyut ve konumlardaki DÜ birimleri güç sistemine eklenmiştir. Dağıtık üretim birimleri güç sistemine eklenmeden önce ve eklendikten sonra KBA 114 baralı güç sistemi analiz edilmiştir. Sonuçlar optimizasyon öncesi ve sonrası olmak üzere karşılaştırılmıştır. Güç sistemi ağ topolojisi değiştirilmeden eklenen yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif güç kayıplarını azalttığı, gerilim profilini iyileştirdiği ve gerilim kararlılığı indeksini arttırdığı gözlemlenmiştir.

1.1. Tezin Kapsamı

Bu tez çalışmasında yenilenebilir enerji kaynaklarının Kuzeybatı Anadolu güç sistemine eklenmesi problemi ele alınmıştır. DÜ birimlerinin optimal bağlantı noktaları ve güç değerlerinin belirlenmesi problemi genetik algoritma optimizasyon yöntemi kullanılarak çözülmüştür. Algoritmada üç farklı amaç fonksiyonu kullanılmış olup 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Algoritmadan elde edilen konum ve güç bilgileriyle DÜ birimleri, güç sistemine eklenmiş elde edilen sonuçlar incelenmiştir.

Birinci kısımda ele alınan problem tanıtılmıştır. Dağıtık üretim birimleri, mikro şebeke, yenilenebilir enerji kaynakları ve kullanımı konularına değinilmiştir. Ele alınan konuyla alakalı daha önceki çalışmalara değinilmiştir. Güç sistemine eklenecek

DÜ birimlerinin konumlandırılması ve boyutlandırılması problemi için kullanılan farklı optimizasyon yöntemlerini içeren çalışmalar incelenmiştir.

İkinci bölümde güç sistemlerinde kararlılık konusu ele alınmıştır. Gerilim kararlılığı ve gerilim kararlılığı analiz yöntemleri konusuna değinilmiştir. Gerilim kararsızlığı yüklerle ilişkilendirildiğinden problemi anlamaya yardımcı olması için elektriksel yükler hakkında bilgi verilmiştir. Tezde kullanılan Newton Raphson algoritması hakkında bilgi verilmiştir. İkinci bölüm sonunda tezde kullanılan gerilim kararlılığı indeksi (VSMv) hakkında bilgi verilmiştir.

Üçüncü bölümde önerilen yaklaşımın uygulandığı örnek alınan KBA şebekesi tanıtılmıştır. KBA şebekesine ait empedans ve hat değerleri Ek-1 A'da verilmiştir.

Dördüncü kısımda DÜ birimlerinin boyutlandırılması ve konumlandırılması için kullanılan genetik algoritma optimizasyon yöntemi hakkında genel bilgi verilmiştir. Tezde kullanılan algoritmaya ait akış şemasına, algoritmada kullanılan amaç fonksiyonlarına ve kısıtlara yer verilmiştir.

Beşinci bölüm benzetim çalışmaları kısmıdır. 4 farklı senaryo oluşturulmuştur. Oluşturulan 4 senaryo hakkında bilgi verilmiştir. KBA 114 baralı güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrası sonuçlarına yer verilmiştir. Aktif güç kayıplarına, gerilim profiline, indeks değerlerine ve optimizasyon sonucunda elde edilen dağıtık üretim kaynaklarının boyut ve konum bilgilerine yer verilmiştir.

Sonuç kısmında önerilen çözüm yönteminin uygulanması halinde elde edilen sonuçlar her senaryo için ayrı ayrı irdelenmiştir.

1.2. Literatür Araştırması

Popovic ve arkadaşları bir dağıtım sistemindeki dağıtık üretimlerin ve kesicilerin optimum yerleşimi için genetik algoritma optimizasyon yöntemini kullanmışlardır. Baralara eklenecek dağıtık üretimin gücünü barada bulunan yük değerinin maksimum %20'si olacak şekilde kısıtlandırılmasını önermişlerdir [30].

Mouti ve Hawary dağıtım ağlarında yapay arı kolonisi algoritması aracılığıyla dağıtık üretimin konumlandırılması ve boyutlandırılmasını için yeni bir optimizasyon yaklaşımı sunmuşlardır. Optimizasyonda aktif ve reaktif güç kısıtını %40'ı

geçmeyecek şekilde ve eklenecek dağıtık üretim sayısını 2 adet olarak belirlemişlerdir [31].

Stokastik optimizasyon yöntemlerinden parçacık sürü optimizasyonu, sürünün partikül adlı birkaç bireyi içerdiği popülasyon tabanlı bir metottur. Hız ve konuma sahip olan parçacıklar iterasyon yaparlar ve daha önceki iterasyon deneyimini kullanarak optimum pozisyona hareket ederler. Varesi dağıtık üretimleri gerilim profilini iyileştirecek ve güç kaybı minimizasyonu sağlayacak şekilde yerleştirmek için parçacık sürü optimizasyonu kullanmıştır [32].

Moradi ve Abedini dağıtık üretimin gücünün ve yerleşimin belirlenmesinde gerilim kararlılığı, bakır kayıpları ve gerilim kararlılığı indeksini kısıt olarak kullanan hibrid genetik ve parçacık sürü optimizasyonu önermişlerdir. Genetik algoritma kaynakların yerleşimi için, parçacık sürü optimizasyonu ise kaynakların gücünün belirlenmesi için kullanılmıştır. Önerilen algoritma performansının genetik algoritma ve parçacık sürü optimizasyonunun performansından daha iyi bir performans sağladığı görülmüştür [33].

Gümüş ve arkadaşları genetik algoritma ve çevresel etki analizi ile değişen yük taleplerini göz önünde bulundurarak IEEE 34 baralı test sisteminde güç kaybı minimizasyonu sağlamış ve gerilim kararlılığını kontrol etmek için de gerilim kararlılığı indeksi geliştirmişlerdir. Gerilim ve reaktif güç kontrolünün kapasitör bankı ve dağıtım statik kompansatörü (DSTATCOM) ile sağlanması, bu durumlara dağıtık üretimlerin eklenmesinden oluşan 4 farklı durumda sistemin davranışını incelemiştirler. Tüm durumlar hem geleneksel Newton-Raphson algoritması hem de evrimsel tabanlı genetik algoritma ile değerlendirilmiş olup güç kaybı minimizasyonu için tüm baraların belli gerilim sınırları içinde tutulması halinde evrimsel tabanlı genetik algoritmanın sonuçlarının daha iyi olduğu görülmüştür. Genel sonuçlar test sistemiyle DSTATCOM ve Dağıtık Üretimlerin birlikte bulunduğu durumun en iyi güç kaybı minimizasyonu ve sera gazı emisyon azaltımı sağladığını göstermiştir [34].

Ismail ve arkadaşları aktif ve reaktif yük değişikliklerine yönelik mevcut 4 gerilim kararlılık indeksini karşılaştırmışlardır. İndeks performanslarını IEEE 30 baralı test sistemi üzerinde teorik olarak analiz etmişlerdir ve indekslerin ya aktif güce ya da reaktif güç değişikliklerine karşı duyarlı olduğunu görmüşlerdir [35].

Singh ve arkadaşları makalelerinde gerilim kararsızlığını incelemek için, IEEE-14 baralı standart sisteminin yük akış analizi için Newton Raphson yöntemi kullanıp ve tüm çalışmada MATLAB®/ NN Toolbox kullanarak gerilim kararlılığı indeksleri ile yapay sinir ağı uygulamasını gerçekleştirmişlerdir. Bu kapsamda hızlı gerilim kararlılığı indeksi (FVSI) ve hat kararlılık faktörünü (LSI) karşılaştırmışlardır. Bu indeksleri maksimum yüklenebilirliğe dayalı olarak baranın güvenlik açığını belirlemek için kullanmışlardır. Ayrıca, gerilim kararsızlığının dinamik davranışıyla mücadele etmek için optimum statik VAR kompensatörün (SVC) konumunu elde etmişlerdir. Yapay sinir ağının tahmin yapabilmesi için indeksleri kullanmışlardır. Farklı yük baralarının aktif ve reaktif güçleri giriş değişkenleri olarak belirlemişlerdir. Sonuçlar, SVC kullanarak gerilim kararlılığı değerlendirmesine yönelik tekniklerin uygulanabilirliğini göstermektedir [36].

Jirjes ve arkadaşları 30-baralı test sisteminde en zayıf barayı belirlemek için hat kararlılık indeksini (Lmn) ve hızlı gerilim kararlılığı indeksini (FVSI) kullanmışlardır. Daha sonra gerilim kararlılığına yardımcı olmak için üç tip FACTS kompanzasyonu, şönt, seri ve hibrit (şönt ve seri) kullanılmıştır. Sonuçlar, şönt kompanzasyonunun diğer iki tipten daha verimli olduğunu göstermektedir [37].

Serem ve arkadaşları IEEE 39 baralı test sistemine rüzgâr, güneş ve hidroelektrik gücü enjeksiyonu yaparak Q-V hassaslık analizi, gerilim profili ve QV eğrileri ile analiz gerçekleştirmişlerdir. Üretim kaynağı olarak yalnızca rüzgâr gücü, yalnızca güneş gücü, rüzgâr ve güneş gücü birlikte son olarak rüzgâr güneş ve mikro hidroelektrik gücünün birlikte enjekte edilmesi durumlarını değerlendirmişlerdir. Yalnızca rüzgâr gücü enjeksiyonu yapılması durumunda gerilim profilinin iyileştiği gözlemlenirken geleneksel kaynakların güneş enerji kaynaklarıyla değiştirilmesinin gerilim profilini ve gerilim kararlılığını kötü etkilediği gözlemlenmiştir. Ayrıca birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının güç sistemine eklenmesi durumunda gerilim profili ve gerilim kararlılığının iyileştiğini not etmişlerdir [38].

Gomez ve arkadaşları dağıtık üretim sistemlerinin boyut ve konumlarını optimize etmek için ayırık parçacık sürü optimizasyonu ve optimal yük akışını kullanan hibrit bir yöntem geliştirmişlerdir. Kısıt olarak termal limitler, gerilim limitleri ve sistem frekansı ile ilişkili problemlerden kaçınmak için üretilen güç ile talep edilen ve kayıp gücün eşit olması kısıtlarını kullanmışlardır [39].

[40]'da akıllı Şebeke  zerindeki dağıtık üretimlerinin boyutlarının ve konumlarının belirlenmesi için balina optimizasyonu kullanılmıştır. Dağıtık  retim birimini simülasyondan elde edilen konum ve g   bilgisine göre 36 baralı radyal dağıtım sistemindeki 17. baraya 1.3501 MW gücünde eklemiŐlerdir. Sonuç olarak radyal sistemde en düşük gerilim değerine sahip olan barada D  eklendikten sonra gerilimde artış gözlemlenmiştir. Güç kayıplarının azaldığı kaydedilmiştir.

[41]'de dağıtık üretim birimlerinin yerleşimi optimal yük akışı ve doğrusal olmayan programlama kullanılarak yapılmıştır. Önerilen yöntem IEEE 33 baralı test sistemi ve Kanada Saskatoon'da 404 baralı dağıtım sistemine uygulanmıştır. D 'lerin yerleşimi için aday baraların seçiminde yeni bir gerilim regülasyon indeksi (VRI) tanımlanmıştır. Yük değişimleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarındaki belirsizliklerinin göz önüne alındığı kısıtlar altında g   sisteminin yıllık enerji kayıplarının minimizasyonu amaçlanmıŐtır. Güç kayıplarının uygulanan iki sistem içinde azaldığı görülmüştür.

2. GÜÇ SİSTEMLERİNDE KARARLILIK

Güç sistemi kararlılığı normal koşullar altında güç sisteminin dengeli çalışma koşullarında kalmasına ve bir arızaya maruz kalması durumunda kabul edilebilir dengeli koşulları tekrardan kazanmasına izin veren güç sistemi özelliğidir [42]. Kararsızlık sistemin çalışma moduna ve konfigürasyonuna bağlı olarak farklı yollarla ortaya çıkabilir. Güç sistemlerinde elektrik gücü üretimi genel olarak senkron makineler ile sağlandığından tatmin edici bir sistem çalışması için koşul tüm makinelerin senkronizasyonda kalmasıdır. Kararlılığın bu yönü generatör rotor açısı dinamiği ve güç-açı ilişkisi dinamikleri tarafından etkilenmektedir. Kararsızlık ayrıca senkronizasyon kaybı olmaksızın oluşabilir. Bir iletim hattı boyunca indüksiyon (asenkron) motoru yüküyle beslenen senkron generatörlerden oluşan bir sistem yük geriliminin çöküşünden dolayı kararsız olabilir. Buradaki mesele senkronizasyonu sürdürmek yerine kararlılık ve gerilim kontrolüdür. Kararsızlığın bu türü büyük bir sistem tarafından beslenen yüklerden oluşan geniş alanlarda da görülebilir. Kararlılığın değerlendirilmesindeki konu güç sistemin geçici arızaya maruz kaldığındaki cevabıdır. Arızalar küçük veya büyük olabilir. Yük değişiklikleri formundaki küçük arızalar sürekli meydana gelir ve sistem kendini değişen koşullara uydurur. Sistem bu koşullar altında tatmin edici bir şekilde çalışabilmeli ve başarılı bir şekilde maksimum yük miktarını besleyebilmelidir. Sistemin arızaya cevabı birçok ekipmanı içerir. Kritik bir elemanda kısa devre meydana gelmesinin ardından koruyucu röleler tarafından izolasyonu güç aktarımlarında, makine rotor hızlarında ve bara gerilimlerinde değişikliklere neden olacaktır; gerilim değişimleri hem generatörleri hem de iletim sistemleri gerilim regülatörünü harekete geçirecektir; gerilim ve frekanstaki değişiklik, sistem üzerindeki yükleri bireysel özelliklerine bağlı olarak değişen derecelerde etkileyecektir. Bunlara ek olarak koruma elemanları değişen sistem koşullarına çeşitli cevaplar verebilir ve bu da sistem performansını etkileyebilir. Bu yüzden problemi basitleştirmek için ve kararlılık problemini etkileyen faktörler üzerine odaklanmak için bazı varsayımlar yapılabilir. Kararlılık problemini

anlamayı kolaylaştırmak amacıyla kararlılık sınıflandırması yapılmıştır [42]. Güç sistemi kararlılığının sınıflandırılması şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Güç sistemlerinde kararlılık [42, 43].

2.1. Gerilim Kararlılığı

Gerilim kararlılığı, normal çalışma koşullarında ve herhangi bir bozulmadan sonra güç sisteminin bütün bara gerilim değerlerini kabul edilebilir sınırlarda tutabilme yeteneği olarak tanımlanmıştır [43]. Bir arıza olması durumunda, yük arz-talep dengesizliğinde veya sistemdeki senkron makinelerde aşırı açı farklılığından kaynaklanan senkronizasyon kaybı sonucunda kontrol edilemeyen gerilim düşümü sistemi kararsızlığa götürebilir. Aynı zamanda güç sisteminde meydana gelen gerilim kararsızlığından dolayı generatörlerde senkronizasyon kaybı oluşabilir. Büyük bir generatörün devre dışı kalması, iletim hattında meydana gelebilecek beklenmedik bir durum güç sisteminde reaktif güç kaybına ve yük bölgelerinde gerilim düşümlerine neden olur. Gerilim kararsızlığı aşırı yüklü yetersiz reaktif güçlü sistemlerde meydana gelir ve güç sistemindeki baraların yüklenebilme kapasitesiyle doğrudan ilişkilidir [44, 45]. Gerilim kararsızlığındaki ana faktör reaktif güç talebinin sistem tarafından karşılanamamasıdır [42]. Yüklerin talep ettiği reaktif güç değeri arttıkça baralarda gerilim düşümleri meydana gelir. Gerilim kararlılığı değerlendirilmez ve meydana gelen problemler uygun bir şekilde giderilmezse ardışık olaylar meydana gelebilir ve bu da gerilim çökmesine veya güç sisteminde kesintilere neden olabilir. Güç sisteminin normal koşullar altında çalışabilmesi ve herhangi bir bozucu etki sonrasında da bara gerilim değerlerini kabul edilebilir sınırlar içinde tutabilmesi için gerilim kararlılığı değerlendirilmesinin yapılması gerekmektedir.

Literatürde gerilim kararlılığı ile ilgili çeşitli tanımlar bulunmaktadır. IEEE ve CIGRE tarafından yapılan tanımlar aşağıdaki gibidir.

CIGRE tarafından yapılan tanım: ‘Normal koşullar altında çalışan bir güç sisteminde herhangi küçük bir bozucu etki sonrasında yüklere yakın gerilimler bozucu etki meydana gelmeden önceki değerlere benzer veya aynı ise güç sistemi küçük bozuculara karşı kararlıdır [43].’ şeklindedir.

IEEE tarafından yapılan tanım: ‘Gerilim kararlılığı bir güç sisteminin gerilimini koruma yeteneğidir. Gerilim çökmesi, sistemin büyük bir bölümünde meydana gelen gerilim kaybının yol açtığı gerilim kararsızlığı durumunun bir sonucudur. Gerilim kararlılığı, sistemin sadece kararlı bir şekilde çalışma kabiliyeti değil, aynı zamanda meydana gelebilecek çeşitli arıza ya da işletme durumları karşısında kararlı halde kalabilme yeteneğidir [46].’ şeklindedir.

Gerilim kararlılığı konusu güç sistemi planlanmasında ve iletilebilecek güç sınırlarının belirlenmesinde önemlidir. Gerilim kararsızlığı son yıllarda kötü ün kazanan problemlerden birisidir. Gerilim kararsızlığı sebebi ile kısmi ya da bölgelerin tamamını kapsayacak kesintiler meydana gelmektedir. Gerilim çökmesi birkaç saniyeden birkaç dakikaya bazen saatlerce süren kesintilerden sonra meydana gelir. Dünyada geçmiş 50 yıl boyunca 50’den fazla gerilim çökmesi vakası meydana gelmiştir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde yaşanan gerilim çökmelerinden bazılarını tablo 2.1’de yer verilmiştir.

Tablo 2.1. Gerilim çökmeleri.

TARİH	KONUM	KESİNTİYE AİT BİLGİLER
12.19.1978	Fransa	Kesitin 26 dk sürdüğü ve 29 GW’lık yükün beslenemediği kaydedilmiştir.
27.12.1982	İsviçre	55 saniye süren kesintide 11.4 GW’lık yük ayrıldığı kaydedilmiştir.

Tablo 2.1. (Devamı) Gerilim çökmeleri.

TARİH	KONUM	KESİNTİYE AİT BİLGİLER
17.05.1985	Güney Florida, Amerika	Generatörlerin fırça arızasının sebep olduğu yangın sonucu 4.292 GW'lık yükün güç sisteminden ayrıldığı kaydedilmiştir.
Mayıs 1997	Şili	Yarım saat süren kesintide 2GW'lık yükün ayrıldığı kaydedilmiştir.
09.05.2000	Lizbon	Bir leyleğin enerji nakil hatlarına çarpması sonucu oluşan kesinti tüm şehri etkilemiştir.
14.08.2003	Kanada, Amerika	39 dk süre kesintiden 63 GW'lık yük güç sisteminden ayrılmıştır.
28.09.2003	İtalya	Fransa-İtalya arasındaki 400 kV enerji nakil hattının fırtına sebebi ile zarar görmesi sonucu şebeke gerilimi frekansında düşüşler meydana gelmiş, İtalya'da uzun süreli kesinti yaşanmıştır.
31.03.2015	Türkiye	400 kV enerji nakil hattında yapılan bakım çalışması esnasında yük arz-talep dengesi bozulmasını takiben Osmanca-Kurşunlu hattının aşırı yüklenmesi sonucu frekans düşmesine bağlı gerilim çökmesi yaşanmıştır. Kesinti 8 saatten fazla sürmüş ve Türkiye'de neredeyse tüm bölgeleri etkilemiştir.

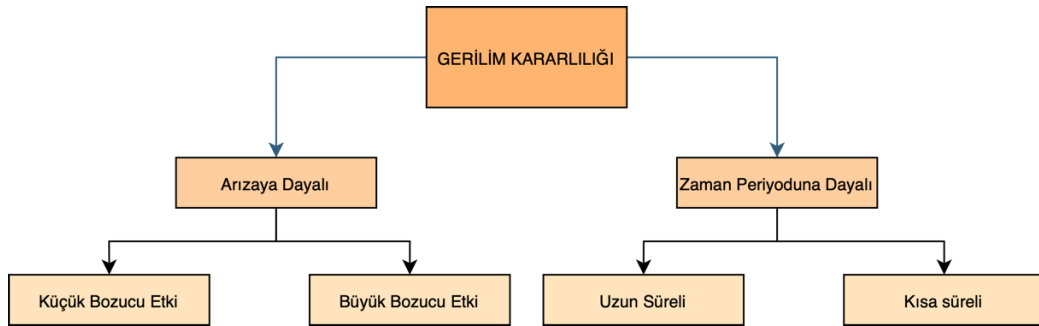
Geçmişte meydana gelen bu kesintiler sebebi ile gerilim kararsızlığı konusu önemli bir hal almıştır. Gerilim çökmesi gerilim kararsızlığından kaynaklanan güç sisteminin önemli bir kısmında düşük gerilim profilinin yol açtığı süreç olarak tanımlanır. Gerilim

kararsızlığına yük karakteristiği tarafından sebep olduğu kabul edilmektedir [47]. Gerilim kararsızlığına sebep olan bazı durumlar aşağıda maddelenmiştir.

- Güç sisteminde arz- talep dengesinin sağlanamaması
- Sistemdeki reaktif güç kompanzasyonunun yetersiz olması
- Bozucu bir etki olması durumu
- İletim hatlarında güç akışı değerlerinin çok yüksek olması durumu

Gerilim kararsızlığı yüklerden kaynaklandığı için yük kararsızlığı olarak da isimlendirilmektedir. Elektriksel yükler gerilime karşı duyarlılardır ve karakteristik yapıları farklıdır. Güç sistemindeki yüklerin durumu gerilim kararlılığıyla ilişkilidir. Gerilimdeki artma veya azalma sonucunda yükler gerilim kararlılığını kötü etkileyebilirler. Gerilim kararlılığını anlamak açısından yük karakteristiklerini bilmek faydalı olacaktır. Gerilim kararlılığı sınıflandırılmasından sonra elektriksel yükler hakkında bilgi verilmiştir.

Gerilim kararlılığı problemine sebep olan nedenlerin daha iyi anlaşılması için Şekil 2.2’de iki alt başlık oluşturulmuştur.



Şekil 2.2. Gerilim kararlılığı sınıflandırması

2.1.1. Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı

Sistemde meydana gelen yük artışı değişiklikleri gibi küçük bozucu etkilerden sonra sistemin gerilim kararlı kalma yeteneği ile ilişkilidir. Kararlılığın bu formunda yük karakteristikleri incelenir. Ani yük değişikliklerine sistemin cevabının incelenmesi için kullanışlıdır. Küçük bozucu etki gerilim kararsızlığına götüren temel süreç sürekli halin doğasıdır. Bu yüzden statik analiz kararlılık marjini belirlemek, kararlılığı

etkileyen faktörleri tanımlamak ve beklenmedik durum senaryolarını incelemek için etkili bir şekilde kullanılabilir. Küçük bozucu etki gerilim kararlılığı için kriter reaktif güç enjeksiyonu yapılan barada gerilim genliğinin artmasıdır. Bir sistem en az bir barada bile reaktif güç enjeksiyonu yapılırken gerilim genliği düşüyorsa sistem gerilim kararsızdır. V-Q hassaslığı pozitif olan sistem gerilim kararlıyken negatif olan sistem gerilim kararsızdır [42].

2.1.2. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı

Generatörlerin devreden çıkması, iletim hatlarında oluşan kısa devre, aşırı yük artışı, hatta meydana gelen kopmalar gibi büyük bir bozucu etki sonrası güç sistemin gerilimin kararlılığını sürdürebilme yeteneğidir. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığında güç sisteminin gerilimi kontrol etmesi hem sürekli hem de ayrık kontrol ve koruma etkileşimlerinden, yük karakteristiği tarafından belirlenir. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığının belirlenmesi için güç sisteminin lineer olmayan dinamik performansının sistemde bulunan yük altında kademe değiştirici transformatörlerin ve generatör uyarma akımı sınırlayıcılarının etkileşimini gözlemlemek için yeterli bir süre boyunca incelenmesi gerekmektedir. Büyük bozucu etki gerilim kararlılığı için kriter arıza ya da sistem kontrollerini takiben bütün baralardaki gerilim seviyelerinin sürekli halde kabul edilebilir seviyelerde olmasıdır [42].

2.1.3. Uzun süreli gerilim kararlılığı

Sistemde oluşan küçük bozucu etkilerden sonra generatör akım sınırlandırıcılar, kademe değiştirici trafolar termostatik kontrollü yükler gibi sistemi korumak için kullanılan elemanların birkaç dakikada harekete geçme sürecidir.

2.1.4. Kısa süreli gerilim kararlılığı

Sistemde oluşan büyük bozucu etkiler sonrasında indüksiyon motorları, yüksek gerilim doğru akım dönüştürücüler, klimalar gibi sistemden reaktif güç çeken yüklerin sistemi toparlamaya dönük birkaç saniye içerisinde harekete geçmesidir.

2.2. Elektriksel Yükler

Güç-açı kararlılığında senkron makineler önemli olduğu gibi gerilim kararlılığında da yükler aynı derecede önem arz etmektedir. Gerilim kararlılığı problemini anlamada elektriksel yükleri anlamak önemlidir. Yük modelleri iki ana grupta sınıflandırılabilir.

Bunlar statik yük modelleri ve dinamik yük modelleridir. Güç gerilim arasındaki ilişkiyi incelerken genellikle statik yüklerle işlemler yapılır [48].

2.2.1. Sabit empedans yükleri

Ağırlıklı olarak omik karakterli olan bu yüklere ark ocakları, aydınlatmalar, ısıtma yükleri örnek olarak verilebilir.

$$\frac{\Delta P}{P} \cong 2 \frac{\Delta |V|}{V} \quad (2.1)$$

Gerilimdeki değişim güce yaklaşık olarak iki katı olarak yansımaktadır. Gerilim kararlılığı açısından gerilim düşmesi halinde güce bu türden bir etkisi olması bakımından sabit empedans yüklerin etkisi olumlu olacaktır [49].

2.2.2. Sabit akım yükleri

Metalurji ve elektrokimya alanlarında metal parlatma, metal kaplama ve elektroliz uygulamalarında yükler sistemden sabit akım çekerler.

Akımı sabit kabul ederek ve $P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$ güç ifadesini kullanarak gerilimdeki değişimler için

$$\frac{\Delta P}{P} \cong \frac{\Delta V}{V} \quad (2.2)$$

olur. Bu ifadeden gerilimdeki değişimlerin güce aynı oranda yansıdığı görülmektedir [48].

2.2.3. Sabit güç yükleri

Bu grup yüklerde baskın olarak asenkron motor bulunmaktadır. Asenkron motor yüklerinin gerilim değişimine cevabı çektikleri aktif gücün gerilim değişimine göre artması veya azalması daha sonra da nominal değerine geri dönmeye çalışmasıdır. Gerilimin ani olarak azalmasıyla aktif ve reaktif gücün azalmasının ardından aktif güç nominal değerine geri dönerken reaktif güç nominal değerinin üstüne çıkmaktadır. Gerilim nominal değerine ulaşabildiğinde her iki güçte nominal değerine geri dönmektedir [48].

Gerilim kararlılığına etkisi bakımından yükler arasından en yüksek kritik yüklenme değerine sahip yük grubu sabit empedans yükleridir. En düşük kritik yüklenme değerine sahip yük grubu ise sabit güç yükleridir [50].

2.3. Gerilim Kararlılığı Analiz Yöntemleri

Gerilim kararlılığı analizi statik ve dinamik gerilim kararlılığı analizi olarak ikiye ayrılabilir. Her iki analizde sistemin kararsızlığa ne kadar yakın olduğunu, gerilim kararsızlığının nasıl ve neden ortaya çıktığını, kararsızlığa etki eden ana faktörleri, normal çalışma koşulları altında düşük gerilim baralarının belirlenmesi konularını inceler [44].

2.3.1. Dinamik gerilim kararlılığı analizi

Dinamik analiz güç sisteminin kararsızlık periyodu boyunca değişikliklerini inceler. Dinamik analizde transformatörler, iletim hatları, seri kapasitörler ve senkron generatörler birinci dereceden denklem olarak modellenir. Dinamik gerilim kararlılığı analizi diferansiyel denklemlere dayanır ve bara gerilimlerinin güç sistemindeki parametrelerin değişmesi ile nasıl değişeceğinin analizini yapar. Dinamik analiz gerilim çökmesi senaryolarını çalışmada ve gerilim çökmesine yol açan olayların oluş sırasını incelemede etkilidir. Dinamik gerilim kararlılığı küçük sinyal kararlılığı analizi, zaman bazlı simülasyonları, çataklanma analizi ve enerji fonksiyon metotlarını içerir [51].

2.3.2. Statik gerilim kararlılığı analizi

Statik analiz kararlı güç sisteminin gerilim çökmesinin meydana geleceği çalışma noktasına ne kadar uzak olduğunu inceler. Farklı çalışma koşullarının belli bir zaman için cebirsel ifadelerle dayanan analizini içerir. Statik gerilim kararlılığı analizi farklı büyüklükteki güç iletimi için aktif ve reaktif güç bakımından zayıf bölgelerin belirlenmesi, her baranın maksimum yüklenebilirlik sınırlarını, sistemde gerekli kompanzasyon elemanlarının boyutlarının belirlenmesi hakkında bilgi verir [52]. Statik gerilim kararlılığı analizinde kullanılan bazı metotlar P-V, Q-V eğrileri ve güç akışı yöntemleridir [42–44]. Bu eğrilerden güç akışı hesaplamalarıyla eğrinin uç noktası bulunarak gerilim çökmesinin yaklaşık olarak hangi noktada meydana geleceği hakkında fikir edinilir. Ancak bu eğriler gerilim kararsızlığının sebebi hakkında bilgi vermez. Gerilim kararlılığı analizi dinamik bir problem olsada güç sisteminin gerilim

kararlılığı durumu hakkında birçok bilgi statik analiz vasıtasıyla sağlanabildiğinden problemlerin çoğu statik analiz ile çözülmektedir. Aynı zamanda dinamik analiz ile karşılaştırıldığında statik analiz daha az hesaplama zamanı gerektirir bu yüzden yürütmesi daha kolay bir analiz yöntemidir. Dinamik analiz gerçek zamanlı bir analiz yöntemi olup lineer olmayan yükleri içerir. Bu yüzden modellemesi zor ve zaman alıcı bir yöntemdir [49]. Bu tezde statik analize dayanan metotlar kullanılmıştır.

2.3.2.1. Güç akışı analizi

Güç sistemlerinde yaygın olarak kullanılan analizlerden birisi olan güç akışı analizi güç sistemin en uygun çalışma noktalarının belirlenmesi, işletilmesi ve yeni kurulacak olan sistemlerin planlanmasında kullanılır.

3 fazlı, dengeli ve sürekli hal koşulları altında güç sistemlerini analiz etmede kullanılan güç akışı gerçekleştirilirken bazı kabuller yapılmaktadır.

- Güç sistemi üretim birimlerinde üretilen güçler yüklerin talep ettiği güçleri, iletim ve dağıtım kayıplarını karşılamalıdır.
- Güç sistemi bara gerilim değerleri uluslararası standartlar tarafından belirtilen değerler aralığında bulunmalıdır.
- Güç sistemi elemanları herhangi bir kabul edilebilir yük değeri için aşırı yüklenmemelidir.

Güç sistemlerinde analiz yapılırken gerilim, akım, güç ve empedans büyüklükleri gerçek değerlerinin belli bir oranı olarak ifade edilirler. Elde edilen büyüklükler per-unit (pu.) ya da birim değer olarak adlandırılmaktadır. Farklı fiziksel büyüklükteki akım, gerilim, güç ve empedans değerlerinin pu. değerlere dönüştürülmesi ile güç sistemini ifade etmede kolaylık sağlanır. Pu. sisteme geçildiğinde güç sistemi istenilen tarafa indirgendiğinden transformatörlerin dönüştürme oranları ortadan kalkmış olur [53].

$$\text{Birim değer} = \text{gerçek değer} / \text{baz değer} \quad (2.3)$$

Güç sisteminde pu hesaplamalarında tutarlılık sağlayabilmek için baz gerilim (V_{baz}) ve güç (S_{baz}) değeri belirlenir. Baz gerilim ve güç vasıtasıyla gerçek güç, gerilim, akım ve empedans değerleri per unit değerlere dönüştürülür. Denklem 2.3'te gerçek

değerin per unit değere dönüşümünü gösteren eşitliğe yer verilmiştir. Üç fazlı güç sistemlerinde genellikle anma güç değeri üç faza ait görünür güç olarak, anma gerilim değeri ise fazlar arası gerilim yani hat gerilimi olarak belirlenir.

Böylelikle üç faz eşdeğer devre eşitlikler kullanılarak bir faz eşdeğer devreye bütün değerler pu olacak şekilde dönüştürülmüş olur. Dengeli üç fazlı sistemlerde tek fazın birim olarak ifade edilmesi ile tek hat şeması oluşturulur. Güç akışının matematiksel gösterimi ve çözümü için pu değerlerden oluşan tek hat şeması kullanılır. Güç akışı programları aksi belirtilmedikçe dengeli, üç fazlı ve sürekli hal koşulları altında yazılır. Güç sistemi matematiksel modeli oluşturulduktan sonra bara çeşitleri, iletim hattı parametreleri, üretim ve talep gücü bilgilerinin kullanıldığı güç akışı analizi çalışmaları ile güç sistemi tüm bara gerilim genlik ve açı değerleri, sistemin toplam güç kaybı ve iletim hatlarından akan aktif ve reaktif güçler hesaplanmış olur. Güç sistemlerinde yükler empedans olarak değil aktif veya reaktif güç olarak generatörler ise gerilim veya akım kaynağı olarak değil güç kaynağı olarak modellenir. Bu güç eşitliklerine güç akışı ya da yük akışı eşitlikleri olarak bilinip lineer olmayan türden özelliğe sahiptirler. Bu sebepten dolayı güç akışı eşitlikleri dögüsel yöntemler kullanılarak çözümlenmelidir.

Güç sistemlerinde salınım, üretim ve yük barası olmak üzere üç çeşit bara vardır. Bu baraların sahip olduğu özellikleri belirten dört değişkene göre isimlendirme yapılmıştır. Herhangi bir güç sisteminde i. baraya ait bu değişkenler aktif güç P_i , reaktif güç Q_i , gerilim genliği V_i ve gerilim açısı δ_i 'dir. Güç akışında bu değişkenlerden iki tanesinin bilindiği kabul edilerek diğer ikisi bulunmaya çalışılır.

- Salınım Barası (V- δ)

Güç sisteminde yalnızca bir adet salınım barası bulunur. Generatör baralarından bir tanesi salınım barası olarak seçilir. Bu baranın gerilimi (V_i) ve faz açısı (δ_i) değerleri bilinir. Aktif güç (P_i) ve reaktif güç (Q_i) değerleri hesaplanır.

- Üretim Barası (P-V)

Güç sisteminde generatörlerin bağlı olduğu baraya üretim barası denir. Üretim baralarındaki generatör aktif gücü (P_i) ve gerilimi (V_i) bilinirken reaktif güç (Q_i) ve

faz açıları (δ_i) bulunmak istenir. Generatörlerin reaktif güç üretimi asgari sınırlar aralığında bulunmalıdır. Buradaki amaç gerilim genliğini sabit tutmaktır.

- Yük Barası (P-Q)

Üçüncü bara türü yük barasıdır. Yük barasında P_i ve Q_i değerleri bilinirken V_i ve δ_i hesaplanır.

n baralı güç sisteminde i. baradan alternatif akım hattına verilen kompleks güç

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (2.4)$$

şeklindedir.

S_i : i. Baradan güç sistemine iletilen kompleks güç

P_i : i. Baradan güç sistemine iletilen aktif güç

Q_i : i. Baradan güç sistemine iletilen reaktif güç

Bara admitans matrisi iletim hatlarındaki admitans değerlerinden oluşur. Bu matris güç sisteminde bulunan bara sayısı boyutunda köşegen boyunca simetrik kare matristir.

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

n : toplam düğüm sayısı (toplam bara sayısı)

Y_{ii} : i. baraya bağlı olan admitanslar toplamı

Y_{ij} : i ve j baraları arasındaki admitans toplamının negatif değeri

V_i : i. baraya ait kompleks gerilim değeri

I_i : i. baradan ağa akan kompleks akım değeri

Yukarıda verilen akım fazörü eşlenik değeri bara gerilimleri ve admitansları cinsinden yazılacak olursa

$$I_i^* = \sum_{j=1}^n Y_{ij}^* V_j^* \quad (2.6)$$

$$V_i = |V_i|e^{j\theta_i} = |V_i|\angle\theta_i \quad (2.7)$$

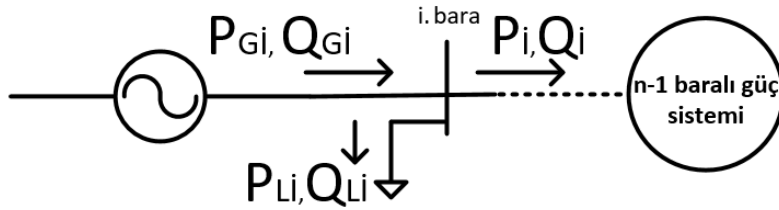
$$\text{Hatırlatma: } e^{j\theta} = \cos \theta + j \sin \theta \quad (2.8)$$

$$\theta_{ij} = \theta_i - \theta_j \quad (2.9)$$

$$Y_{ij} = G_{ij} + jB_{ij} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} S_i &= P_i + jQ_i = V_i I_i^* = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij}^* V_j^* = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| e^{j\theta_{ij}} (G_{ij} - jB_{ij}) \\ &= \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (\cos \theta_{ij} + j \sin \theta_{ij}) (G_{ij} - jB_{ij}) \end{aligned} \quad (2.11)$$

elde edilir. Şekil 2.3'te i. baraya ait güçler gösterilmiştir. P_{Gi} i. baraya bağlı generatör aktif güç değerini, Q_{Gi} i. baraya bağlı generatör reaktif güç değerini, P_{Li} i. baraya bağlı yükün aktif bileşenini, Q_{Li} i. baraya bağlı yükün reaktif bileşenini, P_i i. baradan güç sistemine akan aktif gücü ve Q_i i. baradan güç sistemine akan reaktif gücü ifade eder.



Şekil 2.3. i. baraya ait güçlerin gösterimi

$$\begin{aligned} P_i &= P_{Gi} - P_{Li} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \\ &= \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \cos (\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin (\theta_i - \theta_j)) \end{aligned} \quad (2.12)$$

$$\begin{aligned} Q_i &= Q_{Gi} - Q_{Li} = \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \\ &= \sum_{j=1}^n |V_i| |V_j| (G_{ij} \sin (\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos (\theta_i - \theta_j)) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Elde edilen eşitlikler ile güç akışı gerçekleştirilir.

Newton-Raphson metodu ile güç akışı algoritması

Güç akışı tekniklerinden en çok kullanılan bu yöntemde jacobı matrisi kullanılır. Gerilim, faz açısı, aktif ve reaktif güç değerlerinin hesaplanması belirlenen hata değerinden küçük sonuçlar elde edilene kadar tekrar edilir. $f(x)$ matematiksel eşitliktir. Eşitlikteki k sayıda çözüm ε hata payından küçük sonuçlar elde edilinceye kadar tekrarlanır. $f(x)=0$ lineer olmayan denklemi Taylor serisine açılır, ikinci ve daha yüksek terimler ihmal edilirse $(k+1)$. iterasyonda denklem 2.14 elde edilir. Denklem 2.15'te hata payı hesabı verilmektedir.

$$x_{k+1} = x_k - \frac{f(x_k)}{f'(x_k)} \quad (2.14)$$

$$|\varepsilon| = \left| \frac{x_{k+1} - x_k}{x_{k+1}} \right| \cdot 100 \quad (2.15)$$

Herhangi bir iterasyon sonunda 2.16 eşitliği sağlanırsa Newton Raphson algoritması sona erer.

$$x_{k+1} - x_k \leq \varepsilon \quad (2.16)$$

2.14 ifadesindeki $f'(x)$ $f(x)$ 'in Jacobian matrisidir. Jacobian matrisi eşitlik 2.17'de verilmiştir.

$$[J] = \left[\frac{\partial f}{\partial x} \right] = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \frac{\partial f_1}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x_1} & \frac{\partial f_2}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \frac{\partial f_n}{\partial x_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Denklem 2.18 gerilim genliğinde ve açısındaki değişikliklere bağlı olarak aktif ve reaktif güç değişikliklerini ifade eder. Matriste bilinmeyen değerler yerlerine konarak istenilen değer elde edilir.

$$\Delta P_i^{(k)} = P_i^{(tahmin)} - P_i^{(k)} \quad (2.19)$$

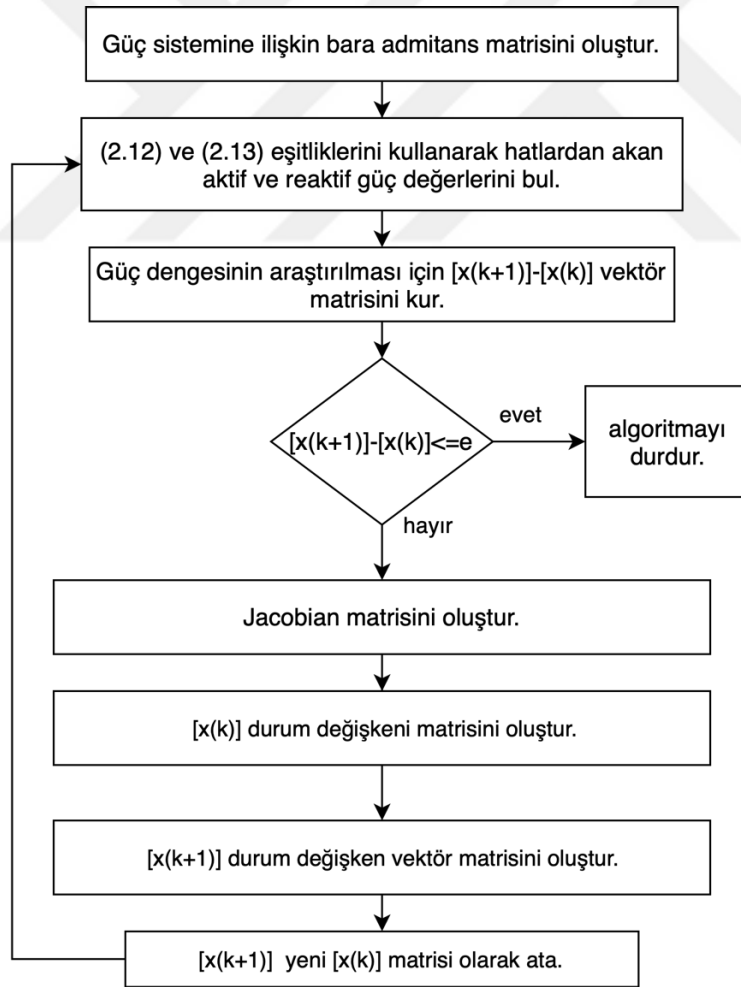
$$\Delta Q_i^{(k)} = Q_i^{(tahmin)} - Q_i^{(k)} \quad (2.20)$$

$$|\delta_i^{(k+1)}| = |\delta_i^{(k)}| - \Delta |\delta_i^{(k)}| \quad (2.21)$$

$$|V_i^{(k+1)}| = |V_i^{(k)}| - \Delta |V_i^{(k)}| \quad (2.22)$$

Denklem 2.19 ve 2.20’de hesaplanan değer ve tahmin değeri arasındaki fark ifade edilmiştir. Tekrarlamalı çözümdeki yeni gerilim ve açı değerleri denklem 2.21 ve 2.22 ile ifade edilmiştir.

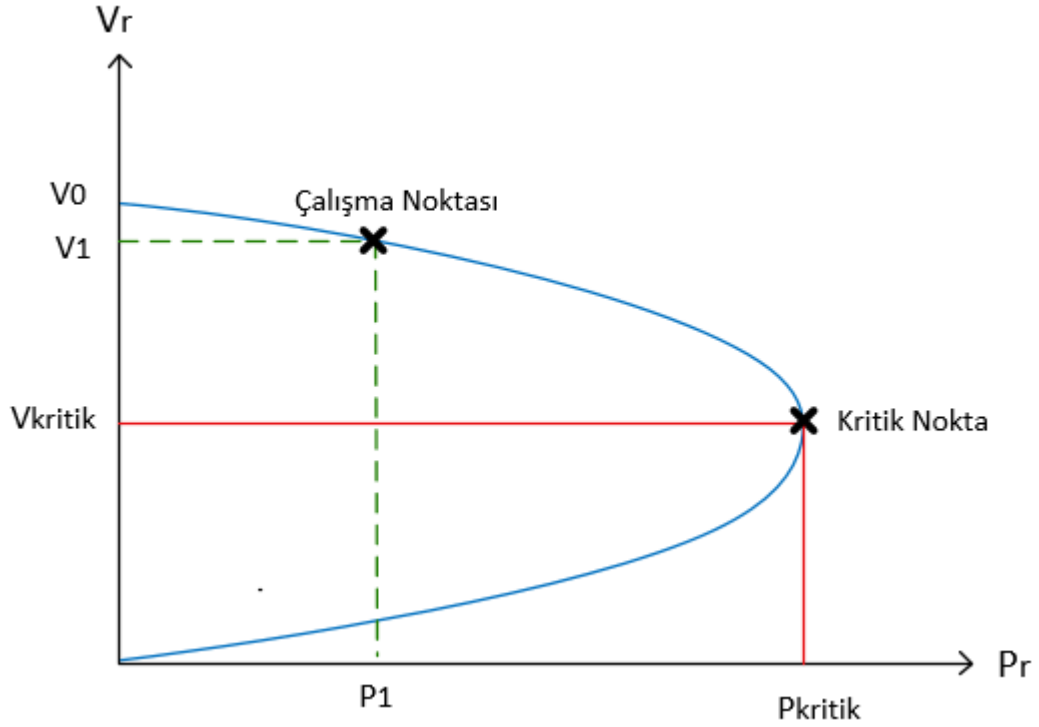
Şekil 2.4’te Newton Raphson güç akışı algoritmasına yer verilmiştir.



Şekil 2.4. Newton Raphson Algoritması.

2.3.2.2. PV eğrileri

PV eğrileriyle gerilim kararlılığı ile ilişkili olan sürekli hal yüklenebilirlik sınırları belirlenmektedir. Bu eğriler güç akışı analizi sonuçlarını temel alırlar. Kritik bara ya da baralar belirlenir ve bu baralara ait gerilim profillerinden güç sistemi hakkında yorumlar yapılabilir. PV eğrileri baraya ait aktif güç yükünün mümkün olan maksimum güç değerine arttırılırken gerilimin değişimini göstermektedirler. Her bir P değerine karşılık bir V değeri denk gelmektedir. Yük kademeli olarak artırılır ve her artışta PV eğrisinin ucuna ulaşılan kadar güç akışları hesaplanır. Eğrinin uç noktasına gelindiğinde daha fazla yük artışı yapılması durumunda uygun bir çalışma gerilimi sağlanamaz ve bu nokta gerilim çökmesinin meydana geldiği noktadır. Bu sınırlı yük değeri maksimum yüklenebilirlik sınırı olarak adlandırılırken bu yüke karşılık gelen gerilim değeri kritik gerilimi ifade eder. Şekil 2.5'te tipik bir PV eğrisine yer verilmiştir.



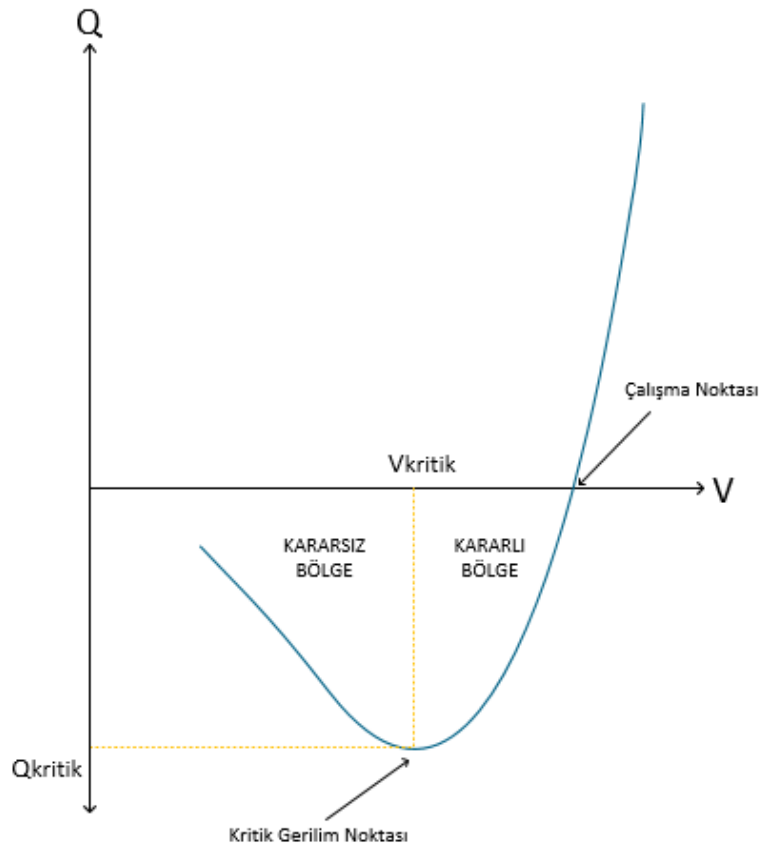
Şekil 2.5. PV Eğrisi

Şekil 2.5'te güç akışı denklemleri dikkate alınarak belirlenen kritik baradan çekilen güç ve gerilim değeri sırasıyla P_1 ve V_1 değeri ile gösterilmiştir. PV eğrisi üç bölgeye ayrılır. Birinci bölge P değerinin ilk değerinden P_{kritik} değerine kadar arttırıldığı

gerilim bakımından kararlı bölgedir. İkinci bölge güç sisteminden çekilen aktif gücün maksimum (P_{kritik}) olduğu kritik bölgedir. Kritik güç değerine karşılık gelen gerilim kritik gerilim (V_{kritik}) olarak adlandırılır. Üçüncü bölge kritik güç değerinden daha fazla güç çekilmesiyle güç değerinin daha da arttığı gerilim bakımından kararsız bölgedir. Kritik noktaya yaklaştıkça gerilim çökme riski artar. Kritik noktaya gelindiğinde ilave yük artışı yapılması durumunda uygun çalışma gerilimi genliği sağlanamaz. Bu nokta genellikle gerilim çökmesinin meydana geldiği noktadır.

2.3.2.3. QV eğrileri

QV eğrileri PV eğrileri gibi güç akışı analizi sonuçlarını temel alan ve seçilen kritik baraya enjekte edilen reaktif gücün gerilime karşı çizimidir. Belli bir gerilim değerine karşı reaktif güç enjeksiyonunu gösterir. Şekil 2.6'da tipik bir QV eğrisine yer verilmiştir.



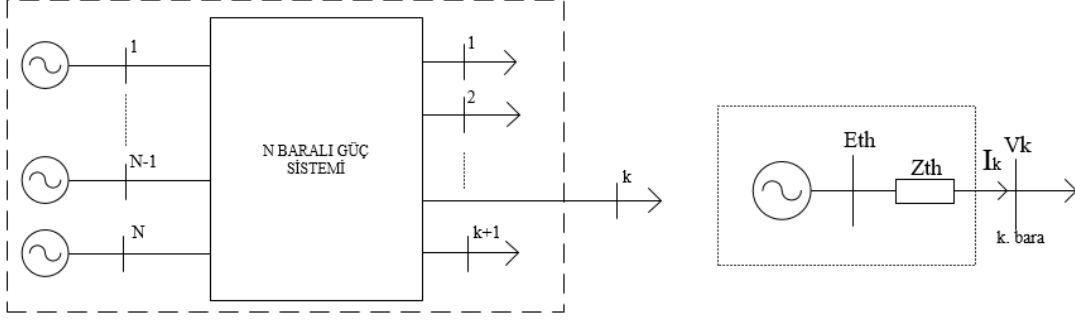
Şekil 2.6. QV eğrisi

Y eksenini baranın belli bir gerilim genliğinde çalışması için enjekte edilmesi gereken reaktif güç değerini göstermektedir. Çalışma noktası eğrinin x eksenini ile kesişimidir. Tek başlarına QV eğrileri gerilim kararsızlığı için bir indekstir. Eğrinin kırıldığı noktada eğim pozitifse sistem kararlıdır. $\partial Q/\partial V = 0$ olduğu nokta eğrinin uç noktasıdır. Minimum nokta yatay eksenin üzerindeyse, reaktif güç eksikliğini gösterir ve gerilim çökmesi senaryosunu önlemek için ek reaktif güç kaynaklarına ihtiyaç vardır. Şekil 2.6'da gösterilen QV eğrisi 3 bölgeden oluşmaktadır. Kararlı bölge ilk Q değerinden maksimum Q değerine ulaşmasına kadar olan bölgedir. Q değerinden Q_{kritik} değerine ulaşılan nokta kritik gerilim noktası olarak anılır. Maksimum Q değerine (Q_{kritik}) karşılık gelen gerilim değeri kritik gerilim (V_{kritik}) değeridir. Bu noktadan sonra daha fazla reaktif güç artışının olduğu bölge kararsız bölgedir ve bu bölgede güç akışı gerçekleştirilemez. Kritik gerilim noktasına yaklaştıkça gerilim çökme riski artar. Kararlılık kriteri, mevcut çalışma noktası ile bu eğrinin uç noktası arasındaki "mesafe" dir. Bu mesafeye MVAr mesafesi denilmektedir.

Eğriler, gerilim çökmesine yakınlığın nicel bir ölçümünü verir. QV eğrileri, şönt kapasitörlerin boyutlandırılması söz konusu olduğunda özellikle yararlı olan çeşitli programlanmış gerilimler için reaktif güç enjeksiyonu veya emilimi verir. Baraların yüklenebilirlik limitleri belirlenebilir.

2.3.2.4. Thevenin eşdeğer devre yaklaşımı ile gerilim kararlılığı analizi

Güç sistemleri analiz yapılmak istenen baradan görülen Thevenin eşdeğer devresi ile temsil edilebilmektedir [52]. Gerilim kararlılığı değerlendirmesi yapılacak baradan güç sistemine bakıldığında, gerilim kaynağına seri bir empedans ile güç sistemi temsil edilebilir. Şekil 2.7'de gerilim kararlılığı değerlendirmesi yapılacak bara k barası olarak isimlendirilmiş ve n baralı bir güç sisteminde k. baradan bakıldığında eşdeğer devre gösterilmiştir. Thevenin eşdeğer sistemi, karmaşık güç sistemini etkili bir şekilde basitleştiren tek giriş ve tek çıkışlı iki düğümlü basit bir sistemdir [53]. Bu eşdeğer devre yardımıyla değerlendirme yapılacak bara için kritik değerlerin hesaplanması ile gerilim kararlılığı analizi yapılabilir.



Şekil 2.7. N baralı sistem ve Thevenin eşdeğer devresi.

Gerilim Kararlılığı İndeksi (VSM_v)

Güç sistemlerinde gerilim kararlılığı değerlendirmelerinde kullanılacak indeksler önerilmiştir. İndeksler uygun kullanılması halinde sorunun doğası ve katkıda bulunan faktörler hakkında bilgi sağlayabilirler [54].

PV ve QV eğrilerinde anlatıldığı gibi kritik gerilime karşılık gelen nokta maksimum yüklenebilirlik sınırını ifade eden kritik güç değeri noktasıdır ve bu nokta gerilim çökme noktası olarak adlandırılır. Şekil 2.7’de Thevenin eşdeğer devresinde k. baradan çekilecek maksimum güç değeri maksimum güç teoremi yardımıyla hesaplanarak ilgili baraya ait kritik nokta elde edilir. Gerilim kararlılığı için bara gerilimi kritik gerilimden büyük olmalıdır. Güç akışına göre seçilen kritik baraya ilişkin bara gerilimi ve kritik gerilim kullanılarak gerilim kararlılığı indeksi (VSM_v) ile bara gerilim kararlılığı hakkında bilgi edinilir.

Bahsi geçen kritik gerilim değeri Thevenin eşdeğer devresi yardımıyla yük empedansı ve Thevenin empedansının genliklerinin aynı olması koşuluyla elde edilmektedir [55].

$$V_{kritik} = \frac{E_{th}}{2 \cos \delta} \quad (2.23)$$

$$VSM_v = \frac{V_{ölçülen} - V_{kritik}}{V_{kritik}} \quad (2.24)$$

VSM_v indeksi 0 ile 1 arasında değişmekte olup sıfıra yaklaştıkça gerilim çökme noktasına yaklaştığı kabul edilmektedir [55, 56].

Gerilim kararlılığı indeksi optimizasyon problemine amaç fonksiyonu olarak eklenmiştir. Tezin optimizasyon probleminde kullanılan amaç fonksiyonları başlığı altında gerilim kararlılığı indeksine yer verilmiştir.



3. OPTİMİZASYON PROBLEMİNİN GENETİK ALGORİTMA İLE ÇÖZÜMÜ

Optimizasyon, belli kısıtlar altında mevcut çözümlerden en iyi çözümü bulma süreci olarak tanımlanmaktadır [57]. Çok sayıda algoritma planlama, kaynak yerleşimi, bilgisayar bilimi uygulamaları gibi gerçek hayat optimizasyon problemlerini çözmek için geliştirilmiştir. Mühendislik, ekonomi, politika ve yönetim gibi farklı alanlardan ortaya çıkan karmaşık gerçek hayat problemlerini çözmek için metasezgisel algoritmalar kullanılmaktadır [58]. Metasezgisel algoritmaların çoğu biyolojik evrim sürecinden, sürü davranışından ve fizik kurallarından ilham alırlar. Bu tezde genetik algoritma ile ilgili genel bilgi verilmiş olup Matlab Global Optimization Toolbox’da yer alan genetik algoritma varsayılan özellikleri kullanılmıştır [59].

Genetik algoritma (GA) 1975’te John Holland tarafından önerilen, Darwin’in temel ilkesi en uygun olanın hayatta kalması olan doğal seleksiyon ilkesine dayanan metasezgisel arama ve optimizasyon algoritmasıdır. Bir problemin çözümüne ilişkin olası pek çok çözüm arasından en uygununu bulmaya çalışan algoritmalarlardır. Organizmalar belli bir çevrede hayatta kalmak için doğal seleksiyon süreci boyunca şanslarını optimize etmeye uyum sağlarlar. Problemin her bir çözüm adayı kromozom ya da genotip olarak adlandırılır. Kromozomlar birçok genden oluşur. Popülasyon mevcut nesildeki çözüm topluluğudur. Her yeni nesilde yeni bir popülasyon oluşmaktadır. Problem tipine bağlı olarak yeni nesil sayısının artmasıyla popülasyonun yerel minimum ya da yerel maksimuma ulaştığı varsayılır. Uyumluluk değeri bireyin problemdeki performansını gösterir. Yüksek uyumluluk değerine sahip birey problemin iyi bir çözüm anlamına gelir. Çözüm uzayı probleme uygulanabilecek tüm çözüm adaylarının birleşimidir. Optimizasyon problemlerinde GA’nın tercih edilmesinin başlıca sebebi çözüm uzayındaki çözüm adaylarının çokluğudur. GA ve operatörlerini kullanarak, çözüm uzayının sadece küçük bir kısmı değerlendirilir ve en iyi ya da en iyiye yakın çözümlere ulaşılır. Popülasyon nesilden nesile geliştikçe kötü çözümler yok olma, iyi çözümler ise daha iyi çözümler oluşturmak için kullanılma eğilimindedirler [60].

3.1. Genetik Algoritma ile İlgili Kavramlar

Gen: Bireyin karakteristik özelliğini ifade eden en küçük genetik birimdir. Bir gen X,Y gibi bir karakter ya da 1 ve 0'lerden oluşan bit veya bit dizisi olabilir.

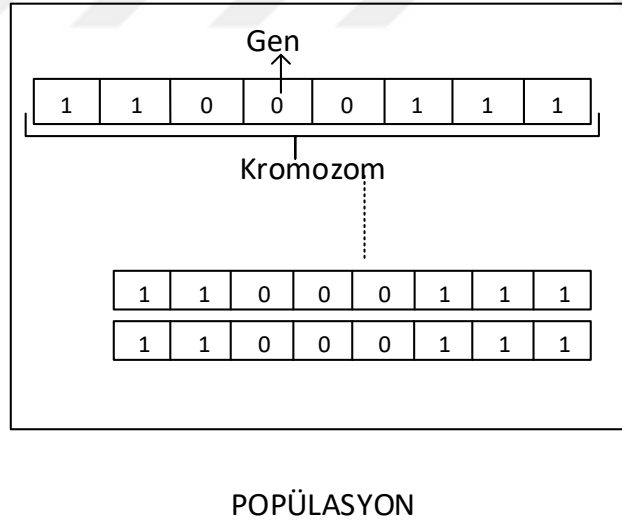
Kromozom: Her biri aday çözüm olan gen dizisi olarak tanımlanır.

Popülasyon: Tüm aday çözümler popülasyonu oluştururlar. Kromozomlarda oluşan popülasyon genetik algoritma boyunca sabit tutulup 10 ile 100 arasında değişiklik gösterir.

Uygunluk Fonksiyonu: Amaç fonksiyonu olarak bilinen bu değer bireyin hayatta kalma durumunu gösterir. Uygunluk fonksiyonu yüksek olursa bireyin hayatta kalma olasılığında yüksek olur.

Seleksiyon: Popülasyon için hayatta kalacak olan bireylerin seçilmesidir. Seçim için farklı yöntemler kullanılmaktadır.

Genler kromozomları kromozomlar popülasyonu oluşturmaktadır. Popülasyonların oluşmasıyla nesiller oluşmaktadır. Genetik algorithmada gen, kromozom ve popülasyon şekil 3.1'de görülmektedir.

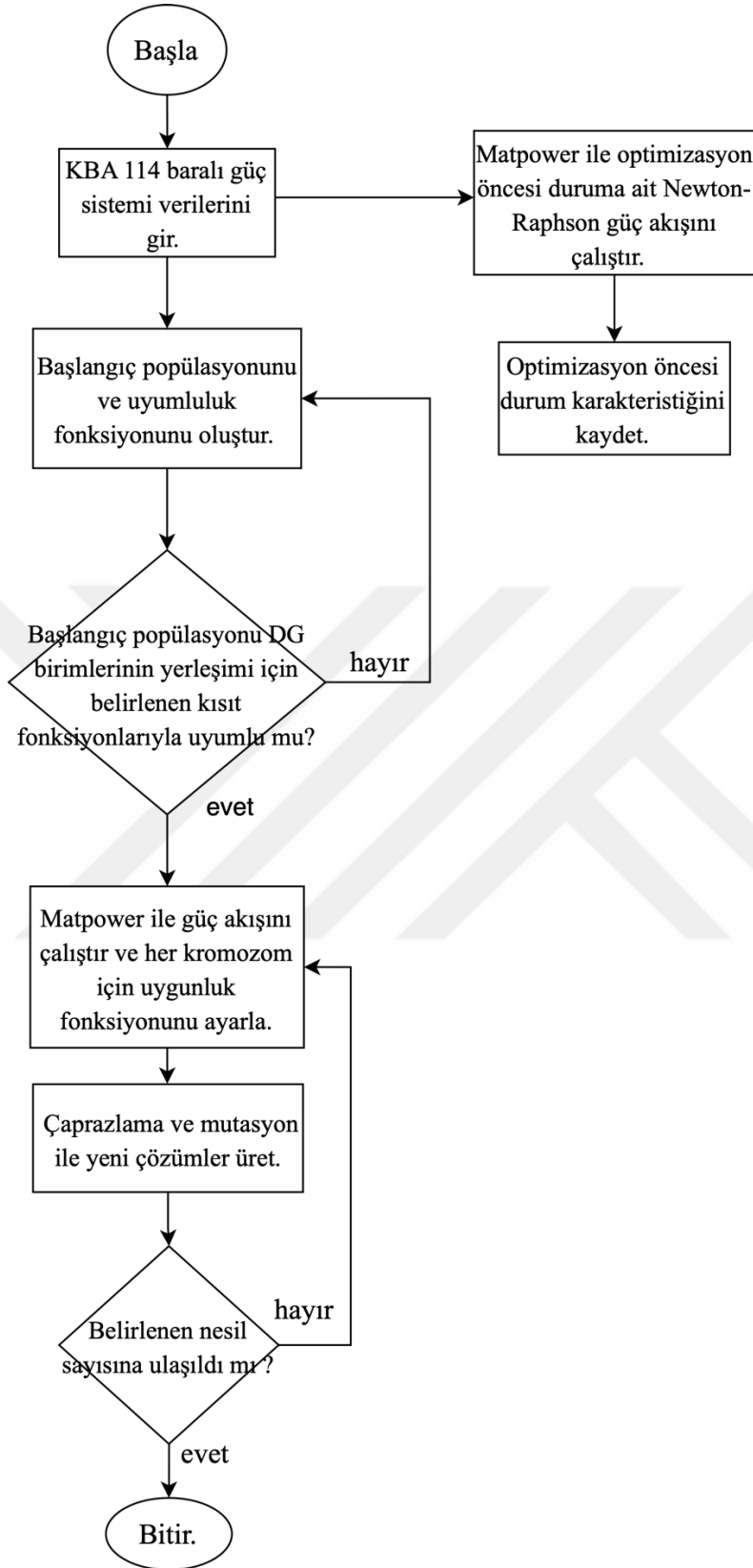


Şekil 3.1. Genetik algorithmada popülasyon.

3.2. Önerilen Çözüm Yöntemi

114 baralı Kuzeybatı Anadolu güç sistemine dağıtık üretim birimlerinin eklenmesi için önerilen çözüm yöntemine ilişkin akış şeması şekil 3.2’de verilmiştir. Eklenecek DÜ birimlerinin konum ve boyutlarının belirlenmesi için genetik algoritma optimizasyon yöntemi kullanılmıştır. Akış şemasının adımları aşağıda açıklanmıştır.

1. Adım: Algoritmaya güç sistemi verileri girilir. MATPOWER ile optimizasyon öncesi 114 baralı KBA güç sisteminin güç akışı yapılır.
2. Adım: Başlangıç popülasyonu rasgele oluşturulur. Uygunluk değeri hesaplanır. Uygunluk değeri amaç fonksiyonuna bağlı olarak problemde probleme değişiklik gösterebilir. Uygunluk fonksiyonu bir kromozomun o probleme göre başarısını belirlemektedir.
3. Adım: Başlangıç popülasyonunun DÜ birimlerinin yerleşimi için belirlenen kısıt fonksiyonları ile uyumlu olup olmadığı kontrol edilir. Uyumlu değilse 2. Adıma geri dönlür.
4. Adım: Matpower ile güç akışı gerçekleştirilir. Genetik algoritma ile elde edilen konum ve güç bilgisine göre DÜ birimlerinin KBA 114 baralı güç sistemine eklenmesi için her için kromozomun uygunluk değeri hesaplanır. Doğal seçim ile hayatta kalanlar belirlenir.
5. Çaprazlama ve mutasyon işleminin gerçekleştiği adımdır. Çaprazlama seçilen ebeveynler arasında yapılmaktadır. Popülasyonda bulunmayan bireyler oluşturulduğundan çeşitlilik için çaprazlama adımı önemli bir adımdır. Mutasyon genetik çeşitliliğin oluşturulması için kritiktir. İlk popülasyonda mevcut olmayan genler mutasyon ile elde edilebilir.
6. Adım: Nesil sayısı 300 olarak belirlenmiştir. Bu sayıya ulaşıp ulaşılmadığı kontrol edilir. Ulaşılmadıysa 4. Adıma geri dönlür. Nesil sayısına ulaşıldığı takdirde algoritma sona erer.



Şekil 3.2. Önerilen çözüm yöntemine ait akış şeması.

3.3. Optimizasyon Probleminde Kullanılan Amaç Fonksiyonları

Her probleme özel olarak istenilenlerin fonksiyona dönüştürülmüş haline amaç ya da uygunluk fonksiyonu denir. Her kromozomun amaç fonksiyonu hesaplanıp çözüme uygun değilse seçim aşamasında o kromozom öldürülür.

Bu tezde üç farklı amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Bunlar güç kayıplarının minimizasyonu, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesidir.

3.3.1. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi

Birinci amaç fonksiyonu güç sistemindeki toplam aktif güç kayıplarını minimuma indirmeyi hedefler. Amaç fonksiyonu denklem 4.1’de verildiği gibi formüle edilir.

$$\min \text{Toplam}P_{kayıp} = \sum_{k=1}^{N_{hat}} R_{hat} \cdot I_{hat}^2 \quad (3.1)$$

Burada R_{hat} hattın direnci, I_{hat} hat akımıdır.

3.3.2. Gerilim profilinin iyileştirilmesi

İkinci amaç fonksiyonu sistemdeki bütün bara gerilimlerinin 1 pu’e en yakın değere getirmeyi hedefler. Bu nedenle ikinci amaç fonksiyonu Denklem 4.2’de verildiği gibi formüle edilir.

$$\min GS = \sum_{i=1}^N (1 - V_i)^2 \quad (3.2)$$

Denklem 4.2’de ilgili bara numarası ve N toplam bara sayısını ifade etmektedir.

3.3.3. Gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesi

Üçüncü amaç fonksiyonu gerilim kararlılığı indeksinin tüm baralar için maksimum değere çıkmasını hedefler. Gerilim kararlılığı indeksi ile ölçüm alınan baranın gerilim kararlılığı hakkında bilgi edinilir. Gerilim kararlılığı indeksi 0 ile 1 arasında değişmekte olup 0 yaklaşması durumunda baranın kararsızlığa yaklaştığı sonucuna varılır. Gerilim kararlılığı indeksinin 0 olması halinde herhangi bir güç akışı gerçekleşmez. Gerilim kararlılığı indeksi denklem 4.3’te verilmiştir.

$$VSM_v = \frac{V_{ölçülen} - V_{kritik}}{V_{kritik}} \quad (3.3)$$

3.4. Optimizasyon Probleminde Kullanılan Kısıtlar

Güç sisteminin gerilim kararlılığı bakımından kararlı olması için yük artışları olması durumunda hem gerilimin hem de güç değerinin kabul edilebilir sınırlar içinde tutulması gerekmektedir. Optimizasyon problemine kısıt olarak, sisteme eklenecek dağıtık üretim kapasitesinin toplam yük değerinden küçük olması ve bara gerilim değerlerinin 0.95-1.05 pu arasında tutulması eklenmiştir. Kısıt fonksiyonları Denklem 4.4 ve 4.5'te verilmiştir.

$$\sum P_{DÜ} < \sum P_{Yük} \quad (3.4)$$

$$0.95 < V_{bara} < 1.05 \quad (3.5)$$

4. KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİ

2022 yılı Ekim ayı sonu itibarıyla TEİAŞ (Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi)’nden alınan verilere göre Türkiye kurulu gücü 103.275,8 MW’a ulaşmıştır [61]. İletim sistemleri bölgelere ayrılarak her bölge kendi merkezinden kontrol edilmekte olup örnek alınan Kuzeybatı Anadolu bölgesinde bu bölgelerden birisidir. İşletme gerilimi 380 Kv ve 154 Kv olan Kuzeybatı Anadolu bölgesinde 12 tane 380 Kv ve 102 tane 154 Kv’luk bara (trafo merkezi) bulunmaktadır. 114 baradan 18 tanesi üretim, 96 tanesi ise yük barası olup 5 tane otoprodüktör, 4 tane özel, 7 tane termik ve 2 tane hidrolik santral bulunmaktadır. Tablo 4.1’de Kuzeybatı Anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan üretim santrallerine ait üretim değerleri 100 MVA bazda pu. değerlerde verilmiştir [62].

Tablo 4.1. Kuzeybatı Anadolu güç sisteminde bulunan üretim santrallerine ait üretim değerleri (100 MVA bazda pu. değerler verilmiştir.).

KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİNDE BULUNAN ÜRETİM SANTRALLERİNE AİT ÜRETİM DEĞERLERİ				
İstasyonun Adı	P (MW)	Q (MVAR)	P (Pu)	Q (Pu)
380 Kv Ada DGKÇS 1	1432	186	14,32	1,86
380 Kv Ada DGKÇS 2	722	72	7,22	0,72
154 Kv Çolakoğlu	474	116	4,74	1,16

Tablo 4.1. (Devamı) Kuzeybatı Anadolu güç sisteminde bulunan üretim santrallerine ait üretim değerleri (100 MVA bazda pu. değerler verilmiştir.).

KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİNDE BULUNAN ÜRETİM SANTRALLERİNE AİT ÜRETİM DEĞERLERİ				
İstasyonun Adı	P (MW)	Q (MVAR)	P (Pu)	Q (Pu)
154 Kv Enerji Sa	41	4	0,41	0,04
154 Kv Nuh Enerji	58	14	0,58	0,14
154 Kv Entek 2	97	30	0,97	0,30
154 Kv Sarıyar	160	17	1,60	0,17
154 Kv Yeni Çates	228	97	2,28	0,97
154 Kv Bozöyük Akenerji	111	18	1,11	0,18
154 Kv Seyitömer	370	120	1,10	0,10
154 Kv Tutes A	125	10	1,25	0,10
154 Kv Tutes B	130	10	1,30	0,10

Tablo 4.1. (Devamı) Kuzeybatı Anadolu güç sisteminde bulunan üretim santrallerine ait üretim değerleri (100 MVA bazda pu. değerler verilmiştir.).

KUZEYBATI ANADOLU GÜÇ SİSTEMİNDE BULUNAN ÜRETİM SANTRALLERİNE AİT ÜRETİM DEĞERLERİ				
İstasyonun Adı	P (MW)	Q (MVAR)	P (Pu)	Q (Pu)
154 Kv Bursa DGKÇS	715	135	7,15	1,35
154 Kv Orhaneli	130	10	1,30	0,10
154 Kv Entek 1	137	9	1,37	0,09
380 Kv Bursa DGKÇS	350	67	3,50	0,67
380 Kv Tutes Şalt	105	5	1,05	0,05
380 Kv Seyitömer	370	0	3,70	0,00

Kuzeybatı Anadolu şebekesinin bara isimleri ve kodları, enerji iletim hatlarındaki empedans değerleri, yük durumları ve yük açıları değerlerine ait tablolar EK-1 A'da tek hat şeması ise EK-1 B'de verilmiştir.

5. BENZETİM ÇALIŞMALARI

Dağıtık üretimler, yenilenebilir kaynaklarla daha temiz enerji sağlamanın yanında gerilim profilini, güç kalitesini ve güç kayıplarını azaltmak gibi amaçlarla dağıtım sistemlerine entegre edilebilirler. Ancak DÜ birimlerinden maksimum fayda sağlayabilmek için en uygun güçte ve en uygun yere entegre edilmesi önemli bir konudur [63]. Bu bağlamda KBA 114 baralı güç sistemine DÜ birimlerinin eklenmesi problemi genetik algoritma optimizasyon yöntemi kullanılarak çözülmüştür.

5.1. Yöntem

KBA 114 baralı güç sistemi MATLAB MATPOWER kullanılarak modellenmiştir [64]. Güç sistemine eklenecek DÜ birimi boyutu algoritma ile toplam üretimin %20-%30 arasında olacak şekilde ve sayısı 10 adet olarak belirlenmiştir [33, 65]. Aktif güç kayıplarının azaltılması, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesi olmak üzere 3 adet amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

Önerilen yaklaşım KBA 114 baralı güç sisteminde uygulanmıştır. Sonuçlar optimizasyon öncesi durum ile karşılaştırılmıştır. Güç sisteminde oluşabilecek kararsızlık problemlerini engellemek için dört farklı senaryo oluşturularak analizler yapılmıştır. Güç sistemindeki yük büyümelerinden kaynaklı oluşabilecek kararsızlık problemlerine karşı senaryo 3 ve senaryo 4'te yük artışı yapılarak analiz yapılmıştır. KBA 114 baralı güç sistemine güç değerleri GA optimizasyon yöntemi ile belirlenen toplamda 10 adet DÜ birimi önerilen çözüm yöntemi ile eklenmiştir. Tablo 5.1'de oluşturulan 4 senaryoya ait amaç fonksiyonları, yük durumları ve KBA 114 baralı güç sistemine eklenecek DÜ'lerin toplam güç değeri optimizasyon öncesi KBA 114 baralı güç sisteminde üretilen güç değerinin yüzdesi olarak verilmiştir. Tablo 5.1 oluşturulan 4 senaryoyu özetlemek için verilmiş olup senaryolar ayrı başlıklar halinde açıklanmıştır.

Tablo 5.1. Oluşturulan 4 senaryo.

Senaryo	Amaç Fonksiyonu	Yük Durumu	Eklenecek DÜ Gücü
Senaryo 1	$\min Toplam P_{kayıp}$ $\min GS$	KBA 114 baralı güç sistemi yük değerleri değiştirilmemiştir.	DÜ gücü KBA 114 baralı güç sisteminin ürettiği güç değerinin %24,38'i olarak belirlenmiştir.
Senaryo 2	$\min Toplam P_{kayıp}$ $\min GS$ $\max VSM_v$	KBA 114 baralı güç sistemi yük değerleri değiştirilmemiştir.	DÜ gücü KBA 114 baralı güç sisteminin ürettiği güç değerinin %26,55'i olarak belirlenmiştir.
Senaryo 3	$\min Toplam P_{kayıp}$ $\min GS$	KBA 114 baralı güç sistemi yük değerleri %8 arttırılmıştır [66].	DÜ gücü KBA 114 baralı güç sisteminin ürettiği güç değerinin %23,92'si olarak belirlenmiştir.
Senaryo 4	$\min Toplam P_{kayıp}$ $\min GS$ $\max VSM_v$	KBA 114 baralı güç sistemi yük değerleri %8 arttırılmıştır [66].	DÜ gücü KBA 114 baralı güç sisteminin ürettiği güç değerinin %24,51'i olarak belirlenmiştir.

5.1.1. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 1. senaryo

Amaç fonksiyonu aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesidir. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amaç fonksiyonları sırasıyla denklem 4.1 ve denklem 4.2’de verilmiştir. Denklem 4.4 ve denklem 4.5 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Yük değerleri KBA 114 baralı güç sisteminin yük değerleri değiştirilmeden kullanılmıştır. Tablo 5.2’de senaryo 1 için KBA 114 baralı güç sistemine eklenecek dağıtık üretim birimlerinin ekleneceği baralar ve DÜ birimlerinin güç değerleri verilmiştir. Eklenecek toplam DÜ gücü optimizasyon öncesi KBA 114 baralı güç sistemi toplam üretiminin %24,38’ini oluşturmaktadır. DÜ birimlerinin ekleneceği baralar 13, 15, 16, 19, 22, 24, 25, 26, 32 ve 103. baralardır.

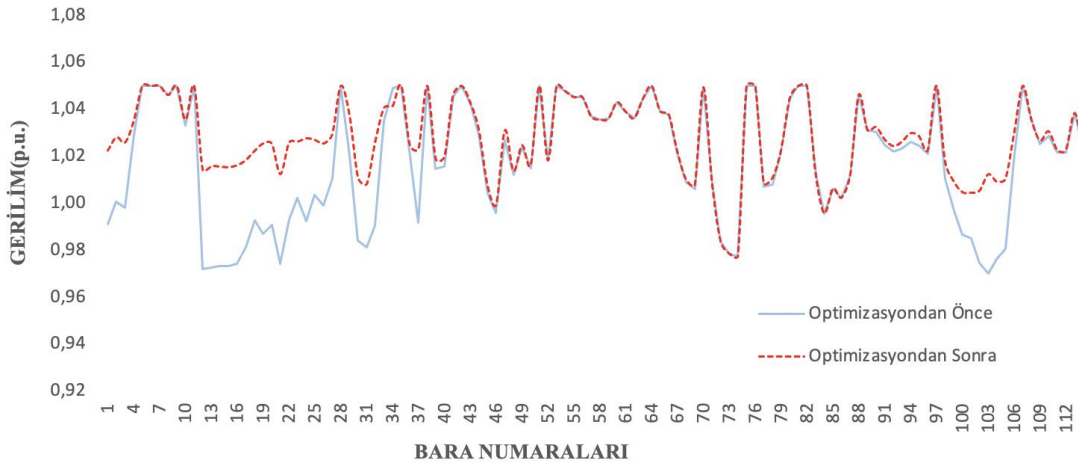
Tablo 5.2. Senaryo 1’e göre DÜ birimlerinin ekleneceği bara numaraları ve güç değerlerini gösteren tablo.

Bara	DÜ Gücü (MW)
13	235,5587
15	238,9561
16	223,5597
19	229,7044
22	211,1126
24	234,3709
25	128,7376
26	238,7255
32	121,6427
103	88,3326

Oluşturulan senaryo 1 için önerilen çözüm yöntemi ile bulunan KBA 114 baralı güç sistemi toplam üretiminin %24,38’i kadar DÜ birimi gücü, belirlenen bara ve güç değerlerinde güç sistemine eklenmiştir. DÜ birimleri eklendikten sonraki analizler optimizasyon sonrası durumu oluşturmaktadır. Şekil 5.1 senaryo 1’e ait gerilim

profilini göstermektedir. KBA 114 baralı güç sisteminin optimizasyon öncesi gerilim profili ile optimizasyon sonrası gerilim profili karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.3'te KBA 114 baralı güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrası aktif güç kayıplarına yer verilmiştir. DÜ birimlerinin senaryo 1'e göre eklenmesi halinde aktif güç kayıplarının %27.85 azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.1. Senaryo 1'e ait gerilim profili.

Tablo 5.3. Senaryo 1'e göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.

Optimizasyon Öncesi Kayıp	Optimizasyon Sonrası Kayıp
$P_{Kayıp}$ (MW)	$P_{Kayıp}$ (MW)
283,31	204,42

5.1.2. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 2. senaryo

Amaç fonksiyonu aktif güç kayıplarının minimize edilmesi, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesidir. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesi amaç fonksiyonları sırasıyla denklem 4.1, denklem 4.2 ve denklem 4.3'te verilmiştir. Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Yük değerleri KBA 114 baralı güç sisteminin yük değerleri değiştirilemeden kullanılmıştır. Tablo 5.4'te senaryo 2 için KBA 114 baralı güç sistemine eklenecek dağıtık üretim birimlerinin bara numaraları ve DÜ birimlerinin güç değerleri verilmiştir. Eklenecek toplam DÜ gücü optimizasyon öncesi KBA 114

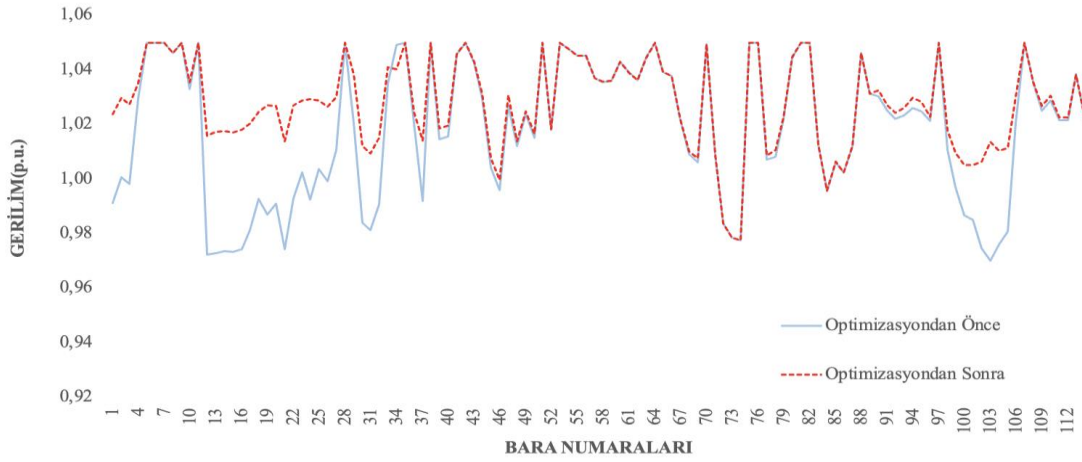
baralı güç sistemi toplam üretiminin %26,55'ini oluşturmaktadır. Dağıtık üretim birimlerinin ekleneceği baralar 13, 15, 16, 18, 19, 22, 23, 24, 26 ve 103. baralardır.

Tablo 5.4. Senaryo 2'ye göre DÜ birimlerinin ekleneceği bara numaraları, güç değerleri ve optimizasyon öncesi ve sonrasına ait indeks değerlerini gösteren tablo.

Optimizasyon öncesi VSM_v	Optimizasyon sonrası VSM_v	Bara	DÜ Gücü (MW)
0,98	1,00	13	215.9600
0,94	0,98	15	249,8649
0,98	1,00	16	246,2697
0,98	0,99	18	249,8703
0,97	0,99	19	223,1123
0,99	1,00	22	206,8930
0,97	0,99	23	160,1013
0,97	0,99	24	243,2513
0,98	0,99	26	236,7288
0,94	1,00	103	91,9225

Oluşturulan senaryo 2 için önerilen çözüm yöntemi ile bulunan KBA 114 baralı güç sistemi toplam üretiminin %26,55'i kadar DÜ birimi gücü, belirlenen bara ve güç değerlerinde güç sistemine eklenmiştir. DÜ birimleri eklendikten sonraki analizler optimizasyon sonrası durumu oluşturmaktadır. Şekil 5.2 senaryo 2'ye ait gerilim profilini göstermektedir. KBA 114 baralı güç sisteminin optimizasyon öncesi gerilim profili ile optimizasyon sonrası gerilim profili karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.5'te senaryo 2 için KBA 114 baralı güç sistemine ait optimizasyon öncesi ve sonrası aktif güç kayıplarına yer verilmiştir. DÜ birimlerinin senaryo 2'ye göre eklenmesi halinde aktif güç kayıplarının %27,94 azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.2. Senaryo 2’ye ait gerilim profili.

Tablo 5.5. Senaryo 2’ye göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.

Optimizasyon Öncesi Kayıp $P_{Kayıp}$ (MW)	Optimizasyon Sonrası Kayıp $P_{Kayıp}$ (MW)
283,31	204,14

5.1.3. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 3. senaryo

Amaç fonksiyonu aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesidir. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amaç fonksiyonları sırasıyla denklem 4.1 ve denklem 4.2’de verilmiştir. Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Yük değerleri KBA 114 baralı güç sisteminin yük değerleri %8 arttırılarak kullanılmıştır [66].

Tablo 5.6’da senaryo 3 için KBA 114 baralı güç sistemine eklenecek dağıtık üretim birimlerinin bara numaraları, DÜ birimlerinin güç değerleri ve KBA 114 baralı güç sistemine ait optimizasyon öncesi ve sonrası gerilim kararlılığı indeksine yer verilmiştir. Eklenecek toplam DÜ gücü optimizasyon öncesi KBA 114 baralı güç sistemi toplam üretiminin %23,92’sini oluşturmaktadır. Dağıtık üretim birimlerinin ekleneceği baralar 13, 15, 16, 20, 21, 23, 24, 30, 32 ve 103. baralardır.

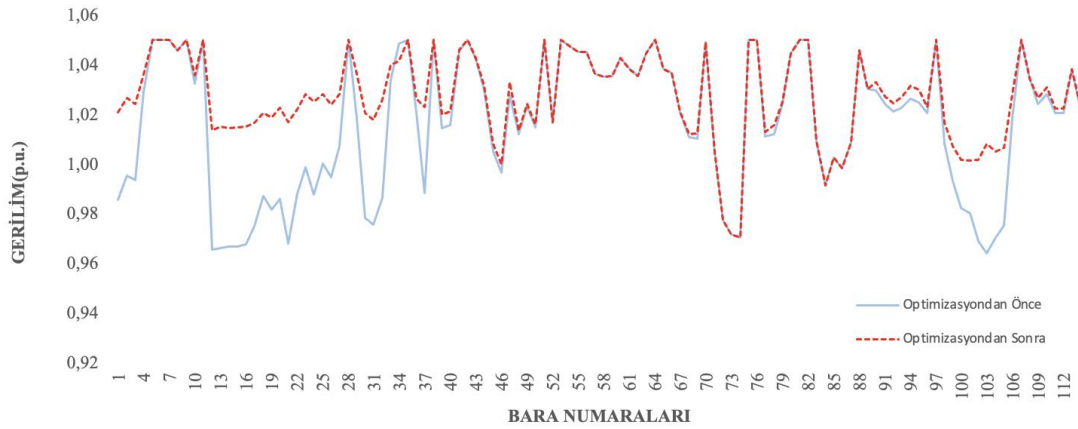
Tablo 5.6. Senaryo 3’e göre DÜ birimlerinin ekleneceği baralar ve güç değerlerini gösteren tablo.

Bara	DÜ Gücü (MW)
13	228,2228
15	243,1686
16	220,5422
20	245,9556
21	189,7756
23	220,2021
24	243,7229
30	101,0931
32	132,7693
103	88,0978

Oluşturulan senaryo 3 için önerilen çözüm yöntemi ile bulunan KBA 114 baralı güç sistemi toplam üretiminin %23,92’si kadar DÜ birimi gücü, belirlenen bara ve güç değerlerinde güç sistemine eklenmiştir. DÜ birimleri eklendikten sonraki analizler optimizasyon sonrası durumu oluşturmaktadır.

Şekil 5.3 senaryo 3’e ait gerilim profilini göstermektedir. KBA 114 baralı güç sisteminin optimizasyon öncesi gerilim profili ile optimizasyon sonrası gerilim profili karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.7’de senaryo 3 için KBA 114 baralı güç sistemine ait optimizasyon öncesi ve sonrası aktif güç kayıplarına yer verilmiştir. DÜ birimlerinin senaryo 3’e göre eklenmesi halinde aktif güç kayıplarının %33.63 azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.3. Senaryo 3’e ait gerilim profili.

Tablo 5.7. Senaryo 3’e göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.

Optimizasyon Öncesi Kayıp	Optimizasyon Sonrası Kayıp
$P_{Kayıp}$ (MW)	$P_{Kayıp}$ (MW)
283,31	188,024

5.1.4. Optimizasyon probleminin çözümü için oluşturulan 4. senaryo

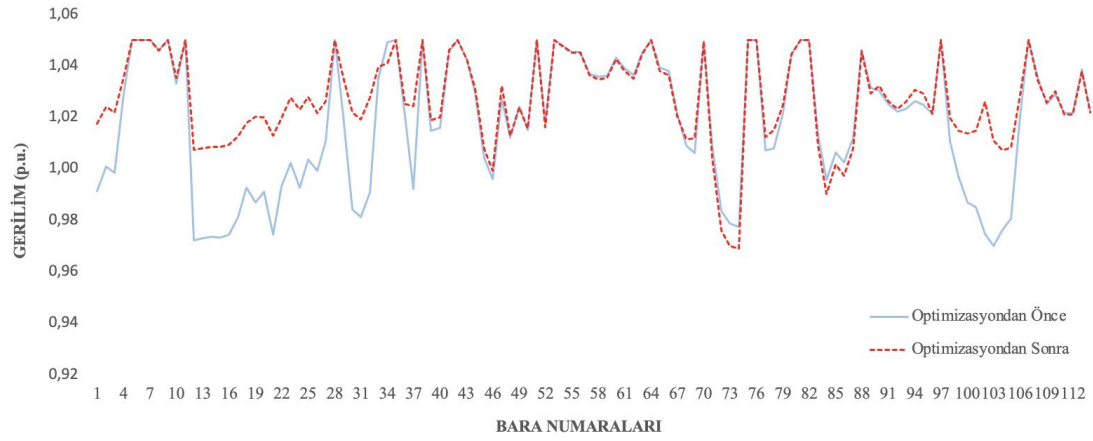
Amaç fonksiyonu aktif güç kayıplarının minimize edilmesi, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesidir. Aktif güç kayıplarının minimize edilmesi, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesi amaç fonksiyonları sırasıyla denklem 4.1, denklem 4.2 ve denklem 4.3’te verilmiştir. Denklem 4.4 ve Denklem 4.5 ile verilen kısıtlar kullanılmıştır. Yük değerleri KBA 114 baralı güç sisteminin yük değerleri %8 arttırılarak kullanılmıştır [66]. Eklenecek toplam DÜ gücü optimizasyon öncesi KBA 114 baralı güç sistemi toplam üretiminin %24,51’ini oluşturmaktadır. Dağıtık üretim birimlerinin ekleneceği baralar 15, 16, 19, 21, 23, 24, 30, 32, 73 ve 102. baralardır. Tablo 5.8’de senaryo 4 için dağıtık üretim birimlerinin ekleneceği baralar ve güç değerleri, optimizasyon öncesi ve sonrası güç kayıpları ayrıca gerilim kararlılığı indeksine yer verilmiştir.

Tablo 5.8. Senaryo 4’e göre DÜ birimlerinin ekleneceği bara numaraları, güç değerleri ve optimizasyon öncesi ve sonrasına ait indeks değerlerini gösteren tablo.

Optimizasyon öncesi VSM_v	Optimizasyon sonrası VSM_v	Bara	DÜ Gücü (MW)
0,98	1,00	15	247,8381
0,98	0,98	16	249,7030
0,98	0,98	19	247,3079
0,98	0,99	21	237,5054
0,97	0,99	23	249,5143
0,96	0,97	24	249,3309
0,97	0,98	30	144,6978
0,98	0,98	32	176,1921
0,97	0,97	73	0,0606
0,93	0,95	102	158,8862

Oluşturulan senaryo 3 için önerilen çözüm yöntemi ile bulunan KBA 114 baralı güç sistemi toplam üretiminin %24,51’i kadar DÜ birimi gücü, belirlenen bara ve güç değerlerinde güç sistemine eklenmiştir. DÜ birimleri eklendikten sonraki analizler optimizasyon sonrası durumu oluşturmaktadır. Şekil 5.4 senaryo 4’e ait gerilim profilini göstermektedir. KBA 114 baralı güç sisteminin optimizasyon öncesi gerilim profili ile optimizasyon sonrası gerilim profili karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.9’da senaryo 4 için KBA 114 baralı güç sistemine ait optimizasyon öncesi ve sonrası aktif güç kayıplarına yer verilmiştir. DÜ birimlerinin senaryo 4’e göre eklenmesi halinde aktif güç kayıplarının %32.74 azaldığı görülmüştür.



Şekil 5.4. Senaryo 4’e ait gerilim profili.

Tablo 5.9. Senaryo 4’e göre KBA güç sisteminin optimizasyon öncesi ve sonrasına ait aktif güç kayıpları.

Optimizasyon Öncesi Kayıp $P_{Kayıp}$ (MW)	Optimizasyon Sonrası Kayıp $P_{Kayıp}$ (MW)
283,31	190,565

6. SONUÇ

Bu tez çalışmasında 114 baralı Kuzeybatı Anadolu güç sistemine eklenecek dağıtık üretim birimlerinin konumlandırılması ve boyutlandırılması problemi 4 farklı senaryo için genetik algoritma optimizasyon yöntemi ile çözülmüştür. Senaryolarda 3 farklı amaç fonksiyonu kullanılmıştır. 3. ve 4. senaryoda güç sisteminde olası büyümeleri değerlendirebilmek için sistemin toplam yükünde artış yapılmıştır.

Senaryo 1 için aktif güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amaç fonksiyonları kullanılmış ve yük değerleri KBA 114 baralı güç sisteminin yük değerleri değiştirilmeden EK-1 A'da verildiği şekilde alınmıştır. DÜ birimlerinin senaryo 1'e göre belirlenen konum ve güç değerlerinde eklenmesi halinde, DÜ birimi eklenen baralar ve diğer baralar için gerilim profilinin arttığı ve aktif güç kayıpların %27,85 azaldığı görülmüştür.

Senaryo 2 için aktif güç kayıplarının minimize edilmesi, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesi amaç fonksiyonu kullanılmıştır. Yük değerleri KBA 114 baralı güç sisteminin yük değerleri değiştirilmeden EK-1 A'da verildiği şekilde alınmıştır. DÜ birimlerinin ekleneceği baralar ve güç değerleri senaryo 1'e göre değişiklik göstermiştir. DÜ birimlerinin senaryo 2'ye göre belirlenen konum ve güç değerlerinde eklenmesi halinde, DÜ birimi eklenen baralar ve diğer baralar için gerilim profilinin iyileştiği ve aktif güç kayıpların %27,94 azaldığı görülmüştür. İndeks değerleri optimizasyon öncesi ve sonrası durum için karşılaştırılmıştır. İndeks değerlerinin optimizasyon sonrasında arttığı, dolayısıyla sistemin daha kararlı çalıştığı görülmüştür.

Senaryo 3 için güç kayıplarının minimize edilmesi ve gerilim profilinin iyileştirilmesi amaç fonksiyonları kullanılmıştır. KBA güç sisteminin yük değerleri %8 arttırılmıştır. DÜ birimlerinin ekleneceği baralar ve güç değerleri diğer 2 senaryoya göre değişiklik göstermiştir. DÜ birimlerinin senaryo 3'e göre belirlenen konum ve güç değerlerinde eklenmesi halinde, DÜ birimi eklenen baralar ve diğer baralar için gerilim profilinin arttığı ve aktif güç kayıpların %33,63 azaldığı görülmüştür.

Senaryo 4 için güç kayıplarının minimize edilmesi, gerilim profilinin iyileştirilmesi ve gerilim kararlılığı indeksinin maksimize edilmesi amaç fonksiyonları kullanılmıştır. Yük değerleri 114 baralı KBA güç sistemi yük değerlerine göre %8 arttırılmıştır. DÜ birimlerinin ekleneceği baralar senaryo 1, 2 ve 3'e göre değişiklik göstermiştir. DÜ birimlerinin senaryo 4'e göre belirlenen konum ve güç değerlerinde eklenmesi halinde, gerilim profilinin iyileştiği ve aktif güç kayıpların %32,74 azaldığı görülmüştür. İndeks değerleri optimizasyon öncesi ve sonrası durum için karşılaştırılmıştır. İndeks değerlerinin optimizasyon sonrasında arttığı görülmüştür.

Tüm senaryolar değerlendirildiğinde dağıtık üretim birimi olarak güç sistemine yenilenebilir enerji kaynakları eklenmesi halinde aktif güç kayıplarının azaldığı, gerilim profilinin iyileştiği ve gerilim kararlılık indeksinin arttığı görülmüştür..

KAYNAKLAR

- [1] Bevrani, H., Ghosh, A. ve Ledwich, G. (2010). Renewable energy sources and frequency regulation: Survey and new perspectives. *IET Renewable Power Generation*, 4(5), 438–457. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2009.0049>.
- [2] Eghtedarpour, N. and Farjah, E. (2014). Distributed charge/discharge control of energy storages in a renewable-energy-based DC micro-grid. *IET Renewable Power Generation*, 8(1), 45–57. <http://dx.doi.org/10.1049/iet-rpg.2012.0112>
- [3] Veera, V., Satya, V., Murty, N., ve Kumar, A. (2019). Optimal DG integration and network reconfiguration in microgrid system with realistic time varying load model using hybrid optimisation; Optimal DG integration and network reconfiguration in microgrid system with realistic time varying load model using hybrid optimisation. *IET Smart Grid*, 2(2), 192–202. <http://dx.doi.org/10.1049/iet-stg.2018.0146>.
- [4] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi (2023, 20 Şubat). ‘Aralık 2022 Kurulu Güç Raporu’. <https://www.teias.gov.tr/faaliyet-raporlari>.
- [5] Siddhartha, N., Sharma, and Varun, (2012). A particle swarm optimization algorithm for optimization of thermal performance of a smooth flat plate solar air heater. *Energy*, 38(1), 406–413. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.11.026>.
- [6] Omer, A. M. (2007). Renewable energy resources for electricity generation in Sudan. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11(7), 1481–1497. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2005.12.001>
- [7] Baños, R., Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Gil, C., Alcayde, A. ve Gómez, J. (2011). Optimization methods applied to renewable and sustainable energy: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1753–1766. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.12.008>.
- [8] Paliwal, P., Patidar, N. P. ve Nema, R. K. (2014). Determination of reliability constrained optimal resource mix for an autonomous hybrid power system using Particle Swarm Optimization. *Renewable Energy*, 63, 194–204. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.003>.
- [9] Ackermann, T., Ran Andersson, G. ve Sö Der A, L. (2001). Distributed generation: a definition. *Electric Power Systems Research*, 57, 195–204. [https://doi.org/10.1016/S0378-7796\(01\)00101-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7796(01)00101-8)
- [10] Alinejad-Beromi, Y., Sedighizadeh, M. ve Sadighi, M. (2008). A particle swarm optimization for sitting and sizing of distributed generation in distribution network to improve voltage profile and reduce THD and losses. *43rd International Universities Power Engineering Conference, Padua, Italy*, 1–5. <http://dx.doi.org/10.1109/UPEC.2008.4651544>.

- [11] Chaitusaney, S. ve Yokoyama, A. (2008). Prevention of reliability degradation from recloser-fuse miscoordination due to distributed generation. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 23(4), 2545–2554. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2007.915899>.
- [12] Akdeniz, E., Kaypmaz, A. and Yağmur, E. A. (2006). Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi. *Eleco'2006 Elektrik- Elektronik-Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu ve Fuarı, Bursa, Türkiye*.
- [13] Mohandas, N., Balamurugan, R. ve Lakshminarasimman, L. (2015). Optimal location and sizing of real power DG units to improve the voltage stability in the distribution system using ABC algorithm united with chaos. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 66, 41–52. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2014.10.033>.
- [14] Ackermann, T. ve Knyazkin, V. (2002). Interaction between distributed generation and the distribution network: Operation aspects. *Proceedings of the IEEE Power Engineering Society Transmission and Distribution Conference*, 1357–1362. <http://dx.doi.org/10.1109/TDC.2002.1177677>.
- [15] Pesaran, M., Dang Huy, P. ve Ramachandaramurthy, V. K. (2016). A review of the optimal allocation of distributed generation: Objectives, constraints, methods, and algorithms. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75, 293–312. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.071>.
- [16] Hien, N. C., Mithulananthan, N. ve Bansal, R. C. (2013). Location and sizing of distributed generation units for loadability enhancement in primary feeder. *IEEE Syst J*, 7(4), 797–806. <http://dx.doi.org/10.1109/JSYST.2012.2234396>.
- [17] Méndez Quezada, V. H., Rivier Abbad, J. ve Gómez San Román, T. (2006). Assessment of energy distribution losses for increasing penetration of distributed generation. *IEEE Transactions on Power Systems*, 21(2), 533–540. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRS.2006.873115>.
- [18] Oureilidis, K. O., Bakirtzis, E. A. ve Demoulias, C. S. (2016). Frequency-based control of islanded microgrid with renewable energy sources and energy storage. *J. Mod. Power Syst. Clean Energy*, 4(1), 54-62. <https://doi.org/10.1007/s40565-015-0178-z>.
- [19] Hosseinzadeh, N., Aziz, A., Mahmud, A., Gargoom, A. ve Rabbani, M. (2021). Voltage stability of power systems with renewable-energy inverter-based generators: A review. *Electronics (Switzerland)*, 10(2), 115. <http://dx.doi.org/10.3390/electronics10020115>.
- [20] CIGRE. (2015). *Microgrids 1 Engineering, Economics, & Experience*. In *Conseil International des Grands Réseaux Electriques*. <https://e-cigre.org/publication/635-microgrids-1-engineering--economics--experience>
- [21] IEEE. PES Task Force on Microgrid Stability Analysis and Modeling. (2008) *Microgrid Stability, Definitions, Analysis, and Modeling*. https://resourcecenter.ieee-pes.org/publications/technical-reports/PES_TR0066_062018.html

- [22] Beheshtaein, S., Savaghebi, M., Vasquez, J. C., ve Guerrero, J. M. (2015). Protection of AC and DC microgrids: Challenges, solutions and future trends. *IECON 2015- 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 5253–5260. <http://dx.doi.org/10.1109/IECON.2015.7392927>.
- [23] Basak, P., Chowdhury, S., Halder Nee Dey, S. ve Chowdhury, S. P. (2012). A literature review on integration of distributed energy resources in the perspective of control, protection and stability of microgrid', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(8), 5545–5556. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.043>.
- [24] Bhaskara, S. N. ve Chowdhury, B. H. (2012). Microgrids — A review of modeling, control, protection, simulation and future potential. *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, San Diego, CA, USA, 1-7, <http://dx.doi.org/10.1109/PESGM.2012.6345694>.
- [25] Schiffer, J., Ortega, R., Astolfi, A., Raisch, J., ve Sezi, T. (2014). Conditions for stability of droop-controlled inverter-based microgrids. *Automatica*, 50(10), 2457–2469. <https://doi.org/10.1016/j.automatica.2014.08.009>.
- [26] Golieva A. (2015). Low Short-Circuit Ratio Connection of Wind Power Plants [Yüksek Lisans Tezi]. Norwegian University of Science and Technology.
- [27] Isaac, S., James, K., ve Frank, I. (2012). Voltage Collapse and the Nigerian National Grid. Eie's 2nd International Conference On Computing, Energy, Networking, Robotics And Telecommunications, 128-131, Ovanant University, Ota, Nigeria.
- [28] Hung, D. Q. ve Mithulananthan, N. (2013). Multiple distributed generator placement in primary distribution networks for loss reduction. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 60(4), 1700–1708. <https://doi.org/10.1109/TIE.2011.2112316>.
- [29] Hung, D. Q. and Mithulananthan, N. (2014). Loss reduction and loadability enhancement with DG: A dual-index analytical approach. *Applied Energy*, 15, 233–241. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.11.010>.
- [30] Popović, D. H., Greatbanks, J. A., Begović, M., Begović, B., and Pregelj, A. (2005). Placement of distributed generators and reclosers for distribution network security and reliability. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 27, 398-408. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2005.02.002>.
- [31] Abu-Mouti, F. S. ve El-Hawary, M. E. (2011). Optimal Distributed Generation Allocation and Sizing in Distribution Systems via Artificial Bee Colony Algorithm. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 26(4), <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2158246>.
- [32] Varesi K. (2011). Optimal Allocation of DG Units for Power Loss Reduction and Voltage Profile Improvement of Distribution Networks using PSO Algorithm. <https://www.researchgate.net/publication/275354162>

- [33] Moradi, M. H. and Abedini, M. (2012). A combination of genetic algorithm and particle swarm optimization for optimal DG location and sizing in distribution systems. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 34(1), 66–74. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2011.08.023>.
- [34] Gümüş, T. E., Aksoy Tirmikçi, C., Yavuz, C., Yalçın, M. A., and Turan, M. (2021) Power loss minimization for distribution networks with load tap changing using genetic algorithm and environmental impact analysis. *Tehnicki Vjesnik*, 28(6), 1927–1935. <http://dx.doi.org/10.17559/TV-20200813105532>.
- [35] Ismail, N.A.M., Zin, A.A.M., Khairuddin, A., and Khokhar, S. (2014). A Comparison of Voltage Stability Indices. *2014 IEEE 8th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO2014)*, 30–34. <https://doi.org/10.1109/PEOCO.2014.6814394>
- [36] Singh, P., Parida, S. K., Chauhan, B., and Choudhary, N. (2020). Online voltage stability assessment using artificial neural network considering voltage stability indices. *21st National Power Systems Conference (NPSC)*, 1-5. <https://doi.org/10.1109/NPSC49263.2020.9331954>.
- [37] Jirjees, M. A., Al-Nimma, D. A., and Al-Hafidh, M. S. M. (2018). Voltage Stability Enhancement based on Voltage Stability Indices Using FACTS Controllers. *International Iraqi Conference on Engineering Technology and its Applications, IICETA 2018*, 141–145. <http://dx.doi.org/10.1109/IICETA.2018.8458094>.
- [38] Serem, N., Letting, L. K., ve Munda, J. (2021). Voltage profile and sensitivity analysis for a grid connected solar, wind and small hydro hybrid system. *Energies (Basel)*, 14(12). <http://dx.doi.org/10.3390/en14123555>.
- [39] Gomez-Gonzalez, M., López, A., ve Jurado, F. (2012). Optimization of distributed generation systems using a new discrete PSO and OPF. *Electric Power Systems Research*, 84(1), 174–180. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2011.11.016>.
- [40] Boonraksa, T., Boonraksa, P., Marungsri, B., ve Wynn, S. L. L. (2021). Location and Sizing Optimization of Distributed Generation Systems on Smart Grid with the Whale Optimization Algorithm. *9th International Electrical Engineering Congress (iEECON)*, Pattaya, Thailand, 81–84. <https://doi.org/10.1109/iEECON51072.2021.9440274>.
- [41] Shawon, S. Md. R. H., Liang, X., ve Janbakhsh, M. (2023). Optimal Placement of Distributed Generation Units for Microgrid Planning in Distribution Networks. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 59(3), 2785-2794. <https://doi.org/10.1109/TIA.2023.3236363>.
- [42] Prabha Kundur. (1994). *Power System Stability and Control* (1st ed). McGrawHill.
- [43] Kundur, P., Paserba, J., Ajarapu, V., Andersson, G., Bose, A., Canizares, C., Hatziargyriou, N., Hill, D., Stankovic, A., Taylor, C., Van Cutsem, T., Vittal, V. (2004). Definition and classification of power system stability. *IEEE Transactions on Power Systems*, 19(3), 1387–1401. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2004.825981>.

- [44] Carson, W. Taylor. (1994). *Power System Voltage Stability* (1st ed.). McGraw-Hill.
- [45] Thierry Van Cutsem ve Costas Vournas. (1998). *Power Electronics and Power Systems*. Springer.
- [46] IEEE. (1982). Proposed terms & definitions for power system stability. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 101(7), 1894–1898. <https://doi.org/10.1109/TPAS.1982.317476>.
- [47] Leonard I. Grigsby. (2012). *Power System Stability and Control* (3rd ed). CRC Press.
- [48] Yalçın, M. A. (1995). Enerji İletim Sistemlerinde Gerilim Kararlılığının Yeni Bir Yaklaşımla İncelenmesi [doktora tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [49] Olle I. Elger. (1982). *Electric-Energy-Systems-Theory-An-Introduction-Elgerd* (2nd ed). McGraw-Hill.
- [50] Baysal, M. (2008). Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harmonik İçeren Güç Sistemlerinin Gerilim Kararlılığının Yük Modellemeleri ve Facts Elemanları Bakımından İncelenmesi [doktora tezi]. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [51] Serem, N., Letting, L. K., ve Munda, J. (2021). Voltage profile and sensitivity analysis for a grid connected solar, wind and small hydro hybrid system. *Energies (Basel)*, 14(12). <http://dx.doi.org/10.3390/en14123555>.
- [52] Ibrahim, A. I., S. A. al Dessi ve Osman, A. H. (2011). A comprehensive methodology for voltage stability assessment of power systems using modern analytical tools. *2011 2nd International Conference on Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), Sharjah, United Arab Emirates, 1-5*. <http://dx.doi.org/10.1109/EPECS.2011.6126830>.
- [53] Tinney, W. F. ve Hart, C. E. (1967). Power Flow Solution by Newton's Method," *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 86(11), 1449-1460. <http://dx.doi.org/10.1109/TPAS.1967.291823>.
- [54] Maharjan, R. ve Kamalasadan, S. (2015). Voltage stability index for online voltage stability assessment. *2015 North American Power Symposium (NAPS), 1-6*. <http://dx.doi.org/10.1109/NAPS.2015.7335245>.
- [55] GÜMÜŞ, T. E. (2021). Sözde Thevenin Eşdeğer Devre Parametreleri Kullanılarak Güç Sistemlerinde Gerilim Kararlılığı Değerlendirmesi [doktora tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- [56] Modarresi, J., Gholipour, E., ve Khodabakhshian, A. (2016). A comprehensive review of the voltage stability indices. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 1–12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.05.010>.
- [57] Alia, O. M. D. ve Mandava, R. (2011). The variants of the harmony search algorithm: An overview. *Artif Intell Rev*, 36(1), 49–68. <http://dx.doi.org/10.1007/s10462-010-9201-y>.
- [58] Kumar, V., Chhabra, J. K., ve Kumar, D. (2014). Parameter adaptive harmony search algorithm for unimodal and multimodal optimization problems. *J Comput Sci*, 5(2), 144–155. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jocs.2013.12.001>.

- [59] Matlab MathWorks. (2022, 3 Mayıs). Genetic Algorithm Options Options for Genetic Algorithm. <https://www.mathworks.com/help/gads/genetic-algorithm.html>
- [60] Zhou, Y. (2006). Study On Genetic Algorithm Improvement And Application [Yüksek Lisans Tezi]. Worcester Polytechnic Institute.
- [61] Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (2022, 11 Aralık). Ekim 2022 Kurulu Güç Raporu. <https://www.teias.gov.tr/kurulu-guc-raporlari>
- [62] Nihat Pamuk. (2009). 380 ve 154 kV’luk Kuzeybatı Anadolu Şebekesi Güç Akışı Benzetimleri [Yüksek lisans tezi]. Sakarya Üniversitesi.
- [63] Muttaqi, K. M., Le A. D. T., Negnevitsky, M., ve Ledwich, G. (2014). An algebraic approach for determination of DG parameters to support voltage profiles in radial distribution networks. *IEEE Trans Smart Grid*, 5(3), 1351–1360. <http://dx.doi.org/10.1109/TSG.2014.2303194>.
- [64] Zimmerman, R. D., Murillo-Sánchez, 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. <http://dx.doi.org/10.1109/TPWRS.2010.2051168>.
- [65] Murthy, G. V. K., Sivanagaraju, S., Satyanarayana, S., ve Rao, B. H. (2014). Voltage Stability Analysis of Radial Distribution Networks with Distributed Generation. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics* 6(1), 195-204. <https://doi.org/10.15676/ijeei.2014.6.1.13>.
- [66] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi. (2021). ‘Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Teiaş 2021 Yılı Faaliyet Raporu. <https://www.teias.gov.tr/faaliyet-raporlari>

EKLER

EK A.

Tablo A.1. 380 ve 154 Kv’luk Enerji İletim Hatlarına Ait Bara Kodları ve İsimleri.

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDAKİ İSTASYONLAR			
İstasyon No	İstasyon Adı	İstasyon No	İstasyon Adı
1	380 Kv Ümraniye	58	154 Kv Bursa 3
2	380 Kv Paşaköy	59	154 Kv Bursa
3	380 Kv Tepeören	60	154 Kv Görükle
4	380 Kv Adapazarı	61	154 Kv Akçalar
5	380 Kv Ada DGKÇS 1	62	154 Kv Karacabey
6	380 Kv Ada DGKÇS 2	63	154 Kv Beşevler
7	380 Kv Bursa DGKÇS	64	154 Kv Orhaneli
8	380 Kv Bursa Sanayi	65	154 Kv M.K.Paşa
9	380 Kv Tutes Şalt	66	154 Kv Göbel
10	380 Kv Osmanca	67	154 Kv Kestel

Tablo A.1. (devamı) 380 ve 154 Kv’luk Enerji İletim Hatlarına Ait Bara Kodları ve İsimleri.

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDAKİ İSTASYONLAR			
11	380 Kv Seyitömer	68	154 Kv Yenişehir
12	154 Kv Vaniköy	69	154 Kv Paşalar
13	154 Kv Selimiye	70	154 Kv Tutes Şalt
14	154 Kv Göztepe	71	154 Kv Emet
15	154 Kv Ümraniye	72	154 Kv Yeni Gediz
16	154 Kv Küçükbakkalköy	73	154 Kv Simav
17	154 Kv Büyükbakkalköy	74	154 Kv Demirci
18	154 Kv Paşaköy	74	154 Kv Tutes A
19	154 Kv Soğanlık	76	154 Kv Tutes B
20	154 Kv Kartal	77	154 Kv Bilorsa
21	154 Kv Dudullu	78	154 Kv Pamukova
22	154 Kv Kurtköy	79	154 Kv Söğüt
23	154 Kv Tuzla	80	154 Kv Bozöyük
24	154 Kv İçmeler	81	154 Kv Bozöyük Akenerji
25	154 Kv Kroman Çelik	82	154 Kv Seyitömer

Tablo A.1. (devamı) 380 ve 154 Kv’luk Enerji İletim Hatlarına Ait Bara Kodları ve İsimleri.

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDAKİ İSTASYONLAR			
26	154 Kv Tepeören	83	154 Kv Kırka
27	154 Kv Gosb	84	154 Kv Eskişehir 1
28	154 Kv Çolakoğlu	85	154 Kv Eskişehir 2
29	154 Kv Diliskelesi	86	154 Kv Çifteler
30	154 Kv Şile	87	154 Kv Eskişehir 3
31	154 Kv İsaköy	88	154 Kv Kütahya
32	154 Kv Yarımca 1	89	154 Kv Altıntaş
33	154 Kv İzmit Gis	90	154 Kv Osmanca
34	154 Kv Nuh Çimento	91	154 Kv Melen
35	154 Kv Enerjisa	92	154 Kv Karasu
36	154 Kv Yarımca 2	93	154 Kv Hendek
37	154 Kv Hyundai	94	154 Kv Toyota
38	154 Kv Nuh Enerji	95	154 Kv Kuzuluk
39	154 Kv Kaynarca	96	154 Kv Mudurnu
40	154 Kv Sakarya	97	154 Kv Sarıyar

Tablo A.1. (devamı) 380 ve 154 Kv’luk Enerji İletim Hatlarına Ait Bara Kodları ve İsimleri.

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDAKİ İSTASYONLAR			
41	154 Kv Köseköy	98	154 Kv Kaynaşlı
42	154 Kv Entek 2	99	154 Kv Bolu 1
43	154 Kv Gölcük	100	154 Kv Bolu 2
44	154 Kv Ford Otosan	101	154 Kv Bolu Çimento
45	154 Kv Karamürsel	102	154 Kv Gerkonsan
46	154 Kv Yalova	103	154 Kv İsmetpaşa
47	154 Kv Adapazarı	104	154 Kv Karabük
48	154 Kv Orhangazi	105	154 Kv Safranbolu
49	154 Kv Gemlik	106	154 Kv Çaycuma
50	154 Kv Asil Çelik	107	154 Kv Yeni Çates
51	154 Kv Bursa DGKÇS	108	154 Kv Bartın
52	154 Kv İnegöl	109	154 Kv Akçakoca
53	154 Kv Entek 1	110	380 Kv Ereğli 2
54	154 Kv Demirtaş	111	154 Kv Erdemir 1
55	154 Kv Bosen	112	154 Kv Erdemir 2
56	154 Kv Bursa Sanayi	113	154 Kv Zonguldak

Tablo A.1. (devamı) 380 ve 154 Kv’luk Enerji İletim Hatlarına Ait Bara Kodları ve İsimleri.

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDAKİ İSTASYONLAR			
57	154 Kv Otosantit	114	154 Kv Ereğli 2

Kuzeybatı Anadolu şebekesindeki enerji iletim hatlarındaki empedanslar aşağıda verilmiştir.

Tablo A.2. Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Göztepe	154 Kv Selimiye	0.002530	0.018970	0.00863
154 Kv Göztepe	154 Kv Küçükbakkalköy	0.000465	0.004966	0.09049
154 Kv Selimiye	154 Kv Ümraniye	0.000453	0.004951	0.09030
154 Kv Ümraniye	154 Kv Vaniköy	0.001939	0.009610	0.00368
380 Kv Ümraniye	154 Kv Ümraniye	0.011010	0.046800	0.02013
154 Kv Tepeören	154 Kv Ümraniye	0.012053	0.059746	0.02289
154 Kv Dudullu	154 Kv Ümraniye	0.004527	0.022442	0.00859

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Dudullu	154 Kv Tepeören	0.009661	0.047890	0.01835
154 Kv Küçükbakkalköy (1.devre)	154 Kv Ümraniye (1.devre)	0.002193	0.010290	0.00440
154 Kv Küçükbakkalköy (2.devre)	154 Kv Ümraniye (2.devre)	0.002181	0.010113	0.00410
154 Kv Büyükbakkalköy (1.devre)	154 Kv Küçükbakkalköy (1.devre)	0.003370	0.026560	0.01098
154 Kv Büyükbakkalköy (2.devre)	154 Kv Küçükbakkalköy (2.devre)	0.003790	0.029090	0.01233
380 Kv Paşaköy	154 Kv Paşaköy	0.001260	0.009690	0.00431
154 Kv Paşaköy (1.devre)	154 Kv Büyükbakkalköy (1.devre)	0.004210	0.029510	0.01351
154 Kv Paşaköy (2.devre)	154 Kv Büyükbakkalköy (2.devre)	0.004210	0.029510	0.01351

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Kartal	154 Kv Büyükbakkalköy	0.003493	0.313630	0.11941
154 Kv Soğanlık	154 Kv Büyükbakkalköy	0.001691	0.304695	0.11598
154 Kv Kartal	154 Kv Soğanlık	0.001802	0.008935	0.00342
380 Kv Tepeören	154 Kv Tepeören	0.000470	0.001200	0.04375
380 Kv Tepeören (kuzey)	380 Kv Ümraniye	0.000769	0.007119	0.15741
380 Kv Tepeören (güney)	380 Kv Ümraniye	0.000769	0.007119	0.15741
380 Kv Paşaköy	380 Kv Tepeören	0.000331	0.003807	0.12507
380 Kv Ada DGKÇS 1	380 Kv Paşaköy	0.001274	0.019048	0.65504
154 Kv Kurtköy (1.devre)	154 Kv Tepeören (1.devre)	0.003124	0.014661	0.00628

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Kurtköy (2.devre)	154 Kv Tepeören (2.devre)	0.003017	0.014153	0.00601
154 Kv Kartal (1.devre)	154 Kv Kurtköy (1.devre)	0.002112	0.009909	0.00424
154 Kv Kartal (2.devre)	154 Kv Kurtköy (2.devre)	0.002013	0.009501	0.00411
154 Kv Kartal	154 Kv Tuzla	0.008492	0.042093	0.01613
154 Kv İçmeler	154 Kv Kartal	0.001733	0.008133	0.00348
154 Kv Kroman Çelik	154 Kv Tuzla	0.000416	0.002062	0.00079
154 Kv Diliskelesi	154 Kv İçmeler	0.007903	0.039633	0.17955
154 Kv Çolakoğlu	154 Kv Kroman Çelik	0.008042	0.039863	0.01527
154 Kv Çolakoğlu (1.devre)	154 Kv Diliskelesi (1.devre)	0.005199	0.025773	0.00987

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Çolakoğlu (2.devre)	154 Kv Diliskelesi (2.devre)	0.000693	0.003436	0.00131
154 Kv Nuh Çimento	154 Kv Diliskelesi (2.devre)	0.016800	0.007160	0.00310
154 Kv Adapazarı	154 Kv Nuh Çimento	0.029583	0.146641	0.05619
154 Kv Çolakoğlu	154 Kv Gosb	0.005199	0.025773	0.00987
154 Kv Gosb	154 Kv Tepeören	0.002080	0.010309	0.00395
154 Kv Diliskelesi	154 Kv Tepeören	0.005752	0.028514	0.01092
154 Kv Enerjisa	154 Kv İzmit Gis	0.005546	0.027491	0.01053
154 Kv Enerjisa	154 Kv Köseköy	0.002080	0.010309	0.00395
154 Kv Nuh Enerji	154 Kv Nuh Çimento	0.015670	0.069640	0.02967

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Köseköy	154 Kv Nuh Çimento	0.012979	0.064333	0.02465
154 Kv Entek 2	154 Kv Köseköy	0.000663	0.003289	0.00126
154 Kv İzmit Gis	154 Kv Tepeören	0.026345	0.130543	0.05005
154 Kv Tepeören	154 Kv Yarımca 1	0.013943	0.068886	0.02658
154 Kv Şile	154 Kv Tepeören	0.010940	0.054227	0.02077
154 Kv İsaköy	154 Kv Şile	0.004874	0.024158	0.00925
154 Kv Köseköy	154 Kv Gölcük	0.016401	0.081297	0.03115
154 Kv Ford Otosan	154 Kv Köseköy	0.006699	0.021487	0.00736
154 Kv Ford Otosan	154 Kv Karamürsel	0.015584	0.049987	0.01713
154 Kv Karamürsel	154 Kv Yalova	0.012151	0.038974	0.01335
154 Kv Orhangazi	154 Kv Yalova	0.014190	0.044349	0.01604

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
380 Kv Ada DGKÇS 2	380 Kv Ada DGKÇS 1	0.000013	0.000147	0.00484
380 Kv Ada DGKÇS 2	380 Kv Osmanca	0.001187	0.013633	0.44787
380 Kv Adapazarı	380 Kv Ada DGKÇS 1	0.000469	0.004334	0.09625
380 Kv Adapazarı	380 Kv Osmanca	0.001631	0.014856	0.34647
380 Kv Adapazarı	154 Kv Adapazarı	0.000260	0.002800	0.05255
154 Kv Adapazarı (2.devre)	154 Kv Yarımca 2 (2.devre)	0.017758	0.083332	0.03569
154 Kv Adapazarı (1.devre)	154 Kv Yarımca 2 (1.devre)	0.017512	0.081327	0.03341
154 Kv Adapazarı	154 Kv Sakarya	0.011660	0.057846	0.01244
154 Kv Sakarya	154 Kv Kaynarca	0.007751	0.004417	0.00889

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Adapazarı	154 Kv Hyundai	0.024641	0.079038	0.02708
154 Kv Hyundai	154 Kv Yarımca 1	0.007681	0.038072	0.01458
154 Kv Adapazarı (1.devre)	154 Kv Köseköy (1.devre)	0.011959	0.056119	0.02403
154 Kv Adapazarı (2.devre)	154 Kv Köseköy (2.devre)	0.012490	0.037254	0.01479
380 Kv Osmanca	154 Kv Osmanca	0.000260	0.005210	0.16689
154 Kv Osmanca	154 Kv Melen	0.006862	0.050223	0.01889
154 Kv Melen	154 Kv Karasu	0.008206	0.024468	0.00972
154 Kv Hendek	154 Kv Osmanca	0.023656	0.075878	0.02600
154 Kv Hendek	154 Kv Adapazarı	0.032256	0.103462	0.03545

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Kaynaşlı	154 Kv Osmanca	0.012437	0.039894	0.01367
154 Kv Bolu 1	154 Kv Sarıyar	0.046266	0.148403	0.05086
154 Kv Sarıyar	154 Kv Toyota	0.041596	0.206186	0.07900
154 Kv Mudurnu	154 Kv Sarıyar	0.021544	0.106794	0.04092
154 Kv Adapazarı	154 Kv Toyota	0.002860	0.014177	0.00543
154 Kv Adapazarı	154 Kv Kuzuluk	0.006534	0.020957	0.00718
154 Kv Kuzuluk	154 Kv Mudurnu	0.020850	0.108105	0.04761
154 Kv Bolu 1	154 Kv Kaynaşlı	0.014748	0.047306	0.01621
154 Kv Bolu 1	154 Kv Bolu 2	0.009784	0.030984	0.01090
380 Kv Ereğli 2	380 Kv Osmanca	0.001174	0.010699	0.24953
380 Kv Ereğli 2	154 Kv Ereğli 2	0.004210	0.019370	0.00830
154 Kv Akçakoca	154 Kv Osmanca	0.013107	0.041363	0.01466

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Akçakoca	154 Kv Ereğli 2	0.020041	0.063604	0.02228
154 Kv Erdemir 1	154 Kv Ereğli 2	0.001131	0.005607	0.00214
154 Kv Ereğli 2	154 Kv Erdemir 2	0.000854	0.004232	0.00162
154 Kv Erdemir 1	154 Kv Erdemir 2	0.000356	0.001765	0.00067
154 Kv Yeni Çates	154 Kv Zonguldak	0.007671	0.024606	0.00843
154 Kv Ereğli 2	154 Kv Yeni Çates	0.012065	0.101244	0.03356
154 Kv Ereğli 2	154 Kv Zonguldak	0.021577	0.069210	0.02371
154 Kv Çaycuma	154 Kv Yeni Çates	0.014041	0.041881	0.01663
154 Kv Bartın	154 Kv Yeni Çates	0.022775	0.073051	0.02503
154 Kv Çaycuma	154 Kv Safranbolu	0.039615	0.127068	0.04354

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Karabük	154 Kv Safranbolu	0.008256	0.026481	0.00907
154 Kv İsmet paşa	154 Kv Karabük	0.024105	0.077319	0.02649
154 Kv Gerkonsan	154 Kv İsmet paşa	0.022637	0.072610	0.02488
154 Kv Bolu Çimento	154 Kv Gerkonsan	0.021826	0.069609	0.02414
154 Kv Bolu 2	154 Kv Bolu Çimento	0.002897	0.009090	0.00326
380 Kv Adapazarı	380 Kv Bursa DGKÇS	0.003374	0.031179	0.69242
380 Kv Adapazarı	380 Kv Tepeören (kuzey)	0.001979	0.018287	0.40612
380 Kv Adapazarı	380 Kv Tepeören (güney)	0.001321	0.015177	0.49859
380 Kv Adapazarı	380 Kv Tepeören 3	0.002097	0.019424	0.42950

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
380 Kv Bursa Sanayi	380 Kv Bursa DGKÇS	0.000389	0.003592	0.07978
380 Kv Bursa Sanayi	154 Kv Bursa Sanayi	0.000340	0.003710	0.06787
380 Kv Bursa Sanayi	380 Kv Tutes Şalt	0.002112	0.019471	0.44331
380 Kv Tutes Şalt	154 Kv Tutes Şalt	0.000420	0.004510	0.08246
154 Kv Bursa Sanayi	154 Kv Bursa	0.002200	0.017978	0.00631
380 Kv Seyitömer	380 Kv Tutes Şalt	0.001010	0.009314	0.21205
380 Kv Seyitömer	154 Kv Seyitömer	0.001260	0.005900	0.00263
154 Kv Bozüyük	154 Kv Seyitömer	0.018140	0.089916	0.03445
154 Kv Bozüyük Akenerji	154 Kv Bozüyük	0.001302	0.003883	0.00154
154 Kv Adapazarı	154 Kv Pamukova	0.012825	0.063574	0.02436

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Adapazarı	154 Kv Paşalar	0.020638	0.102303	0.03920
154 Kv Pamukova	154 Kv Paşalar	0.010399	0.051546	0.01975
154 Kv Paşalar	154 Kv Söğüt	0.018200	0.058165	0.02008
154 Kv Bozüyük	154 Kv Söğüt	0.013775	0.043971	0.01522
154 Kv Kütahya (1.devre)	154 Kv Seyitömer (1.devre)	0.007491	0.035151	0.01505
154 Kv Kütahya (2.devre)	154 Kv Seyitömer (2.devre)	0.006160	0.051692	0.01713
154 Kv Altıntaş	154 Kv Kütahya	0.033371	0.106071	0.03705
154 Kv Kütahya (1.devre)	154 Kv Tutes Şalt (1.devre)	0.030795	0.091855	0.03648
154 Kv Kütahya (2.devre)	154 Kv Tutes Şalt (2.devre)	0.028862	0.092578	0.03172
154 Kv Tutes A	154 Kv Tutes B	0.000693	0.003436	0.00131
154 Kv Paşalar	154 Kv Tutes A	0.035148	0.174227	0.06676

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Tutes B	154 Kv Tutes Şalt (1.devre)	0.000714	0.003349	0.00143
154 Kv Tutes B	154 Kv Tutes Şalt (2.devre)	0.000513	0.004691	0.00286
154 Kv Kırka	154 Kv Seyitömer	0.036755	0.117895	0.04040
154 Kv Çifteler	154 Kv Kırka	0.027731	0.088948	0.03048
154 Kv Çifteler	154 Kv Eskişehir 2	0.040204	0.126286	0.04515
154 Kv Eskişehir 1	154 Kv Eskişehir 2	0.021792	0.069900	0.02395
154 Kv Eskişehir 3	154 Kv Eskişehir 2	0.005409	0.025334	0.01089
154 Kv Bozüyük	154 Kv Eskişehir 3	0.023791	0.076312	0.02615
154 Kv Bilorsa	154 Kv Tutes A	0.029636	0.146901	0.05629
154 Kv Bilorsa	154 Kv Paşalar	0.005373	0.026632	0.01020
154 Kv Eskişehir 3	154 Kv Tutes A	0.064269	0.206148	0.07065

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Eskişehir 2	154 Kv Tutes A	0.039127	0.193949	0.07432
154 Kv Paşalar	154 Kv Yenişehir	0.020154	0.064645	0.02215
154 Kv Kestel	154 Kv Yenişehir	0.022422	0.071581	0.02477
154 Kv Emet	154 Kv Tutes Şalt	0.021741	0.069735	0.02389
154 Kv Emet	154 Kv Yeni Gediz	0.032023	0.102714	0.03520
154 Kv Simav	154 Kv Yeni Gediz	0.022195	0.071193	0.02439
154 Kv Demirci	154 Kv Simav	0.015846	0.050827	0.01741
154 Kv Orhangazi	154 Kv Paşalar	0.040487	0.129863	0.04450
154 Kv Bursa DGKÇS	154 Kv Gemlik	0.008631	0.027684	0.00948
154 Kv Bursa DGKÇS	154 Kv Orhangazi	0.011203	0.055534	0.02128

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Gemlik	154 Kv Orhangazi	0.011432	0.036608	0.01259
154 Kv Asil Çelik	154 Kv Bursa DGKÇS	0.014599	0.046826	0.01604
154 Kv Asil Çelik	154 Kv Orhangazi	0.004212	0.013511	0.00463
154 Kv Bursa DGKÇS (1.devre)	154 Kv Otosantit (1.devre)	0.003753	0.026852	0.01231
154 Kv Bursa DGKÇS (2.devre)	154 Kv Otosantit (2.devre)	0.003520	0.029538	0.00979
154 Kv Bursa 3	154 Kv Otosantit	0.001560	0.012331	0.00464
154 Kv Bursa	154 Kv Bursa 3	0.001164	0.009766	0.00323
154 Kv Kestel	154 Kv Otosantit	0.005933	0.019029	0.00652
154 Kv Bursa DGKÇS (1.devre)	154 Kv Bursa Sanayi (1.devre)	0.005884	0.027614	0.01182

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Bursa DGKÇS (2.devre)	154 Kv Bursa Sanayi (2.devre)	0.006120	0.030339	0.01162
154 Kv M.K.Paşa	154 Kv Orhaneli	0.021442	0.106287	0.04072
154 Kv Bursa Sanayi	154 Kv Orhaneli	0.011590	0.057450	0.02201
154 Kv İnegöl	154 Kv Orhaneli	0.025812	0.127945	0.04902
154 Kv Beşevler	154 Kv Orhaneli	0.011612	0.057560	0.02205
154 Kv Beşevler	154 Kv Bursa Sanayi	0.000867	0.004296	0.00164
154 Kv Göbel	154 Kv Orhaneli	0.026546	0.131584	0.05042
154 Kv Göbel	154 Kv M.K.Paşa	0.008116	0.040230	0.01541
154 Kv Bursa Sanayi	154 Kv Görükle	0.003971	0.033327	0.11050
154 Kv Akçalar	154 Kv Görükle	0.015846	0.050827	0.01741
154 Kv Akçalar	154 Kv Karacabey	0.014332	0.045970	0.01575

Tablo A.2. (devamı) Kuzeybatı Anadolu şebekesi iletim hattının 154 Kv ve 100 MVA bazdaki birim değer cinsinden empedans değerleri

KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN ENERJİ İLETİM HATLARININ KARAKTERİSTİKLERİ				
İSTASYON MERKEZLERİ		100 MVA (pu) R	100 MVA (pu) X	100 MVA (pu) Y
154 Kv Göbel	154 Kv Karacabey	0.014148	0.045381	0.01555
154 Kv Demirtaş	154 Kv Entek 1	0.001166	0.005470	0.00234
154 Kv Bursa DGKÇS	154 Kv Demirtaş	0.003822	0.018945	0.00726
154 Kv Bosen	154 Kv Demirtaş	0.005165	0.025601	0.00981
154 Kv Bosen	154 Kv Bursa Sanayi	0.000485	0.002406	0.00092

15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı Anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları aşağıda verilmiştir.

Tablo A.3. 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
380 Kv Ümraniye	818.2	128.3	828,198	8,911

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
380 Kv Paşaköy	945.6	152.6	957,834	9,167
380 Kv Tepeören	1537.5	274.7	1.561,847	10,130
380 Kv Adapazarı	1913.1	555.9	1.992,229	16,202
380 Kv Ada DGKÇS 1	1660	421.1	1.712,579	14,234
380 Kv Ada DGKÇS 2	722	200.1	749,216	15,490
380 Kv Bursa DGKÇS	350	255.9	433,572	36,172
380 Kv Bursa Sanayi	242.5	247.8	346,715	45,619
380 Kv Tutes Şalt	131.2	86.4	157,094	33,366
380 Kv Osmanca	471.8	242.6	530,519	27,212
380 Kv Seyitömer	524.1	293.1	600,490	29,215

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Vaniköy	50	17	52,811	18,778
154 Kv Selimiye	193.1	33.3	195,950	9,784
154 Kv Göztepe	105	24.1	107,730	12,926
154 Kv Ümraniye	545.3	72.8	550,138	7,604
154 Kv Küçükbakkalköy	237	33.2	239,314	7,974
154 Kv Büyükbakkalköy	260	81.8	272,564	17,464
154 Kv Paşaköy	360.6	109.6	376,888	16,906
154 Kv Soğanlık	149	50.7	157,390	18,791
154 Kv Kartal	113.9	21.2	115,856	10,543
154 Kv Dudullu	206	47	211,294	12,852
154 Kv Kurtköy	95	10.8	95,612	6,485
154 Kv Tuzla	104	28.6	107,861	15,376
154 Kv İçmeler	179.1	35.6	182,604	11,242

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Kroman Çelik	134.1	41.4	140,345	17,156
154 Kv Tepeören	540.8	126.9	555,489	13,205
154 Kv Gosb	134	27.7	136,833	11,679
154 Kv Çolakoğlu	474	303.2	562,678	32,605
154 Kv Diliskelesi	310.4	103.6	327,232	18,457
154 Kv Şile	50.1	10.9	51,272	12,274
154 Kv İsaköy	35	8.9	36,114	14,267
154 Kv Yarımca 1	55.4	9.4	56,192	9,629
154 Kv İzmit Gis	71	22.5	74,480	17,583
154 Kv Nuh Çimento	58	7.8	58,522	7,659
154 Kv Enerjisa	80.2	34.1	87,148	23,034

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Yarımca 2	47	18	50,329	20,955
154 Kv Hyundai	61.6	9.1	62,268	8,403
154 Kv Nuh Enerji	58	7.8	58,522	7,659
154 Kv Kaynarca	13	4.4	13,724	18,698
154 Kv Sakarya	50	10.7	51,132	12,079
154 Kv Köseköy	197.3	76.7	211,684	21,243
154 Kv Entek 2	74	49.5	89,029	33,779
154 Kv Gölcük	16.7	4.6	17,322	15,400
154 Kv Ford Otosan	49.7	35	60,787	35,154
154 Kv Karamürsel	52	29.6	59,834	29,649
154 Kv Yalova	87.8	14.6	89,005	9,441
154 Kv Adapazarı	600.2	205.4	634,33	18,891

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Orhangazi	182.5	25.1	184,28	7,831
154 Kv Gemlik	130	25.6	132,46	11,140
154 Kv Asil Çelik	102.1	11	102,61	6,149
154 Kv Bursa DGKÇS	799.2	1314	809,90	9,336
154 Kv İnegöl	97	21.6	99,376	12,553
154 Kv Entek 1	137	43.4	143,710	17,577
154 Kv Demirtaş	108.9	44.1	117,490	22,045
154 Kv Bosen	24	35.2	42,603	55,713
154 Kv Bursa Sanayi	610.2	268.1	666,499	23,718
154 Kv Otosantit	231.9	51.3	237,506	12,473
154 Kv Bursa 3	80	24.8	83,756	17,223
154 Kv Bursa	198.3	79	213,457	21,721

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Görükle	47	6.3	47,420	7,634
154 Kv Akçalar	8	1.1	8,075	7,829
154 Kv Karacabey	26	5.9	26,661	12,785
154 Kv Beşevler	72.3	22.3	75,661	17,141
154 Kv Orhaneli	175.8	64.5	187,258	20,147
154 Kv M.K.Paşa	25	7.7	26,159	17,118
154 Kv Göbel	43.1	12.6	44,904	16,295
154 Kv Kestel	142.9	21.8	144,553	8,673
154 Kv Yenişehir	34	10	35,440	16,389
154 Kv Paşalar	58	28.8	64,756	26,406
154 Kv Tutes Şalt	213.3	39.8	216,981	10,569
154 Kv Emet	84.5	2.2	84,528	1,491
154 Kv Yeni Gediz	76.5	11.9	77,420	8,841

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Simav	15	4.1	15,550	15,287
154 Kv Demirci	6	2.3	6,425	20,973
154 Kv Tutes A	47.9	6.7	48,366	7,962
154 Kv Tutes B	130.1	26	132,672	11,301
154 Kv Bilorsa	30	8.9	31,292	16,523
154 Kv Pamukova	22	9.4	23,924	23,135
154 Kv Söğüt	31.6	2.2	31,676	3,982
154 Kv Bozöyük	138.1	14.8	138,890	6,116
154 Kv Bozöyük Akenerji	111	19.2	112,648	9,813
154 Kv Seyitömer	110.1	26.9	113,338	13,729
154 Kv Kırka	37.2	3.3	37,346	5,069
154 Kv Eskişehir 1	33	11	34,785	18,434
154 Kv Eskişehir 2	122.3	30.8	126,118	14,135

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Çifteler	34.9	4.6	35,202	7,508
154 Kv Eskişehir 3	87	9	87,464	5,906
154 Kv Kütahya	88.2	26.3	92,037	16,603
154 Kv Altıntaş	24.8	16.8	29,954	34,114
154 Kv Osmanca	145.4	45.7	152,413	17,448
154 Kv Melen	14	2.8	14,277	11,309
154 Kv Karasu	23	4.6	23,455	11,309
154 Kv Hendek	37	8.6	37,986	13,085
154 Kv Toyota	63.6	22.3	67,396	19,322
154 Kv Kuzuluk	22	5	22,561	12,804
154 Kv Mudurnu	68.5	18.1	70,851	14,801
154 Kv Sarıyar	187.4	46.8	193,155	14,021
154 Kv Kaynaşlı	44.9	27.5	52,652	31,486
154 Kv Bolu 1	65.1	25.7	69,989	21,542

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Bolu 2	30	10.7	31,851	19,629
154 Kv Bolu Çimento	10	12	15,620	50,4
154 Kv Gerkonsan	21	14.8	25,691	35,14
154 Kv İsmetpaşa	53.5	13.9	55,276	14,54
154 Kv Karabük	35.5	6.3	36,055	10,03
154 Kv Safranbolu	28.3	7.4	29,251	14,63
154 Kv Çaycuma	69.7	19.3	72,322	15,47
154 Kv Yeni Çates	228	100.4	249,16	23,76
154 Kv Bartın	49.5	11.2	50,751	12,79
154 Kv Akçakoca	21	3.9	21,359	10,50
154 Kv Ereğli 2	151.3	46.2	158,16	16,90

Tablo A.3. (devamı) 15.12.2008 tarihindeki Kuzeybatı anadolu şebekesinin sorumluluğunda bulunan istasyonlardaki yük durumları ve açıları

15.12.2008 TARİHİNDEKİ KBA'NIN SORUMLULUĞUNDA BULUNAN İSTASYONLARDAKİ YÜK DURUMLARI VE AÇILARI				
İstasyonlar	Aktif Güç (MW)	Reaktif Güç (MVAR)	Görünür Güç (MVA)	Açısı
154 Kv Erdemir 1	57	11.9	58,229	11,72
154 Kv Erdemir 2	35.2	8.5	36,211	13,55
154 Kv Zonguldak	46.9	30.3	55,836	32,84



ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Rukiye B.AYMAZ

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2015, Kırklareli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- Aralık 2021- Nisan 2022 Maltepe Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalıştı.
- Mayıs 2022'den itibaren Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği bölümünde araştırma görevlisi olarak çalışmaktadır.

TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- B.Aymaz R., Gümüş T.E., ve Yalçın M.A. 2022. Optimal Sizing And Allocation Of DGs In Distributions System By Using Heuristic Optimization Algorithm. *Conference: 4th International Conference on Applied Engineering and Natural Sciences, Konya,Turkey.*