

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU VE K-ORTALAMALARI
ALGORİTMALARIYLA GÜÇ DAĞITIM ŞEBEKELERİ BELİRSİZLİK
KOŞULLARINDA DAĞITIK ÜRETİMLERİN OPTİMAL YERLEŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Onur Hakkı EYÜBOĞLU

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

HAZİRAN 2021

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU VE K-ORTALAMALARI
ALGORİTMALARIYLA GÜÇ DAĞITIM ŞEBEKELERİ BELİRSİZLİK
KOŞULLARINDA DAĞITIK ÜRETİMLERİN OPTİMAL YERLEŞİMİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Onur Hakkı EYÜBOĞLU
(504191042)**

Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı

Elektrik Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ömer GÜL

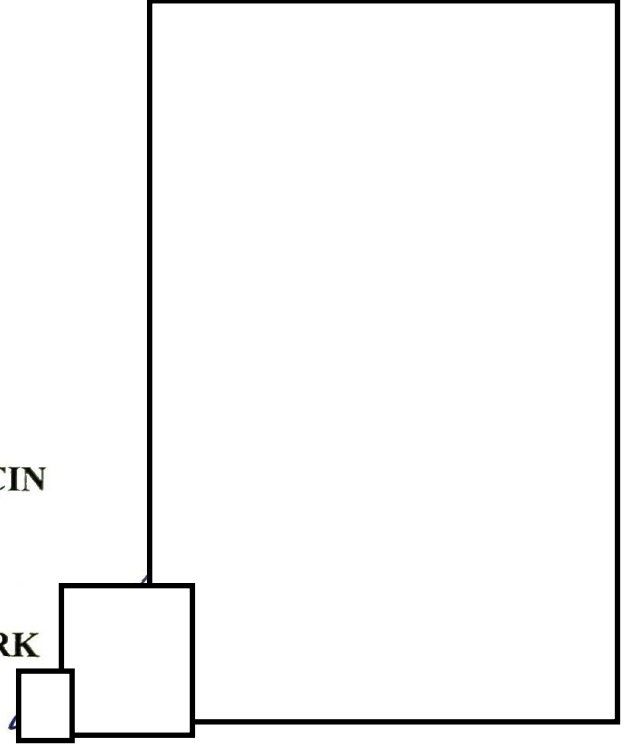
HAZİRAN 2021

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 504191042 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Onur Hakkı EYÜBOĞLU, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU VE K-ORTALAMALARI ALGORİTMALARIYLA GÜÇ DAĞITIM ŞEBEKELERİ BELİRSİZLİK KOŞULLARINDA DAĞITIK ÜRETİMLERİN OPTİMAL YERLEŞİMİ " başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Ömer GÜL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

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

Doç. Dr. Salih Barış ÖZTÜRK
İstanbul Teknik Üniversitesi



Teslim Tarihi : 18 Mayıs 2021
Savunma Tarihi : 8 Haziran 2021





Aileme,



ÖNSÖZ

Hem lisans hem yüksek lisans eğitimim boyunca kıymetli tecrübelerini bana aktaran, çalışmaya başladığımız günden beri beni fikirleriyle yönlendiren, gerektiğinde zorlayan gerektiğinde kolaylık sağlayan fakat her daim en iyiyi amaçlamaktan asla vazgeçmeyen ve en iyisi için çok çalışan, bununla birlikte bu tezin planlanmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda büyük katkısı bulunan çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Ömer GÜL'e,

Uzun bir süre benim evim, bundan daha uzun süre eğitim yuvam ve son zamanlarda ise iş yerim olan, tarifi mümkün olmayan hislerle bağlı hissettiğim İstanbul Teknik Üniversitesi'ne,

En iyisini yaşamadan en iyisini öğrenip sonrasında çocuklarına aktarmaya çalışan, yaşadıkları zorluklara rağmen çabalarından hiçbir şey eksilmeyen, sahip olduğum her şey için bıkmadan usanmadan çalışmış, her zorlukta yanımda olduklarını bildiğim, çok sevdiğim ve onlar tarafından sevildiğimi bildiğim annem Zeynep EYÜBOĞLU'na, babam Mehmet Hamdi EYÜBOĞLU'na ve kardeşim İbrahim Alp EYÜBOĞLU'na,

Ve daha iyi bir gelecek hayaliyle çalışıp çabalayan, tanıdığım ve tanımadığım tüm güzel insanlara en içten ve samimi duygularıyla teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2021

Onur Hakkı EYÜBOĞLU
(Elektrik Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xx
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Araştırması	4
1.3 Tezin Kapsamı.....	6
2. DAĞITIK ÜRETİM KAYNAKLARI.....	9
2.1 Dağıtık Üretimler Hakkında	9
2.2 Dağıtık Üretimlerin Faydaları	10
2.2.1 Çevresel Faydaları.....	10
2.2.2 Ekonomik Faydaları	11
2.2.3 Teknik Faydaları	12
2.2.3.1 Güç Kayıpları	12
2.2.3.2 Gerilim Profili	13
2.2.3.3 Hat Kapasiteleri.....	13
2.2.3.4 Şebeke Maliyetleri	14
2.3 Dağıtık Üretim Türleri	16
2.3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	16
2.3.1.1 Güneş	18
2.3.1.2 Rüzgâr	20
2.3.2 Yenilenebilir Olmayan Enerji Kaynakları	21
3. DAĞITIK ÜRETİMLERİN ŞEBEKEYE EKLENMESİ PROBLEMİ	23
3.1 Kullanılan Yöntemler	23
3.1.1 k-Ortalama Kümeleme (k-Means Clustering).....	23
3.1.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimazation)	26
3.1.2.1 Amaç fonksiyonları.....	27
3.1.2.2 Kısıtlar.....	27
3.2 Önerilen Algoritma	29
4. DAĞITIK ÜRETİMLERİN ŞEBEKEYE YERLEŞTİRİLMESİ.....	33
4.1 Temel Durum	34
4.2 Bir Adet DÜ Ekli Durum	35
4.3 İki Adet DÜ Ekli Durum	38
4.4 Üç Adet DÜ Ekli Durum.....	42
4.5 Dört Adet DÜ Ekli Durum	44

5. YENİLENEBİLİR KAYNAKLARIN SAATLİK ANALİZİ.....	49
5.1 Temel Durum.....	50
5.2 Sadece Yenilenebilir Enerji Kaynaklı DÜ'ler.....	52
5.2.1 Güneş kaynaklı DÜ'ler.....	52
5.2.2 Rüzgâr kaynaklı DÜ'ler.....	54
5.3 Yenilenebilir Enerji Kaynaklı DÜ'lerle Beraber Kompanzasyon Sistemleri...	55
5.3.1 Güneş kaynaklı DÜ'ler.....	55
5.3.2 Rüzgâr kaynaklı DÜ'ler.....	57
6. SONUÇLAR	60
KAYNAKLAR.....	67
EKLER.....	71
ÖZGEÇMİŞ.....	77



KISALTMALAR

AC	: Alternative Current (Alternatif Akım)
CIGRE	: Conseil International des Grands Réseaux Électriques (Uluslararası Büyük Güçlü Elektrik Sistemleri Konseyi)
DC	: Direct Current (Doğru Akım)
DÜ	: Dağıtık Üretim
EPDK	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu
LCOE	: Levelized Cost of Energy (Seviyelendirilmiş enerji maliyeti)
MILP	: Mixed-Integer Linear Programming (Karışık tamsayı lineer programlama)
MINLP	: Mixed-Integer Nonlinear Programming (Karışık tamsayı lineer olmayan programlama)
PSO	: Partical Swarm Optimization (Parçacık Sürüsü Optimizasyonu)
PV	: Photovoltaic (Fotovoltaik)



SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$: Celsius
FF	: Fill Factor (Doluluk arpanı)
g	: gram
I, I_{sc}, I_{mpp}	: Akım (Amper)
k	: Kilo (10^3)
K_v, K_i	: Gerilim/sıcaklık ve akım/sıcaklık katsayıları
Q	: Reaktif güç
M	: Mega (10^6)
N_{ot}	: Nominal işletme sıcaklığı
P	: Aktif güç
pf	: Power factor (Güç faktörü)
r	: Solar ışınımı (kW/m^2)
R	: Resistance (Direnç)
S	: Görünür güç
S_i	: Oluşturulan kümeler
T_a, T_c	: Temperature (Sıcaklık)
v, v_i, v_m	: Rüzgâr hızı
V, V_{oc}, V_{mppt}	: Gerilim (Volt)
VA	: Volt Amper
VA_r	: Volt Amper reaktif
W	: Watt (Aktif güç birimi)
μ	: Küme ortalamaları
\$/kW	: Kilowatt başına dolar maliyeti



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 : Dağıtık üretimlerin boyutlandırılması	9
Çizelge 2.2 : Kullanılan güneş modülü parametreleri	19
Çizelge 4.1 : DÜ'lerde kullanılan sınır değerlerinin özet hali	33
Çizelge 4.2 : Temel durumdaki güç akışı sonuçları	34
Çizelge 4.3 : Dağıtım şebekesine bir adet DÜ eklenmesi	35
Çizelge 4.4 : Dağıtım şebekesine iki adet DÜ eklenmesi.....	39
Çizelge 4.5 : Dağıtım şebekesine üç adet DÜ eklenmesi	42
Çizelge 4.6 : Dağıtım şebekesine dört adet DÜ eklenmesi	44
Çizelge 6.1 : Test sistemine eklenen DÜ'lerin değerlerinin özeti.....	60
Çizelge 6.2 : Eklenen DÜ'lerin şebekeye olan etkilerinin detayları	61
Çizelge 6.3 : PV ve rüzgar kaynaklı DÜ'lerin gerilimlerinin kıyaslanması	62
Çizelge 6.4 : PV ve rüzgar kaynaklı DÜ'lerin toplam güç kayıpların kıyaslanması .	63
Çizelge 6.5 : PV ve rüzgar kaynaklı DÜ'ler ile kompanzasyon sistemlerinin gerilimlerin kıyaslanması	64
Çizelge 6.6 : PV ve rüzgar kaynaklı DÜ'ler ile kompanzasyon sistemlerinin güç kayıpların kıyaslanması	64
Çizelge A. 1 : 2005-2016 yılları arasındaki saatlik güneş ışınımı ve sıcaklık ortalamaları ve standart sapmaları.....	72
Çizelge A. 2 : Tez çalışmasında kullanılan baz yüklenme değerleri.....	72
Çizelge A. 3 : Numaralarına göre analizlerin sınır değerlerinin detayı.....	72
Çizelge B. 1 : 7 Numaralı analizin güç akışı sonuçları.....	73
Çizelge B. 2 : 13 Numaralı analizin güç akışı sonuçları	73
Çizelge B. 3 : 22 Numaralı analizin güç akışı sonuçları	74
Çizelge B. 4 : 31 Numaralı analizin güç akışı sonuçları	75



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Merkezi ve dağıtık üretimin karşılaştırılması.....	2
Şekil 2.1 : 1970-2019 arası ülke başına karbon emisyonları.....	10
Şekil 2.2 : 1970-2019 arası sektör başına sera gazı emisyonları.....	11
Şekil 2.3 : Enerji kaynaklarına göre kurulum ve sabit bakım maliyet tahminleri ortalamaları	14
Şekil 2.4 : Enerji kaynaklarına göre işletme maliyetleri ve LCOE tahminleri ortalamaları	15
Şekil 2.5 : 2016-2019 kaynaklara göre Türkiye'nin kurulu gücü	16
Şekil 2.6 : 2016-2019 arası kaynaklara göre Türkiye'nin üretimi	17
Şekil 3.1 : 33 baralı test sistemine k-ortalama kümeleme algoritmasının uygulanması ve görselleştirilmesi	25
Şekil 3.2 : 33 baralı test sistemine uygulanan k- ortalama kümeleme algoritmasının veri kümesi	25
Şekil 3.3 : Önerilen algoritmanın akış diyagramı.....	29
Şekil 4.1 : 7 numaralı analizdeki DÜ'mün şebekeye yerleştirilmesi	36
Şekil 4.2 : 7 numaralı analizin bara genlik ve açıları	37
Şekil 4.3 : 7 numaralı analizin hat akımları ve kayıpları açısından temel durumla kıyaslanması.....	37
Şekil 4.4 : 7 numaralı analizin amaç fonksiyonunun iterasyona göre değişimi	38
Şekil 4.5 : 13 numaralı analizdeki DÜ'mün şebekeye yerleştirilmesi	40
Şekil 4.6 : 13 numaralı analizin bara genlik ve açıları	40
Şekil 4.7 : 13 numaralı analizin hat akımları ve kayıpları açısından temel durumla kıyaslanması	41
Şekil 4.8 : 22 numaralı analizdeki DÜ'mün şebekeye yerleştirilmesi	43
Şekil 4.9 : 22 numaralı analizin bara genlik ve açıları	43
Şekil 4.10 : 22 numaralı analizin hat akımları ve kayıpları açısından temel durumla kıyaslanması	44
Şekil 4.11 : 31 numaralı analizdeki DÜ'mün şebekeye yerleştirilmesi	45
Şekil 4.12 : 31 numaralı analizin bara genlik ve açıları	46
Şekil 4.13 : 31 numaralı analizin hat akımları ve kayıpları açısından temel durumla kıyaslanması	46
Şekil 5.1 : Baz ve baralardaki saatlik yük profili.....	50
Şekil 5.2 : Temel durumdaki tüm baraların gerilimlerin dağılımı.....	51
Şekil 5.3 : Temel durumdaki tüm toplam şebeke kayıplarının dağılımı	51
Şekil 5.4 : PV kaynaklı DÜ ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı	52
Şekil 5.5 : PV kaynaklı DÜ ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı	53
Şekil 5.6 : Rüzgar kaynaklı DÜ ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı	54
Şekil 5.7 : Rüzgar kaynaklı DÜ ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı	55
Şekil 5.8 : PV kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı	56

Şekil 5.9 : PV kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı	56
Şekil 5.10 : Rüzgar kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı.....	57
Şekil 5.11 : Rüzgar kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı	58





PARÇACIK SÜRÜSÜ OPTİMİZASYONU VE K-ORTALAMALARI ALGORİTMALARIYLA GÜÇ DAĞITIM ŞEBEKELERİ BELİRSİZLİK KOŞULLARINDA DAĞITIK ÜRETİMLERİN OPTİMAL YERLEŞİMİ

ÖZET

Artan talep ve sera gazı emisyonları göz önünde bulundurulduğunda daha temiz ve yaşanabilir bir gelecek için her alanda olduğu gibi güç sistemleri alanında da gerekli yatırımların gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu yatırımları gerçekleştirirken mevcut şebekenin ihtiyaçlarının göz önünde bulundurulması ve olası durumlara uygun modellerle incelenmesi gerekmektedir. Bu doğrultuda dağıtık üretim birimlerinin en uygun şekilde boyutlandırılması ve şebekeye yerleştirilmesi problemi incelenmiştir. Devamında ise dağıtık üretim birimi olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye yerleştirildiği kabul edilmiş ve karakteristiklerine göre saatlik şebeke analizi gerçekleştirilmiştir.

Dağıtık üretimlerin en uygun şekilde boyutlandırılması ve şebekeye yerleştirilmesinin uygun yapılmaması durumunda şebekeye sağlayacağı katkılardan daha çok yüksek kısa devre akımları, gerilim sınırlarının aşımı gibi zararları olabilmektedir. Problemin incelenmesinde parçacık arama algoritmasıyla (Particle Swarm Optimization PSO) beraber k-Ortalama Kümeleme (k-Means Clustering) yöntemlerinden oluşan hibrit bir yöntem önerilmektedir. Önerilen bu yöntem baraları kümeleyerek uygun kümenin seçimine dayanmaktadır. Böylelikle optimizasyon algoritması için arama kümesinin de küçültülmesini sağlamaktadır. Bara sayısının fazla olduğu sistemlerde arama uzayını küçülttüğü için oldukça değerli bir avantaj sağlayacağı öngörülmektedir.

Tez çalışmasında dağıtık üretimler şebekeye yerleştirilirken literatürdeki diğer çalışmalardan farklı olarak çeşitli birçok durum analiz edilerek kıyaslanmıştır. Uygulanan durumlarda dört adete kadar dağıtık üretim biriminin yerleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte, farklı sayıda dağıtık üretim içeren dağıtık üretim grupları ve dağıtık üretimin farklı üretim kapasiteleri dikkate alınarak detaylı analizler yapılmıştır. Yapılan analizler, dağıtık üretim sayısı, büyüklüğü ve sınırlarının en iyi işletme şartlarının (gerilim düşümü, hat akımları ve kayıpları) belirlenmesinde etkili olduğunu göstermektedir.

36 adet farklı durum göz önünde bulundurularak yapılan yerleştirmeler sonucunda her dağıtık üretim sayısı için en iyi sonuçlar detaylı bir şekilde incelenmiştir. Yapılan incelemede durumlar toplam güç kayıpları, bara genlikleri ve hat akımları üzerinden kıyaslanmıştır. Sonrasında ise elde edilen en iyi sonuçlar yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilerek incelenmiştir. Karakteristikleri gereği üretimleri belirsiz ve değişken olan yenilenebilir enerji kaynakları uygun modellerle oluşturulup şebekeye etkileri saatlik olarak analiz edilmiştir. Ayrıca yük tarafında da baralardaki yüklerde baz alınan yük profiline göre saatlik olarak $\pm 10\%$ 'luk değişimlerle rastgele belirlenmiştir. Böylelikle hem yük hem de üretim tarafında, rastgele model ve karakteristiklerle belirsizlik elde edilmiştir.

Saatlik analizlerde yenilenebilir enerji kaynağı olarak rüzgâr ve güneş kullanılmıştır. Dağıtık üretim kaynaklarının reaktif enerji sağlama yükümlülükleri bulunmadığından, sadece aktif güç sağladıkları kabul edilmiştir. Abonelerin elektrik dağıtım şirketlerine, elektrik dağıtım şirketlerinin de iletim şirketlerine karşı reaktif enerji sorumluluğu bulunduğundan, reaktif enerji kompanzasyonunun etkisi de analizlere dahil edilmiştir. Gerilim ve güç kayıplarının dağılımlarına göre elde edilen sonuçlar incelenmiştir. 0,9 pu sınır değerine göre baralardaki gerilim aşımaları kontrol edilmiştir.

Tez çalışması Python yazılım dili üzerinden 33 baralı test sistemine uygulanmıştır. Çalışmada sunulan algoritmaların hem en iyileme hem de kümeleme oluşturulması, güç akışı analizinin grafiklerinin oluşturulması, tek hat şemasının ve grafiklerinin oluşturulması, saatlik analizlerdeki gerilim ve güç kayıplarının grafiklerinin oluşturulması, çalışmada kullanılan verilerin çalışma sayfası olarak dışarı aktarılması ve daha fazlası yazar tarafından yazılan Python kodları ile gerçekleştirilmiştir.





OPTIMAL PLACEMENT OF DISTRIBUTED GENERATION IN POWER DISTRIBUTION NETWORKS UNDER UNCERTAINTIES USING PARTICLE SWARM OPTIMIZATION AND K-MEANS ALGORITHMS

SUMMARY

Nowadays, climate change is increasingly becoming a vital issue and fighting against it can be ensured by reducing fossil oils and carbon emissions in area of power systems. Increasing efficiency of power production, encouraging the usage of renewable sources and decreasing power losses are the fundamental options for fighting against climate change. Therefore, installing distributed generation (DG) units has received much attention in the past decade due to the developing technology and DGs great benefits. The most specific feature of DGs is the capability of locating near load-side thereby, DGs are significantly capable of reducing the transmission losses. Moreover, renewable DGs (wind, photovoltaic etc.) are society's best option to stop climate change immediately for cleaner future.

The principal impacts of DGs penetration to distribution networks are improving voltage regulation, improving voltage stability, increasing reliability and reducing the system losses. According to these impacts, both power quality and system operators' profits will have increase. However, inappropriate placing and inefficient sizing of these assets have several critical consequences such as increased system operation cost, high short-circuit currents etc. Therefore, appropriate placing and sizing of DGs under the operational constraints is attracting considerable interest due to both improving network performance and increasing system operators' profits while avoiding its possible drawbacks.

Optimal allocation of DGs is an optimization problem that objective is achieved by minimizing real and reactive power losses, node voltage deviation, carbon emission or maximizing the network reliability etc. Even though objective of the problem is important for comparing the results of the studies, problems have always their constraints depending on their physical limitations. Constraints are crucial in the field of implementing model to real life, yet additional constraints increase computational process and it might end up with infeasible solutions. Bus voltages, power balances and production capacities are constraints implemented in this study.

The aim of our study was to extend current knowledge of reducing the network losses and improving voltage regulation by a novel algorithm. Therewithal, providing a suitable model to analyze impacts of DGs including uncertainties with multiple scenarios in distribution networks are also main concern of this study.

Uncertainty is fundamental characteristic in the real-life systems also, it is the main difficulty faced while modeling the networks. In order to include uncertainties, different types of DGs performance are considered hourly basis. DG types are divided into two groups as renewable and non-renewable sources. Also, renewables sources

are divided into subgroups as wind and solar plants due to the different characteristic of the renewable sources. To sum up, three DG types are taken into account which are wind, photovoltaic and non-renewable sources.

Additionally, hourly production data is received from the real-world plants depending on the evaluated DG sizing and type. Uncertainties similarly production of renewable DGs are also considered at load side. Further, uncertainties at load side are also considered similarly. In this context, feeder loads of both real and reactive powers are randomly varied at range 10%.

In order to analyze network line flows, bus voltages and power losses including variations of network supply and demand, hourly power flow analyses are performed. A linear power flow algorithm was chosen in order to perform power flow analyses because of better time complexity. Further, linear power flow results are very accurate when it is compared with Forward- Backward Sweep power flow method.

In summary, optimal placing of DGs are allocated with novel algorithm additionally hourly performance of the network is analyzed depending on different DG types and configurations and including uncertainties in the distribution networks.

Several methods have recently been proposed which they are mostly meta-heuristic algorithms. Studies generally differs from each other according to their algorithm used, required computation time and effectiveness or success of algorithm to achieve objectives. Different than other studies in the literature, a novel algorithm is proposed for both more robust placing of the DGs and requiring less computation time.

Proposed algorithm is combination of K-means clustering and Particle Swarm Optimization (PSO) algorithms. K-means clustering one of the most used clustering algorithms is described as an unsupervised learning method which aims for dividing dataset into k clusters. We chose this particular method on account of the fact that its easy implementation and effective results. Clustering algorithm objective is maximizing the similarities in each cluster and minimizing the similarities between clusters. It achieves to its objective by minimizing the distances between data in each cluster. Other method that used in this study is PSO which is population-based meta-heuristic optimization technique. In PSO, initial conditions of population are randomly determined, and optimal solution is updated by each generation.

Proposed algorithm divides network into several pieces by K-mean clustering thereafter starts to detect the most proper placement with PSO for DGs depending on the decided objective of the problem. Voltage magnitude and angle data obtained by initial power flow results are used for clustering. Regardless from the distribution network size, buses can be clustered into 3 different clusters. Voltage magnitudes and angles in each cluster are relatively close to each other. Therefore, connectivity between buses will not be interrupted inside of clusters. Connection of the buses are not interrupted at any of clusters due to the voltage data at each bus has to be near points at that cluster. However, it should be noted that connectivity between buses at same cluster might fail if number of clusters are increased too much.

After the clustering of network is completed, DGs are allocated to selected cluster depending on DG types with PSO. Selecting one of the clusters lowers the possible placing of the DGs thereby reducing required number of iterations. For this reason,

preprocessing of data decreases computational time significantly, yet does not decrease efficiency of the algorithm. Finally, proposed algorithm is repeated as much as number of the DGs while considering DG type and generation constraints.

There is a vast amount of literature on different optimization algorithms implemented for allocation of DGs. Despite this interest, problem has not yet been analyzed enough with various scenarios whether distribution networks are capable to accomplish future needs. Therefore, optimal allocation and sizing of DGs up to four units is considered depending on the different DG types in this study. Type of DGs is crucial depending on its real and reactive generation capacity.

Different than other studies in the literature, a novel algorithm is proposed for more robust placing of the DGs. Despite this valuable interest on this subject, problem has not yet been analyzed enough with various scenarios whether distribution networks are capable to accomplish future needs. Therefore, optimal allocation and sizing of DGs is considered up to four units in this study. Different DG types are included with different DG real and reactive generation capacities. Allocated DGs are analyzed regarding their performance on voltage profile, power losses and line currents for both instant and hourly performances. Hourly performances of the networks are examined applying uncertainties of both generation and loads sides. Uncertainty of production side is implemented using wind speed and solar radiation probability density function at each DG. Proposed algorithm is implemented to radial 33 bus test feeder using programming language Python. Results are compared with each other on subjects of improving voltages, reducing the system losses and line currents.



1. GİRİŞ

Günümüzde yaygınlaşan teknoloji ve artan endüstriyel tesisler enerji tüketimini oldukça arttırmıştır. Artan endüstriyel tesisler ve yatırımlar göz önüne alındığında yakın gelecekte tüketiminizin daha da artacağı ön görülmektedir (Strasser et al., 2015). Dünya genelinde artan tüketimle beraber küresel ısınma gibi ciddi sonuçları olan problemler ortaya çıkmaktadır.

Küresel ısınmanın sonuçlarının yakın geçmişimizdeki gelişmeler dikkatte alındığında sürpriz olmadığı açıktır. Artan sera gazı emisyonları, iklim değişikliği, kuraklık gibi uzun zamandır görmezden geldiğimiz problemlerle artık yüzleşmemiz gerekmektedir. Artan tüketim ve kirlilik beraber düşünüldüğünde problemleri ortak payda da çözebileceğimiz çözümlere yönelmemiz gerektiği apaçıktır.

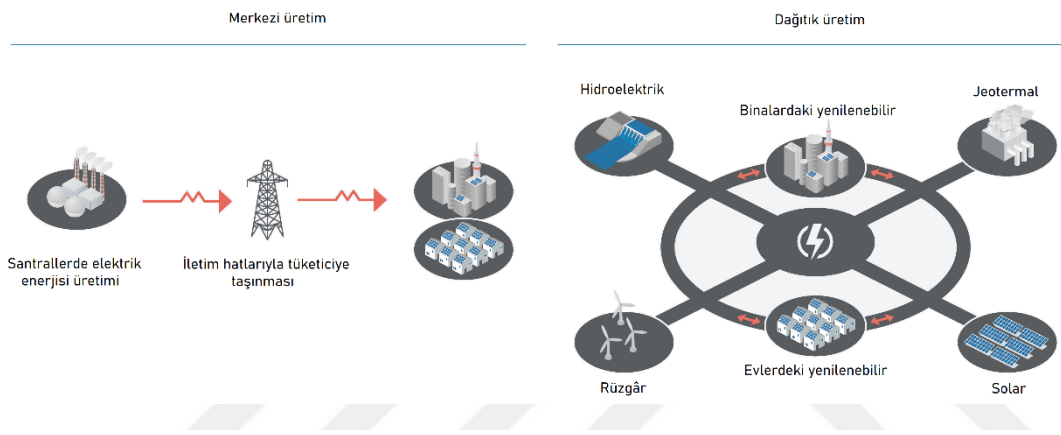
Artan talebin karşılanabilmesi yeni santral yatırımlarının gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Bu santrallerin maliyetleri göz önüne alındığında üretimin gerçekleştirilmesi için belli başlı yatırımların yapılması gerektiği ortadadır. Bununla birlikte fosil yakıtların kullanımının azaltılması için yapılması gereken santral türleri hakkında bizlere bir fikir vermektedir. Azalan yakıt miktarları artan yakıt maliyetlerini beraberinde getirecektir. Bu durum gelişen teknolojiyle beraber göz önüne alındığında kullanılması ve tercih edilmesi gereken enerji türü apaçık ortadadır.

Endüstrinin temelini oluşturan enerji tüketimi göz önünde bulundurulduğunda güç sistemleri alanında yenilikçi, geleceğe uygun ve temiz enerjilerin tercih edilmesi gerekmektedir. Bu enerji kaynaklarından genel olarak yenilenebilir enerji kaynakları olarak söz edilmektedir. Dünyanın kendi öz kaynaklarını kullanarak enerji üreten yenilenebilir enerji kaynakları tükenmekte olan fosil yakıtların yerini alırken, çevreye daha duyarlı temiz enerji üretilmesi konusunda da fayda sağlamaktadır.

Gün geçtikçe gelişen teknolojik imkânlar, kontrol sistemleri ve batarya sistemleri sayesinde yenilenebilir enerji teknolojileri enerji üretimimizde daha da büyük bir yer tutmaya başlamaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının ülkemizde ve dünyadaki artışı hem kurulu güç artışıyla yapılan yatırımlardan hem de şebeke verdikleri enerji

miktarlarından görülebilmektedir (Marco Liserre, Thilo Sauter, 2010). Hala daha ekonomik ömürleriyle alakalı endişeler söz konusu olsa da yaygınlaşan teknolojiyle beraber azalmaya devam eden maliyetleri sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları üretimde kaçınılmaz olarak tercih edilmesi gereken kaynaklardır.

Elektrik enerjisi üretimi genellikle tüketim bölgelerinden uzakta gerçekleşir ve tüketim bölgelerine iletim şebekeleri aracılığıyla getirilir. Bahsedilen üretim biçimi merkezi üretdir. Dağıtık üretimdeyse enerjinin tüketildiği bölgelerde üretimi gerçekleştirir. Şekil 1.1’de üretim biçimlerinin kıyaslaması (*What Is Distributed Generation? | U.S. Embassy & Consulates in South Africa*, n.d.) görselleştirilmiştir.



Şekil 1.1 : Merkezi ve dağıtık üretimin karşılaştırılması.

Şekil 1.1’de görüldüğü gibi merkezi ve dağıtık üretim arasındaki temel fark elektrik enerjisinin üretildiği yerde kullanılması veya kullanılmamasıdır. Dağıtık üretimle beraber iletimde gerçekleşen kayıplar azalacaktır. Ülkemizde üretilen enerjinin yaklaşık olarak %2’si iletim kayıplarına gitmektedir (EPDK, 2016, 2017, 2018, 2019). Bu durum göz önüne alındığında bu kayıpların azaltılması ülke ekonomisine de katkı sağlayacaktır. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması halinde sera gazı salınımlarının veya kirliliğin azaltılması gibi çevresel faydalarda sağlamaktadır. Ayrıca büyük yer kaplayan santrallerin yerleri farklı şekillerde değerlendirilebilir.

Bunların dışında şebekenin ihtiyaçlarının da gelecekte karşılaşılabileceğimiz problemlerle beraber değerlendirilmesi gerekmektedir. Artan tüketim göz önüne alındığında iletim şebekesinde bu artışları karşılayabilecek bir şekilde geliştirilmesi gerekmektedir. Bunun için gerekli yatırımlar gerçekleştirilmelidir. Ayrıca sadece iletim şebekesinde değil, dağıtım şebekesinde de benzer problemler yaşanacaktır.

Önemli olan bu yatırımların ötelenerek doğru planlamalarla yaşanabilecek maliyet problemlerinin önüne geçilmesi gerekmektedir.

Ayrıca akıllı şebekeler terimi altında mikro şebekeler yaygınlaşmaktadır. Ana şebekeden izole bir şekilde de çalışabilen bu şebekelerle yüksek güvenilirlik ve verim gibi avantajlar sağlanabilmektedir. Fakat bu uygulamalara kademeli olarak geçilmesi yatırım açısından mantıklı olmaktadır.

Bunlar gibi birçok nedenden dolayı dağıtık üretimlerin gelecekte dağıtım şebekesinde sıklıkla görüleceği öngörülmektedir. Dağıtık üretim birimlerinin şebekeye yerleştirilmesi, şebekeye olan etkileri açısından incelenmesi gereken önemli bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır. Kaçınılmaz olarak kullanılması beklenen dağıtık üretimlerin şebekeye entegrasyonunun incelenmesi olası etkilerinin araştırılması gereken oldukça önemli bir problemdir. Dağıtık üretimlerin şebekeye olan etkileri incelenirken kaynak türleri olarak yenilenebilir enerji kaynakları da göz önünde bulundurulmalıdır.

1.1 Tezin Amacı

Dağıtık üretimlerin yakın gelecekte elektrik şebekesinde daha sık tercih edilecek üretim biçimi oldukları aşikârdır. Dağıtım seviyesinden şebekeye bağlanacak bu elemanların boyutlandırılmalarının ve yerleştirilmelerinin doğru bir şekilde yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde bu elemanlar dağıtım şebekesine getireceği faydalardan daha çok zararlar söz konusu olur. Bu zararların en başında yapılan yatırımların karşılıksız kalması gelmektedir.

Bununla birlikte gerçekleştirilecek yatırımlar gelecekte karşılaşacağımız küresel problemler göz önünde bulundurularak gerçekleştirilmesi dünya vatandaşı olarak her birimizin sorumluluğudur. Bu açıdan yapılması gereken dağıtık üretimin enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji teknolojilerin tercih edilmesi olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları yapıları gereği üretimleri hem sürekli değildir hem de belirsizdir. Bu nedenle bu elemanların şebekeye etkilerinin incelenmesi gerekmektedir.

Geleceğe atacağımız adımların önceden düşünülmesi, planlanması ve gerekli çalışmaların yapılması her alanda olduğu gibi elektrik dağıtım sistemlerinde de gereklidir. Bu nedenle dağıtık üretim birimlerinin dağıtım şebekesine entegrasyonu kapsamında bu elemanların boyutlandırılması ve yerleştirilmesi oldukça büyük bir

önem taşımaktadır. Buna ek olarak eklenecek birimlerin yenilenebilir enerji kaynakları temelli olması ve dağıtık üretimlerin şebekeye olan etkilerin analiz edilmesi oldukça önemlidir. Bu tez çalışmasında tüm bunların incelenmesi ve gelecekteki dağıtım şebekelerinin dağıtık üretilere hazırlanmasına yönelik adımların atılması amaçlanmaktadır.

1.2 Literatür Araştırması

Günümüzde iklim değişikliği giderek büyüyen bir problem haline gelmektedir. Fosil yakıtların tüketiminin ve karbon emisyonlarının azaltılması iklim değişikliğine karşı savaşmak için güç sistemlerinde yapabileceğimiz eylemlerdendir. Bununla birlikte üretimin verimliliğinin artırılması, yenilenebilir enerji teknolojilerinin teşvik edilmesi ve güç kayıplarının azaltılması iklim değişikliğini durdurmak için yapılabilecek eylemlerin başında gelir. Yapılan bir çalışmada dağıtık üretimlerin şebekeye eklenmesiyle karbon emisyonlarının Birleşik Krallıkta %41 azaltılabileceği raporlanmıştır (Prakash & Khatod, 2016). Sonuç olarak şebekeye yerleştirilecek dağıtık üretimler, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklı olanlarının, gelişen teknoloji ve şebekeye sağladığı katkılar nedeniyle oldukça dikkat çekmiştir. Dağıtık üretimlerin tüketimin gerçekleştiği yerlerin yakınlarında bulunması sayesinde şebekedeki iletim kayıplarının ciddi şekilde azaltılması sağlanmaktadır. EPDK'nın 2019 yılı Sektör raporuna göre iletim hatlarında %2,15 kayıp gerçekleşmiştir (EPDK, 2019). Dağıtık üretimler sayesinde iletim kayıplarının oluşturduğu bu büyük maliyetlerin giderilmesi mümkündür.

Bununla birlikte dağıtık üretimlerin dağıtım şebekesine eklenmesinin gerilim regülasyonunu iyileştirici, gerilim düzenliliğini artırıcı, şebeke güvenilirliğini artırıcı, sistem kayıplarını azaltıcı ve hat kapasitelerini artırıcı etkileri bulunmaktadır (Abu-Mouti & El-Hawary, 2011; Hung & Mithulananthan, 2013; Pereira et al., 2016). Temel olarak dağıtık üretimlerin şebekeye eklenmesiyle elektrik güç kalitesinin artırılması ve sistem işletmecilerinin (hem dağıtım hem iletim) karlılığının artırılması sağlanmaktadır. Buna ek olarak üretimin azaltılmasıyla karbon emisyonlarının azaltılmasına katkı sağladığı gibi, yenilenebilir (güneş, rüzgâr vs.) dağıtık üretimlerle temiz enerji elde edilmesini sağlayabilmektedirler. Bu kapsamda yenilenebilir dağıtık üretimlerin şebekeye yerleştirilmesi, giderek büyüyen iklim değişikliği krizini durdurabilmek adına dünyamızın en iyi seçeneğidir.

Tüm bunlara rağmen dağıtık üretimlerin yetersiz boyutlarla şebekenin uygun olmayan yerlerine yerleştirilmesinin sistem işletme maliyetlerini arttırması, yüksek kısa devre akımları vs. gibi kritik sonuçları vardır (El-Khattam & Salama, 2004; Pepermans et al., 2005). Bu nedenle sınır değerler altında dağıtık üretimlerin uygun boyutlarla şebeke de doğru yerlere yerleştirilmesi, olası olumsuz etkilerinin azaltılarak hem şebeke performansının hem de işletme karlılığının arttırılması oldukça önemli bir konudur.

Dağıtık üretimlerin dağıtım şebekesine yerleştirilmesiyle alakalı çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar kullanılan yöntemler, amaç fonksiyonları, kısıtlar, çalışmaların tamamlanma süresi gibi farklı özelliklere göre birbirlerinden ayrılmaktadır.

Dağıtık üretim birimlerinin en uygun şekilde boyutlandırılması ve şebekeye yerleştirilmesi konusunda farklı yöntemlerle uygulanan çalışmalara örnek vermek gerekirse; bunların çoğunluğu meta sezgisel algoritmalarından oluşan karınca aslan (ant lion) (Liu et al., 2019), yapay arı kolonisi (artificial bee colony) (Abu-Mouti & El-Hawary, 2011), karga arama (crow search algorithm) (Sannigrahi & Acharjee, 2018), genetik (genetic algorithm) (Saini & Gidwani, 2020), gri kurt (grey wolf algorithm) (El-Ela et al., 2019), harmoni arama (harmony search algorithm) (Sirat et al., 2019), tabu arama (tabu search) (Pereira et al., 2016), balina (whale optimization algorithm) (Niveditha & Sujatha, 2018) ve parçacık sürüsünün (particle swarm optimization) çeşitli varyasyonlarıdır (Sarfaraz et al., 2016) (Ghatak & Acharjee, 2016) (Maruthi Prasanna et al., 2014).

Bunlarla birlikte deterministik algoritmalarla gerçekleştirilmiş çalışmalarda bulunmaktadır. Örneğin analitik (Rath et al., 2017), verimli analitik yöntem (efficient analytical method) (Mahmoud et al., 2016), MILP (Abdulgalil et al., 2018) ve MINPL (Angarita et al., 2016).

Ayrıca çalışmalarda çeşitli amaç fonksiyonları kullanılabilir. Bunlar genellikle şebekedeki toplam kayıpların azaltılması, gerilim profilinin düzeltilmesi, karbon emisyonlarının azaltılması vs. olabilmektedir. Bunlardan en sık kullanılanının kayıplarının azaltılması olduğu vurgulanmalıdır. Bununla birlikte çalışmalarda çok fonksiyonlu amaç fonksiyonları kullanılabilir (Maruthi Prasanna et al., 2014). Birden fazla amacın belirlenen ağırlık değerleriyle ulaşılmaya çalışılır.

Bununla birlikte dağıtım şebekelerine sadece bir adet dağıtık üretimin eklenmesi gelecek elektrik şebekelerinin modellenmesinde yetersiz olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle sadece tek bir dağıtık üretimin değil de birden fazla dağıtık üretimin şebekeye yerleştirildiği çalışmalarda bulunmaktadır (Chen & Cao, 2015) (Hung & Mithulananthan, 2013).

Ayrıca farklı özelliklere dolayısıyla üretim kısıtlarına sahip dağıtık üretimlerin kullanılması gerekmektedir. Bu kapsamda farklı dağıtık üretim türleriyle senaryolar oluşturulmuş ve dağıtım şebekeleri incelendiğin çalışmalarda bulunmaktadır (Jagtap & Khatod, 2016).

Tüm bunlarla birlikte gelecek dağıtık üretimleri göz önüne alındığında bunların çoğunlukla yenilenebilir enerji teknolojileri kaynaklığı olacağı tahmin edilmektedir. Bu kapsamda yapılan yerleşimlerde bu elemanların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Fakat yapıları gereği üretim eğrileri dağınık olarak gerçekleşmektedir. Dolayısıyla üretimdeki bu rastlantısallığın dağıtım şebekelerine olan etkisi ayrıca incelenmelidir. Üretimdeki rastlantısallıkla beraber yük tarafının da sabit olmadığı ve gün içerisinde değişikliğe uğradığı açıktır.

1.3 Tezin Kapsamı

Literatürde bahsedilen çalışmalar ışığında hazırlanan tez çalışmasında önerilen hibrit algoritmayla dağıtık üretimlerin en uygun şekilde boyutlandırılması ve dağıtım şebekesine yerleştirilmesi hedeflenmektedir. Bir adet yerine dört adette kadar dağıtık üretimlerin yerleştirilmesi gerçekleştirilecektir. Bununla birlikte dağıtık üretimlerin birbirinden farklı üretim sınırlarıyla boyutlandırılmaları ve yerleştirilmeleri sağlanacaktır. Böylelikle şebekede farklı durumlar karşısında uygulanabilecek en uygun yapının bulunabilmesi hedeflenmektedir. Uygulanan durumlar gerilim profilleri, hat akımları ve kayıplar açısından birbirleriyle kıyaslanacaktır. Fakat nihai karar kayıplara göre seçilecektir. Dağıtık üretimlerin sayısına göre en iyi durumlar seçilecektir. Elde edilen en iyi durumlara göre dağıtık üretimler yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilip şebekenin saatlik analizi gerçekleştirilecektir. Bu amaçla dağıtık üretimlerin tamamının hem güneş hem de rüzgâr enerjisindeki belirsizlikler göz önünde bulundurularak şebekenin yük tarafındaki rastlantısal karakterle analizi yapılacaktır. Elde edilen sonuçlar sistemin güç kayıplarına, gerilim profilinin uygunluğuna ve hatlardan akan akımların değişimlerine göre değerlendirilecektir.

Bahsedilen kapsam 33 Baralı test sistemine uygulanacaktır. Tez içinde gerçekleştirilen analizlerin tamamı ve elde edilen çıktılar Python yazılım dili üzerinden elde edilmiştir.





2. DAĞITIK ÜRETİM KAYNAKLARI

2.1 Dağıtık Üretimler Hakkında

Kavram olarak literatürde yeni olmasa da dağıtık üretim, artan tüketim ve gelişen teknolojiyle beraber sıklıkla söz edilen bir kavram olmuştur. Dağıtık üretim (distributed generation), dağıtık üretim (dispersed generation), merkez dışı üretim (decentralized generation), dağıtık enerji kaynakları (distributed energy resources), dağıtık güç üretimi (distributed power generation) vb. birçok tanım kullanılmasına rağmen tez çalışması boyunca nispeten daha fazla kullanılan dağıtık üretim (DÜ) kavramı kullanılacaktır (El-Khattam & Salama, 2004).

DÜ'lerin sözlük tanımlamaları da genel hatlarıyla benzerlik gösterse de birbirlerinden farklıdır. DÜ'ler genellikle iletim şebekesini kullanmadan dağıtım şebekesine bağlı üretim elemanları olarak tanımlanmaktadır (Prakash & Khatod, 2016). Bununla beraber CIGRE'nin tanımlamasına göre maksimum kapasitesi birkaç kW'tan 100 MW'ta kadar olabilen genellikle dağıtımın gerçekleştiği gerilim seviyesinden şebekeye merkezi veya dağıtık olarak bağlanmış üretim birimleri olarak tanımlanmışlardır (Pepermans et al., 2005).

DÜ'lerin üretim kapasiteleriyle alakalı tanımsal bir bütünlük olmamasına rağmen çoğunlukla Çizelge 2.1'de verilen üretim kapasite değerleri sınıflandırmalarında kullanılmaktadır (Pepermans et al., 2005; Prakash & Khatod, 2016).

Çizelge 2.1 : Dağıtık üretimlerin boyutlandırılması.

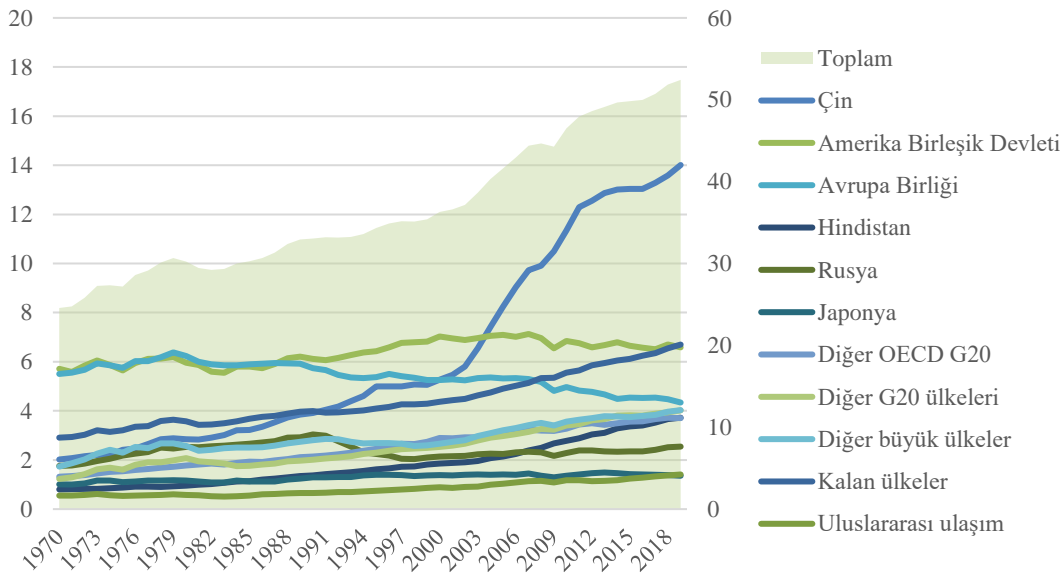
Sınıflandırması	Boyutlandırması
Mikro DÜ	<5 kW
Küçük DÜ	5 kW <5 MW
Orta DÜ	5 MW <50 MW
Büyük DÜ	50 MW <300 MW

2.2 Dağıtık Üretimlerin Faydaları

Dağıtım gerilim seviyesinden şebekeye bağlanabilen DÜ'ler şebekeye birçok fayda sağlamaktadır. Bunlar çevresel, ekonomik ve teknik etkiler olmak üzere üç grupta incelenmektedir.

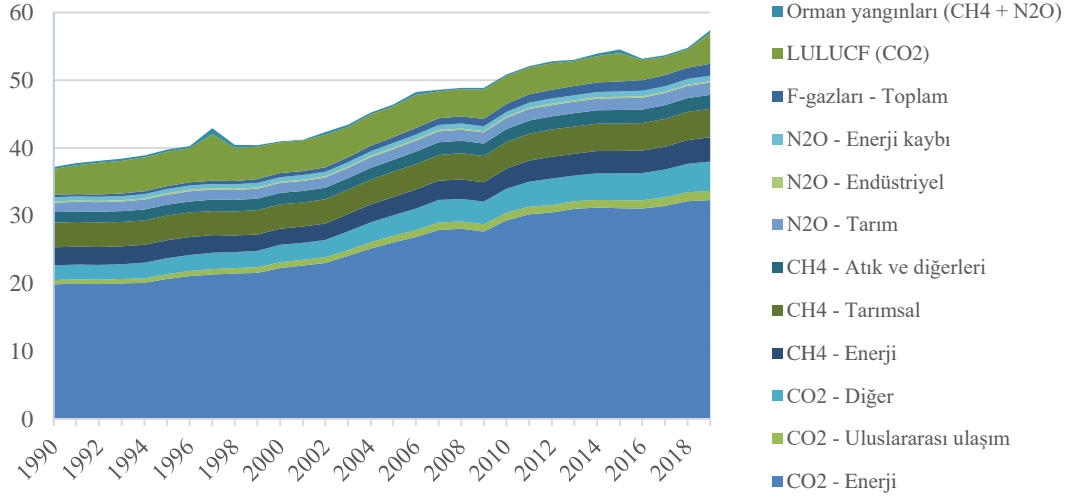
2.2.1 Çevresel Faydaları

Küresel ısınma, dünyamız ve geleceğimiz açısından karşı karşıya kaldığımız en büyük tehditlerden bir tanesidir. Artan sera gazı emisyonları, kirlilik ve tüketim alışkanlıkları göz önüne alındığında yaşanılabilir bir gelecek için önlemlerin alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Şekil 2.1'de 1970-2019 tarihleri arasında karbon emisyonlarının toplam ve ülkelere göre dağılımı 10^{12} kg mertebesinde gösterilmiştir (Olivier & J.A.H.W, 2020).



Şekil 2.1 : 1970-2019 arası ülke başına karbon emisyonları.

Veriler incelendiğinde dünya toplamında giderek artan karbon emisyonları dikkat çekmektedir. Bunun dışında göze çarpan unsurlardan bir tanesi de Avrupa Birliği ülkeleri ve son zamanlar için Amerika Birleşik Devleti haricinde tüm ülkelerde karbon emisyonları artmaktadır. Özellikle Çin'deki karbon emisyonları son zamanlarda yaptıkları yenilenebilir enerji yatırımlarına rağmen korkutucu seviyelerdedir. Şekil 2.2'de aynı zaman aralığı için sektör bazında üretilen sera gazları gösterilmiştir (Olivier & J.A.H.W, 2020).



Şekil 2.2 : 1970-2019 arası sektör başına sera gazı emisyonları.

Şekil incelendiğinde açıkça görülmektedir ki enerji sektörü sera gazı emisyonlarının büyük çoğunluğunu oluşturmaktadır ve son zamanlarda giderek daha fazla artmaktadır. Bahsedilen tüm bu nedenlerden dolayı, geleceğe en az bizim yaşadığımız kadar temiz bir dünya bırakabilmek için bir an önce yenilenebilir enerji, elektrikli araçlar gibi teknolojilerin kullanımının artırılması ve karbon tüketimini azaltmak için aksiyonların uygulanması gerekmektedir. Ayrıca birçok araştırmacı DÜ'lerin büyük enerji santralleri yerine tercih edilmesinin karbon emisyonlarını azaltacağını iddia etmiştir. Bununla birlikte yapılan analizlerle DÜ'lerin karbon emisyonlarını Britanya'da %41, Danimarka'da %30 azaltacağı doğrulanmıştır (Prakash & Khatod, 2016). Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklı DÜ'lerin kullanılması sera gazı emisyonlarının azaltılmasında oldukça büyük katkı sağlayacaktır.

2.2.2 Ekonomik Faydaları

DÜ'lerin doğrudan ve dolaylı olarak ekonomiye katkıları aşağıda verilmiştir.

- Artan tüketim talebini karşılayabilmek için yapılması gereken yatırımların ertelenmesi,
- DÜ teknolojilerinin azaltılmış işletme ve bakım maliyetleri,
- Kayıpların azaltılmasıyla beraber artırılan enerji verimliliği,
- Yakıt giderlerinin azaltılması,
- Üretilen temiz enerjiyle birlikte azalan çevre ve sağlık yatırımları,
- Rezerv gereksinimleri ve ek masrafların azaltılması,

gibi ekonomik yönden katkıları mevcuttur (Prakash & Khatod, 2016; Viral & Khatod, 2012).

2.2.3 Teknik Faydaları

Puant gücün azaltılması, gerilim profilinin iyileştirilmesi, sistem kayıplarının azaltılması, güvenilirlik indislerinin artırılması gibi birçok etkisi vardır. Fakat bu etkiler sadece DÜ'ler şebekeye uygun boyutlarda doğru baralara eklendiğinde söz konusudur. Bunun dışında DÜ'lerin yerlerinin yanlış belirlenmesi ve aşırı veya yetersiz boyutlandırılmasının şebekeye olumsuz etkileri olacaktır. DÜ'lerin şebekeye birçok farklı etkisi olmasına rağmen en önemli etkileri bu çalışmada sırasıyla güç kayıpları, gerilim profili, sistem güvenilirliği ve şebeke maliyetleri olarak incelenecektir.

2.2.3.1 Güç Kayıpları

Elektriği dağıtmak için kullanılan havai hatların ve yer altı kablolarının dirençleri kayıplara neden olmaktadır. Sistemde gerçekleşen toplam aktif güç kayıpları (2.1) ile ifade edilmiştir.

$$P_{kayıp} = \sum_{l=1}^n \left(\frac{V_i - V_j}{R_l} \right)^2 * R_l ; i, j \in l \quad (2.1)$$

Burada l hatları, i hattın başını ve j hat sonunu belirtmektedir. Her hattın aktif güç kayıpları toplanarak sistemin toplam güç kaybı hesaplanır. Bu hat ve kablolarda gerçekleşen güç kayıpları dağıtım şirketlerine işletme maliyeti olarak yansımaktadır. Ayrıca kayıp enerjinin bir kısmı son tüketiciye de yansıtılmaktadır. Tüm bunlar göz önüne alındığında kullanılmayan enerjinin maliyeti tüm paydaşlara yansımaktadır.

DÜ'lerin yerleştirilmesiyle beraber şebeke teknik olarak iki farklı açıdan iyileştirilebilir. Öncelikle lokal olarak sağlanan enerjiyle birlikte ana şebekeden talep edilen enerji miktarı azalacaktır, dolayısıyla hat boyunca çekilen akımlar azalacaktır. Böylelikle uç noktada da talep edilen enerjiyi karşılarken karşı karşıya kalınan yüksek güç kayıpları azaltılacaktır. Burada sisteme direkt olarak aktif enerji verilerek sistemin ihtiyacı ve dolayısıyla güç kayıpları azaltılacaktır. Benzer bir şekilde sistemin reaktif enerji ihtiyacı sağlanıp çekilen akımlar azaltılarak güç kayıpları azaltılacaktır.

2.2.3.2 Gerilim Profili

Gerilim yükselmesi ve gerilim düşmesi dağıtım şebekelerinde sıklıkla görülen elektrik enerji kalitesi problemlerindedir.

Yükü az olan dağıtım şebekelerinde gerilim yükselmeleri görülebileceği gibi yükü fazla olan dağıtım şebekelerin hat sonlarında gerilim düşümleri meydana gelebilir. Olası problemleri engellemek için kompanzasyon sistemleri, senkron generatörler veya DÜ birimleri kullanılabilir. Olası problemlerin engellenmesi ve güçlü bir dağıtım şebekesi oluşturulması adına belirlenen elemanların kademelerle beraber kullanılması oldukça önemlidir. Hatta sistemde gerçekleşen üretim, tüketim, hat kısıtları ve kayıplarına dinamik bir şekilde tepki verebilmesi için uygun konumlarda yük altında kademe değiştiricilerle beraber kullanılması da önerilmektedir. DÜ'lerin türüne göre şebekeye sağlayabildikleri enerji de değişiklik göstermektedir.

Bu nedenlerden dolayı kurulacak olan DÜ'lerin yerlerinin sistemin ihtiyaçlarına karşılık verebilecek bir konuma yerleştirilmesi gerekmektedir. Gerilim profili açısından DÜ'lerin yerleştirilmesini belirleyebilmek için farklı indeksler kullanılmaktadır. Bunlardan bir tanesi, her baradaki gerilimin temel gerilim (1 pu) seviyesine göre ne kadar değişim gösterdiğinin hesaplanmasına bağlıdır.

$$V_p = \sum_{b=1}^n (1 - V_b)^2 \quad (2.2)$$

Bunlarla birlikte baralardaki gerilim seviyesinin belirli sınırlar içerisinde olması gerekmektedir. Farklı standartlar veya yönetmelikler kapsamında çeşitli sınır değerleri mevcuttur (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2006; European Standard, 2005). Dinamik etkiler göz ardı edildiğinde orta gerilimde genellikle bara gerilimlerinin 0,9 – 1,1 pu aralığında olması gerekmektedir.

2.2.3.3 Hat Kapasiteleri

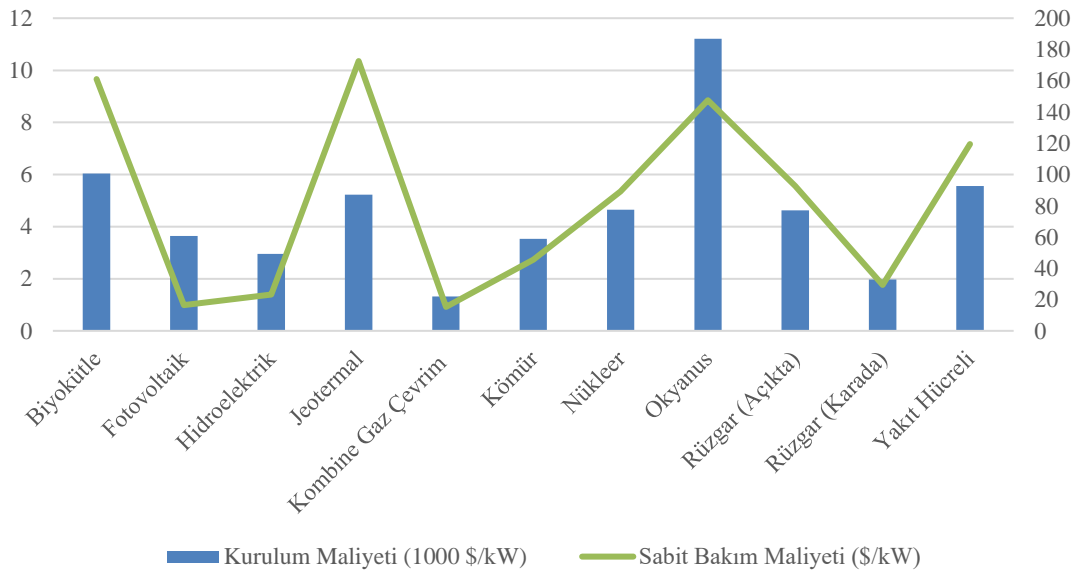
Artan enerji tüketimiyle beraber gelecekte daha önce karşılaşmadığımız başka sorunlarla karşı karşıya kalabiliriz. Bunlardan en önemlisi artan talep nedeniyle elektrik şebekesindeki hat kapasitelerinin dolmasıdır. Bu sorunun büyüklüğü sisteme yapılacak yatırımlar göz önüne alındığında ortaya çıkmaktadır.

Genellikle DÜ'lerin sisteme yapacakları en büyük fayda artan talep nedeniyle iletim sistemine yapılması gereken hat kapasite artışı yatırımının ötelenmesiyle alakalıdır. Fakat bununla birlikte dağıtım şebekesindeki hat kapasitelerinin daha iyi değerlendirilmesini ve bu hatlarda gerçekleştirilecek hat kapasite dolumu nedeniyle yapılması gereken yatırımların ötelenmesini sağlar. Bununla birlikte iletimden farklı olarak dağıtım şebekelerinde kullanılan hatların genellikle tüketicileri beslemekte tek tercih olduğu unutulmamalıdır. Bu hatlardaki kapasitenin dolumunun azaltılması dağıtım operatörlerinin yatırımlarını öteleyerek planlamalarına imkân sağlayacaktır. DÜ'lerin sisteme entegre edilmesiyle beraber hat kapasite doluluklarında (özellikle fider başlarında) oldukça yüksek düşüşler gözlenmektedir.

2.2.3.4 Şebeke Maliyetleri

Şebekede üretilen her enerjinin bir maliyeti vardır. Bu maliyetler santralin kurulum maliyeti, sabit bakım maliyeti ve değişken bakım maliyeti olarak üçe ayrılmıştır.

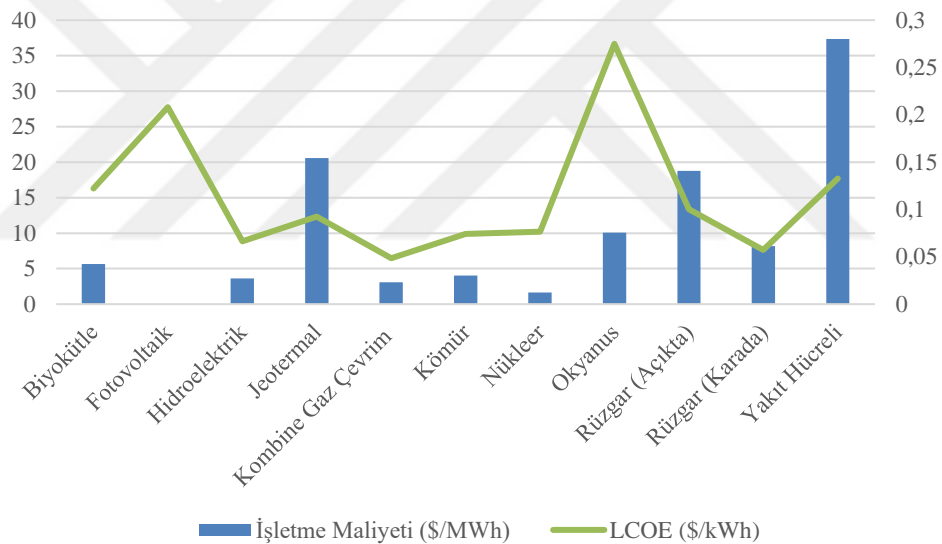
Şeffaf enerji maliyetlerini geçmiş ve tahminlere göre detaylı bir şekilde sıralayan sitenin verileri derlenerek aşağıdaki grafiklerde verilmiştir (*Transparent Cost Database*, 2021). Daha detaylı ve farklı bilgiler edinmek isteyenler için şeffaf bilgi platformunun incelemesini şiddetle tavsiye ediyorum.



Şekil 2.3 : Enerji kaynaklarına göre kurulum ve sabit bakım maliyet tahminleri ortalamaları.

Burada 2010-2040 yılları arasındaki santrallerin kurulu güçlerine göre kurulum maliyetleri ve sabit bakım maliyetleri enerji türleri göz önünde bulundurularak

verilmiştir. Siteden elde edilen verilerin ortalaması alınarak verilen bu şekilde okyanus, yakıt hücreli, jeotermal ve biyokütle santrallerinin kurulum maliyetlerinin oldukça yüksek olduğu buna kıyasla yakıt hücreli ve karadaki rüzgâr santrallerin maliyetlerinin oldukça düşük olduğu görülebilmektedir. Bununla birlikte sabit bakım maliyetleri de birbirleriyle kıyaslandığında önceki fiyatlarla benzerlik göstermektedir. Kurulum maliyetinden farklı olarak fotovoltaik ve hidrolik santrallerin sabit bakım maliyetinin daha düşük olduğu gözlenmektedir. Bu da enerji kaynaklarının yenilenebilir enerji kaynağı olması ve herhangi bir yüksek ısıyı yanma tepkimesinin gerçekleşmemesiyle açıklanabilmektedir. Sonrasında aynı zaman aralığı için işletme maliyetleri ve Levelized Cost of Energy (LCOE) değerleri verilmiştir. LCOE santrallerin ömürlerini göz önüne alarak ekonomik olarak karşılaştırılmasını sağlayan birimdir. Şekil 2.4'te enerji kaynaklarına göre işletme maliyetleri ve LCOE tahminlerinin ortalamaları verilmiştir (*Transparent Cost Database, 2021*).



Şekil 2.4 : Enerji kaynaklarına göre işletme maliyetleri ve LCOE tahminleri ortalamaları.

Burada yenilenebilir enerji kaynaklarının işletme maliyetlerinin düşük olması ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte kapasite faktörü de hesaba katılarak hesaplanan LCOE (kullanılan yaklaşımlara kaynaktan ulaşılabilir) kaynağa göre enerji fiyatını göstermektedir. Yapılan tahminlerin ortalamalarına göre bakıldığında en düşük LCOE Kombine Gaz Çevrim santrallerinde olduğu belirlenmiştir. Aynı zamanda rüzgâr ve hidrolik enerji kaynaklarında üretilen enerji maliyetinin oldukça düşük olduğu gözlenmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından fotovoltaik güneş enerjisinin en

yüksek ikinci maliyetlere sahip olduğu gözükmektedir. Bunun sebeplerinden bir tanesi ekonomik ömürlerinin diğer birimlere göre kısa olmasıdır.

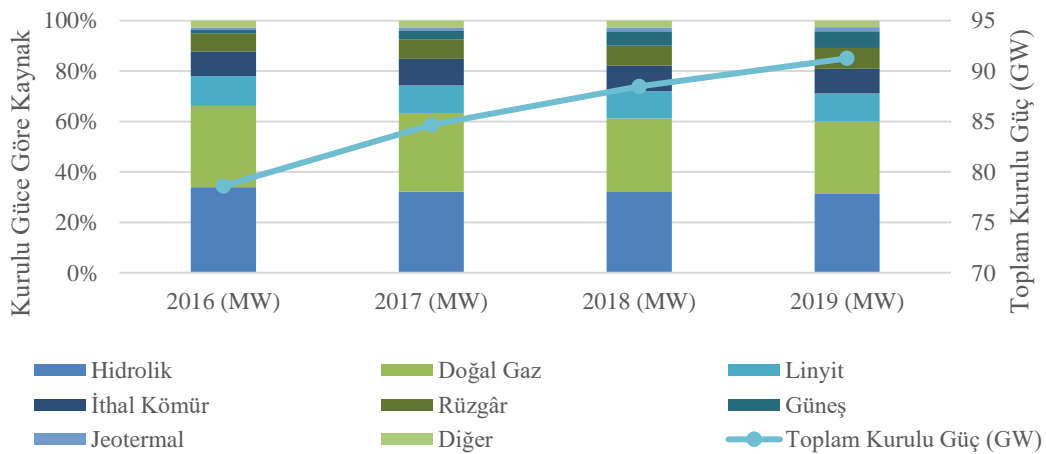
Genel olarak maliyetler incelendiğinde teknolojik gelişmeler ve enerjinin elde edilme yöntemine göre fiyatların farklılık gösterdiği gözükmektedir. Fakat yenilenebilir enerji kaynakların maliyet açısından en uygun enerji birimi olmaya başladığı gözükmektedir. Gelişen teknolojiyle beraber ileride ekonomik olarak da kullanılması kaçınılmaz teknolojiler haline gelecekleri aşikârdır.

2.3 Dağıtık Üretim Türleri

DÜ'ler üretim türlerine göre genellikle yenilenebilir ve yenilenebilir olmayan olarak ikiye ayrılırlar. Tez çalışmasında sadece kullanılacak DÜ türleri bahsedilecektir ve rastlantısal olarak modellemek için kullanılacak modelleri verilecektir.

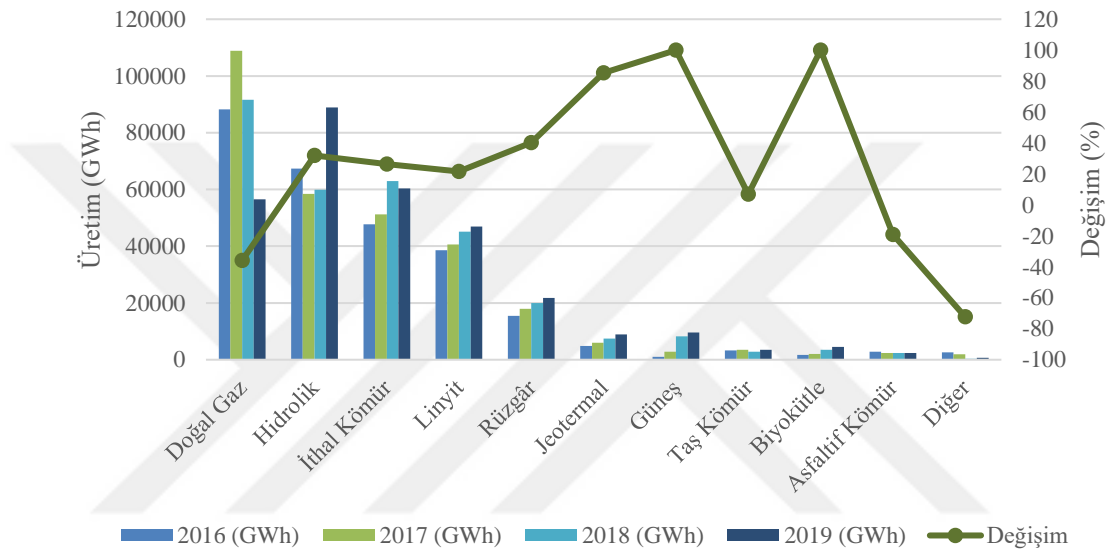
2.3.1 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Yenilenebilir enerji kaynakları ülkemiz ve dünya için oldukça önemli ve gün geçtikçe artan karbon emisyonlarının azaltılması için kullanılması zorunlu olan, zararlı etkileri diğer kaynaklara kıyasla olmayan enerji kaynaklarıdır. Tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırımlar gün geçtikçe artmaktadır. Şekil 2.5'te EPDK'nın sektör raporlarından derlenen verilerde ülkemizin lisanslı ve lisansız beraber toplam kurulu gücü ve bu kurulu gücün kaynaklara yüzdesel dağılımı gösterilmiştir (EPDK, 2016, 2017, 2018, 2019).



Şekil 2.5 : 2016-2019 kaynaklara göre Türkiye'nin kurulu gücü.

Grafikte verilerin 2016'dan sonra verilmesinin sebebi EPDK'nın verileri bu tarihten sonra yenilenebilir enerji kaynakları içinde ayrıca veriyor olmasından kaynaklıdır. Şekil incelendiğinde yenilenebilir enerji kaynaklarımızdan hidrolik, rüzgâr ve güneş kurulu güçteki oranının arttığı gözlenmektedir. Bununla birlikte bu santrallerden elde edilen enerjinin sisteme olan katkısının incelenmesi adına oldukça değerlidir. Şekil 2.6'da aynı tarihler arasındaki lisanslı ve üretim fazlası olarak sisteme verilen enerji kaynaklarına göre dağılımı ve bunun değişimi gösterilmiştir (EPDK, 2016, 2017, 2018, 2019).



Şekil 2.6 : 2016-2019 arası kaynaklara göre Türkiye'nin üretimi.

Şekilde değişim 2016 ve 2019 senesi arasında gerçekleşen değişime göre verilmiştir. Güneş ve biyokütledeki değişim %100'ün üzerinde olmasına rağmen şeklin daha anlaşılabilir olması için %100 olarak verilmiştir. Şekil incelendiğinde açıkça görülmektedir ki yenilenebilir enerji kaynaklarımızın üretimdeki rolü giderek artmaktadır. Özellikle biyokütle, güneş ve jeotermal enerjideki üretim artışı oldukça fazladır. Burada ayrıca belirtilmesi gereken önemli bir detay güneş santrallerimizden elde edilen enerjinin çoğunluğu fotovoltaik ve ihtiyaç fazlası olarak şebekeye verilen enerjidir. Bununla birlikte üretilen enerji kapsamında baktığımızda doğru yatırımlarla rüzgârda hidrolik enerjisi gibi ülkemize büyük katkılar sağlayacak enerji kaynakları ön plana çıkmaktadır. Ayrıca doğal gaz kullanımımız önceki senelere kıyasla %40'a kadar azalmıştır. Bu dışa bağımlılık, maliyetler ve çevre kirliliği konusunda ülkemizi oldukça rahatlatmasına rağmen linyit ve ithal kömürden elde edilen enerjilerde bir miktar artışa sebebiyet vermiştir.

Her iki şekilde incelendiğinde ülkemizin dünyadaki yenilenebilir enerji kaynakları trendine uyum sağladığı görülebilmektedir. Gelişen teknolojiler ve devam eden yatırımlar sayesinde ülkemizin enerjisinin tamamına yakının yenilenebilir kaynaklardan sağlanması mümkündür. Fakat bunun önündeki önemli engellerden bir tanesi global bir tehdit olan kuraklıktır. Hidrolikle üretilen enerjinin miktarı göz önüne alındığında bu oldukça büyük bir tehdittir. Günümüzde gelişen teknoloji ve artan trendler göz önüne alındığında yenilebilir enerji kaynağı olarak sadece güneş ve rüzgâr enerji kaynakları çalışmada incelenecektir.

2.3.1.1 Güneş

Genellikle fotovoltaik etkiyle güneş enerjisini elektrik enerjiye çevrilmesinde kullanılan üretim santralleridir, çiftlik olarak da adlandırılmaktadırlar. Güneşten elektrik enerjisi elde edilmesinin tek yolu olmasa da elde edilen enerjinin çoğunluğu fotovoltaik etki ile elde edilmektedir.

Karakteristikleri gereği güneş ışınımı, sıcaklık, bakımlar ve gölgelenme güneş santrallerinin anlık üretimini belirleyen önemli faktörlerdendir. Üretilen elektrik enerjisi DC formda elde edilir ve eviricilerle şebekeye verilmek için uygun hale getirilmesi gerekir. Fakat üretilen enerjinin eviricilerle AC'ye çevrilmeden DC baralar ile dağıtıldığı çalışmalarda mevcuttur. Böylelikle eviriciler sebebiyle kaybedilen enerji yani düşen verimin azaltılması hedeflenmektedir.

Güneş enerjisinin en büyük dezavantajı gece vakitlerinde enerji üretimi gerçekleştirilememesidir. Buna rağmen enerji depolama sistemleriyle birlikte kullanıldığında puant zamanda şebekeye enerji imkanları da oluşmaktadır. Fakat enerji depolama sistemlerinin maliyetleri yatırım maliyetlerini yukarı çekecektir.

Bu çalışmada kullanılacak güneş dağıtık üretim modelleri literatürde sıklıkla kullanılan modellere göre oluşturulmuştur (Arabali et al., 2017; Atwa et al., 2010; Ben Hamida et al., 2018). Üretim modeli 2.3 – 2.7 'deki denklemlerde gösterilmiştir.

$$T_c = T_a + r \left(\frac{N_{ot} - 20}{0,8} \right) \quad (2.3)$$

$$I = r(I_{sc} + K_i(T_c - 25)) \quad (2.4)$$

$$V = V_{oc} - K_v * T_c \quad (2.5)$$

$$FF = \frac{V_{mppt} * I_{mpp}}{V_{oc} * I_{sc}} \quad (2.6)$$

$$P_{PV} = FF * V * I \quad (2.7)$$

Burada T_c fotovoltaik panelin sıcaklığını ($^{\circ}C$), T_a ortam sıcaklığını ($^{\circ}C$), N_{ot} nominal işletme sıcaklığını ($^{\circ}C$), I hücredeki akımı (A), I_{sc} hücrenin kısa devre akımını (A), K_i akım/sıcaklık katsayısını ($A/^{\circ}C$), V modülün gerilimini (V), V_{oc} modülün açık devre gerilimini (V), K_v gerilim/sıcaklık katsayısını ($V/^{\circ}C$), FF form faktörünü, V_{mppt} maksimum güç noktasındaki gerilimi (V) ifade etmektedir. Panellerden üretilen güç yukardaki denklemlere göre belirlenecektir. Panele ait katsayılar literatürde kullanılan değerlere göre belirlenmiştir. Kullanılan değerler Çizelge 2.2’de belirtilmiştir (Atwa et al., 2010).

Çizelge 2.2 : Kullanılan güneş modülü parametreleri.

Karakteristik	Değeri	Karakteristik	Değeri
Maksimum güç	53	Maksimum güç akımı	3,05
Açık devre gerilimi	21,7	Gerilim kat sayısı	88
Kısa devre akımı	3,4	Akım katsayısı	1,5
Maksimum güç gerilimi	17,4	Nominal işletme sıcaklığı	43

Kullanılan değerlerde tek bir modülün karakteristiğini belirtmek için kullanılmıştır. Birden fazla güneş modülünün bir araya gelmesiyle güneş santralinden elde edilecek güç çok daha fazla olacaktır.

İstanbul’un Beşiktaş ilçesine ait sıcaklık ve güneş ışınımı değerleri Ek – A kısmında saatlik olarak verilmiştir. Bu verilerde 2005-2016 yılları arasındaki saatlik güneş ışınımı ve sıcaklık verilerinin ortalaması ve standart sapması verilmiştir. Her gün ve saat için elde edilen bu verilerden bahar aylarından rastgele bir gün seçilmiştir. 29 Mart’ta her saat için ayrı ayrı verilen bu değerlere göre normal dağılım fonksiyonları oluşturulmuştur. Böylelikle saatlik analiz gerçekleştirilirken geçmiş verilere dayanan dağılım fonksiyonlarıyla bu bölgeye ait güneşlenme ve sıcaklık rastgele bir şekilde üretilen olacaktır.

2.3.1.2 Rüzgâr

Temelde rüzgârdan sağlanan hareketin ortaya çıkardığı mekanik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesiyle üretimi gerçekleştiren santrallerdir. Güneşe benzer bir şekilde birden fazla türbinin oluşturduğu üretim santrallerini çiftlik olarak da adlandırılmaktadır.

Rüzgâr türbinleri karada veya açık denizde kullanılabilir. Genellikle rüzgâr haritasının oturmuş ve sürekli düzeyde bölgelere yatırımları gerçekleştirilir. Yapılarından dolayı üretim eğrileri rüzgâr hızına bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve bu nedenle dağınık olarak üretim yaparlar.

Piyasa içerisinde etkin bir şekilde yer alabilmek ve kârlılığını maksimize edebilmek için tahmin yöntemleriyle beraber kullanılması gerekmektedir. Böylelikle uygun fiyat talepleriyle sistemde güçlü bir konuma gelebilirler. Güneş enerjisinde olduğu gibi enerji depolama sistemleriyle birlikte kullanılarak piyasa üzerindeki etkinliği artırılabilir.

Rüzgâr türbinlerinden elde edilen gücü tanımlamak için literatürde sıklıkla kullanılan modeller ilerleyen kısımda verilmiştir. Bu modellerdeki üretimi etkileyen en önemli unsur rüzgâr hızıdır. 2.8 – 2.10 ‘da rüzgâr hızının modellenmesi gösterilmiştir.

$$f_w(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right) \quad (2.8)$$

$$k = 2 \quad f_r(v) = \frac{2v}{c^2} * \exp\left(-\left(\frac{v}{c}\right)^2\right) \quad (2.9)$$

$$c \approx 1,128 * v_m \quad (2.10)$$

Rüzgâr hızının olasılık yoğunluk fonksiyonu rüzgâr gücünü hesaplamada oldukça değerli bir parametredir. Rüzgâr hızına bağlı olarak rüzgâr gücünü hesap etmede kullanılan model 2.14-2.17’de gösterilmiştir (Fardin et al., 2018).

$$P_W = \begin{cases} 0 & 0 \leq V < V_i \\ P_r(A + B * V + C * V^2) & V_i \leq V < V_r \\ P_r & V_r \leq V < V_o \\ 0 & V \geq V_o \end{cases} \quad (2.11)$$

$$A = \frac{1}{(V_i - V_r)^2} \left[V_i(V_i + V_r) - 4V_iV_r \left(\frac{V_i + V_r}{2V_r} \right)^3 \right] \quad (2.12)$$

$$B = \frac{1}{(V_i - V_r)^2} \left[4(V_i + V_r) \left(\frac{V_i + V_r}{2V_r} \right)^3 - (3V_i + V_r) \right] \quad (2.13)$$

$$C = \frac{1}{(V_i - V_r)^2} \left[2 - 4 \left(\frac{V_i + V_r}{2V_r} \right)^3 \right] \quad (2.14)$$

Burada V_i rüzgâr giriş kesme hızı, V_r rüzgâr doyma hızı ve V_o rüzgâr çıkış kesme hızıdır, A, B ve C ise V_i ve V_r aralığında rüzgâr gücünü modellemek için kullanılan katsayılarıdır. Denklemlerden de anlaşılacağı üzere rüzgâr V_i hızına gelene kadar ve V_o hızından sonra üretim gerçekleştirilmemektedir. V_r ile V_o aralığında maksimum güç üretilirken V_i ile V_r arasında lineer olmayan bir şekilde güç üretilmektedir ve literatürdeki lineer olan modellerden farklıdır. Verilen yenilenebilir enerji kaynağı modelleri kapsamında şebekenin analizi rastlantısal olarak incelenecektir. Çalışmada kullanılan rüzgâr santrallerinin rüzgâr giriş kesme hızı, rüzgâr doyma hızı ve rüzgâr çıkış kesme hızı sırasıyla 4,15 ve 25 m/s olarak belirlenmiştir. Bununla birlikte üretilen rüzgârın ortalama hızı 9 m/s ve maksimum rüzgâr hızı 40 m/s olarak belirlenmiştir.

2.3.2 Yenilenebilir Olmayan Enerji Kaynakları

Termik ve gaz santralleri gibi fosil yakıtlara bağımlı santrallerdir. Fosil yakıtlar tarafından zengin ülkelerde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu elemanlar arıza bakım gibi devre dışı kalma durumları dışarda tutulduğunda rastlantısal olaylara karşı daha kapalı olduğu görülür. Girdi ve çıktı deterministik olarak belirlenebilir veya sabit kabul edilebilir. Bu nedenle çalışmada yenilenebilir olmayan termik santral için herhangi bir model önerilmemiştir. Ayrıca herhangi bir koşula bağlı kalmadan belirlenen santral gücünün tamamını şebekeye verebildiği kabul edilmiştir.



3. DAĞITIK ÜRETİMLERİN ŞEBEKEYE EKLENMESİ PROBLEMİ

3.1 Kullanılan Yöntemler

Bu tez çalışmasında DÜ'lerin dağıtım şebekelerine yerleştirilmesi için yeni hibrit bir yöntem önerilmiştir. Bu yöntem ile DÜ'lerin yer ve boyutlarının daha hızlı ve doğru bir şekilde belirlemek hedeflenmiştir. Yöntem kümeleme ve optimizasyon olarak iki aşamadan oluşmaktadır. Öncelikle bu yöntemlerden ayrı ayrı bahsedilmiştir, sonrasında önerilen metodoloji akış diyagramıyla beraber verilmiştir.

3.1.1 k-Ortalama Kümeleme (k-Means Clustering)

K-Ortalama Kümelemesi sınıflandırılmamış verilerin incelenmesinde sıklıkla kullanılan denetimsiz (gözetimsiz) öğrenme (unsupervised learning) yöntemlerinden bir tanesidir (Lloyd, 1982). Bu yöntemde veriler benzerliklerine göre kümelenebilir. Bu sayede oluşturulan kümeler kolaylıkla sınıflandırılır. Veri analitiğinde uygulama kolaylığı ve denetimsiz olması nedeniyle karmaşık veri gruplarının incelenmesinde sıklıkla kullanılır. Kümeleme algoritmasının dezavantajı sayılabilecek bir yönü küme adedinin kullanıcı tarafından girilmesidir. Detaylı inceleme isteyen analizlerde bu eksik bir nokta olarak karşıya çıkmaktadır. Fakat küme sayısı algoritma birkaç defa çalıştırılarak en uygun sonuçlar alınana kadar tekrar ettirilebilir. Bunun dışında istenilen küme sayısı belli olan uygulamalarda oldukça kullanışlı ve avantajlıdır.

Yöntemin girdileri sadece küme sayısı (K) ve veri vektör grubudur. Veri kümesinde bulunan vektörlerin çok boyutlu olarak tanımlanabilir. İlk olarak K adet küme oluşturur ve bu kümelerin ortalamalarını (merkezlerini) rastgele olarak belirler. Başlangıçta küme ortalamalarının oluşturulması için geliştirilmiş farklı yöntemlerde mevcuttur (Arthur & Vassilvitskii, 2007; Hartigan & Wong, 1979). Sonrasında ise algoritma aşağıda verilen iki adım tekrar edilerek en uygun sonuca ulaşmayı hedefler.

Belirlenen ortalamalara göre kümeler oluşturulur. Bunun gerçekleştirilebilmesi için her verinin en yakın ortalamaya ilişkilendirilerek o kümeyle dahil edilmesi gerekmektedir, (3.1)'de bu hesaplama gösterilmiştir.

$$S_i^{(t)} = \{x_p: \|x_p - \mu_i^{(t)}\|^2 \leq \|x_p - \mu_j^{(t)}\|^2 \forall j, 1 \leq j \leq k\} \quad (3.1)$$

Burada her t adımında, veri vektörlerinin (x_p) küme ortalamalarına ($\mu_i^{(t)}$) olan uzaklıkları, diğer küme ortalamalarına ($\mu_j^{(t)}$) olan uzaklıklarıyla kıyaslanarak yeni kümeler ($S_i^{(t)}$) oluşturulur.

Sonrasında yeni kümelerde ortalamalar tekrar hesaplanarak yeni kümeler oluşturulur. Yeni ortalamaların hesaplanması (3.2)'de gösterilmiştir.

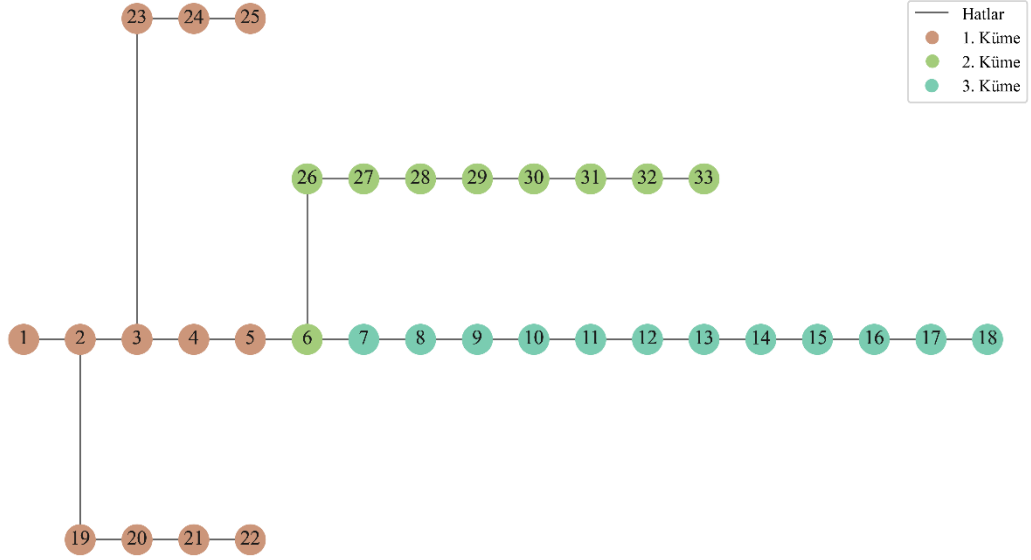
$$\mu_i^{(t)} = \frac{1}{|S_i^{(t)}|} \sum_{x_j \in S_i^{(t)}} x_j \quad (3.2)$$

Burada her t adımda, kümelere ($S_i^{(t)}$) ait verilerin (x_j) ortalaması alınır. Algoritma kümelerdeki verilerin değişimi bitinceye veya mesafeler en aza indirilinceye kadar tekrar eder ve en uygun küme gruplarına ulaşır.

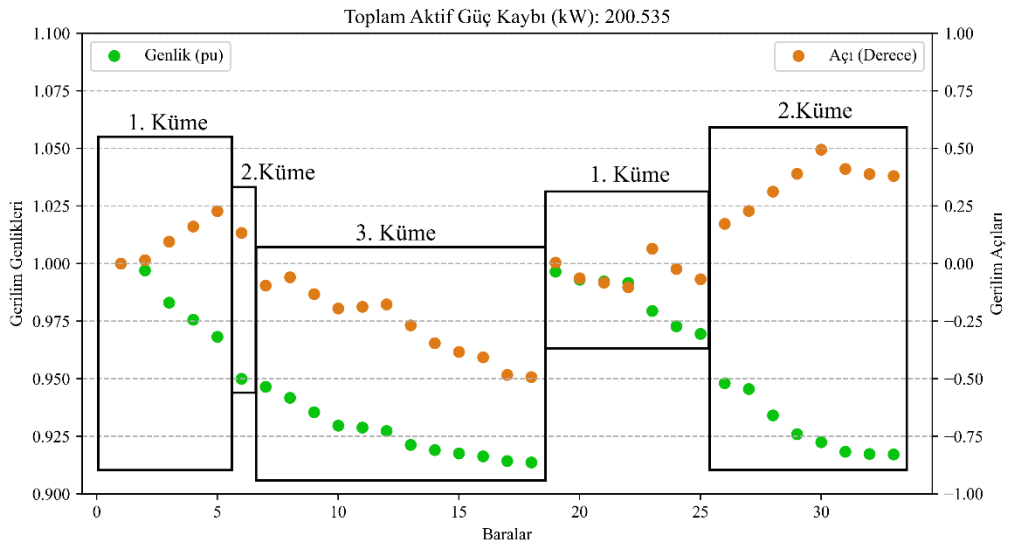
Kısaca algoritmanın uygulama adımları sırasıyla verilmiştir:

1. K sayıda olası küme ortalamalarının rastgele belirlenmesi,
2. Verilerin ortalamalara olan mesafelerinin belirlenmesi ve mesafe benzerliklerine göre kümelerin oluşturulması,
3. Oluşan yeni kümelerdeki verilerin mesafelere göre yeni ortalamaların belirlenmesi,
4. Veri setlerinin küme içi mesafelerin minimum oluncaya kadar iterasyonun tekrarlanması.

Temel durumdaki 33 baralı test sisteminde gerçekleştirilen kümeleme işlemi Şekil 3.1 ve 3.2'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : 33 baralı test sistemine k-ortalama kümeleme algoritmasının uygulanması ve görselleştirilmesi.



Şekil 3.2 : 33 baralı test sistemine uygulanan k-ortalama kümeleme algoritmasının veri kümesi.

Yukarıdaki şekillerde gösterilen veri setleri ve baraların kümelenecekleri gösterilmiştir. Şekil 3.2’de kümelerdeki bara gerilimlerinin birbirlerine benzerlikleri açıkça görülebilmektedir. Bununla birlikte Şekil 3.1 incelendiğinde küme içerilerinde radyal karakterin bozulmaması da ayrıca önemli bir özelliktir. Gerilim genlik ve açıların beraber kullanılması bunu sağlamaktadır.

3.1.2 Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (Particle Swarm Optimazation)

1995'te önerilen yöntem (Kennedy & Eberhart, 1995) birçok hesaplama yönteminde olduğu gibi doğal hayattan örnekler alınarak geliştirilmiştir. Bu yöntem ile temelde sürülerin sosyal davranışlarını modellemek için kullanılmıştır. Parçacık Sürüsü Optimizasyonu (PSO) tekrarlamalar yaparak en iyi (optimal) sonuca ulaşmayı hedefleyen meta-sezgisel bir hesaplama yöntemidir.

Parçacık sürüsü içerisindeki her parçacık kendine ait bilgilerle problemin en uygun çözüme yakınlaştırılmasını hedefler. Parçacıkların hareketleri yani bir sonraki konumları, konum ve hızlarına göre belirlenir. Sürü içerisindeki parçacıklar birbirleriyle iletişim halinde olup en uygun sonuca doğru hareket ederler.

Meta-sezgisel bir yöntem olduğu için çözüm uzayı çok geniş olabilir veya algoritmanın her zaman en iyi sonucu hesaplayacağı kesin değildir. Bu nedenle arama uzayının kısıtlanması algoritmanın daha iyi performansla çalışmasına olanak sağlayacaktır.

Sürüdeki her parçacık d boyutlu bir yer kaplar ve bu parçacığın konumu olarak tanımlanır. Bu konuma göre problemin bir uygunluk fonksiyonu değeri hesaplanır. Tüm kıyaslamalar uygunluk fonksiyonunun değerine göre yapılır. En uygun değere ait konum vektörü problemin çözümü olacaktır. Bu nedenle parçacığın uygunluk fonksiyon değeri ve buna bağlı konumları tutulmalıdır (Sedighi et al., 2010).

Parçacık her iterasyonda olası yeni konumlar bulabilmek için hareket etmesi gerekmektedir. Bunu sağlamak içinde bir hız vektörü rastgele olarak tanımlanabilir. Sonrasında ise hız vektörü (3.3)'e, konum vektörü (3.4)'e göre güncellenir (Alinejad-Beromi et al., 2008).

$$v_i^{(t+1)} = wv_i^{(t)} + c_1 * rand * (p_{best} - x_i^{(t)}) + c_2 * rand * (g_{best} - x_i^{(t)}) \quad (3.3)$$

$$x_i^{(t+1)} = x_i^{(t)} + v_i^{(t+1)} \quad (3.4)$$

Burada $v_i^{(t)}$ t anındaki parçacığın hızı, $x_i^{(t)}$ t anındaki parçacığın konumu, w eylemsizlik katsayısı, c_1 ve c_2 hızlanma katsayıları, $rand$ 0,1 aralığında rastgele bir sayıyı, p_{best} parçacığın en iyi konumunu, g_{best} sürüdeki en iyi konumu belirtir. (3.3)'e

göre parçacığın yeni hızı hesaplanır. Elde edilen yeni hız vektörüne göre parçacığın bir sonraki konumu (3.4)'e göre belirlenmiş olur.

PSO DÜ'lerin dağıtım şebekesine yerleştirilmesi ve boyutlandırılması için kullanılmıştır. Her optimizasyon yönteminde olduğu gibi problemin amaç ve kısıt fonksiyonları bulunmaktadır. Kısıtlar dâhilinde algoritma en uygun sonucu bulmayı hedeflemektedir. Elektrik şebekesiyle alakalı değerlerin keskin bir şekilde hesaplanması için güç akışı yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan yük akışı yöntemi, çalışmada sunulan lineer yük akışı yöntemi kullanılmıştır (Garces, 2016). Forward-Backward güç akışı yöntemiyle kıyaslandığında hata oranlarının ortalama 2.67×10^{-5} olduğu görülmektedir. Bununla birlikte Newton-Rapshon güç akışı yöntemiyle de bireysel olarak kıyaslanmış ve hata oranlarının benzer olduğu belirlenmiştir. Ayrıca diğer iki yöntemden daha iyi hesaplama sürelerine sahiptir. Bu doğrudan algoritmanın hızını da etkilemektedir. İlerleyen kısımlarda algoritmada kullanılan amaç ve kısıt fonksiyonlarından bahsedilecektir.

3.1.2.1 Amaç fonksiyonları

Optimizasyon algoritmasının hedefi olarak nitelendirilen, bir değeri minimize veya maksimize etmeye çalışan eşitsizliklerdir. Elektrik şebekesinde sıklıkla kullanılan amaç fonksiyonu kayıpların azaltılmasıdır. Böylelikle işletme kayıplarının ve bundan kaynaklı maliyetlerin azaltılması hedeflenmektedir. Bununla birlikte, üretim maliyetlerinin azaltılması, güvenilirlik indislerinin artırılması, karbon emisyonlarının azaltılması gibi amaç fonksiyonları ayrı ayrı veya beraber kullanılabilir. Birden fazla amaç fonksiyonun beraber kullanılması durumunda problem çok amaçlı optimizasyon problemi haline gelecektir. Fakat bu çalışmada sadece kayıpların azaltılması amaç fonksiyonu kullanılmıştır.

3.1.2.2 Kısıtlar

Elektrik şebekesindeki tüm elemanların fiziksel olarak tabii oldukları limitler, algoritmanın kısıtlar kısmında ifade edilmiştir. Bununla birlikte şebekedeki güç akışlarının, baralardaki güç dengesi gibi kısıtları mevcuttur. Fakat güç akışı yöntemi tüm bunları kapsayacağı için tekrardan tez içerisinde bu kısıtlar verilmemiştir. Bununla birlikte yük akışı yönteminin detayları da ayrıca belirtilmemiştir fakat ilgili makalede yöntemin detaylarına ulaşılabilir. Makalede algoritmanın uygulanması ve

kıyaslanmasıyla alakalı MATLAB kodları da bulunmaktadır, ilgilenenlerin incelemesini şiddetle tavsiye ederim (Garces, 2016).

Şebeke içi kısıtlar dışında bara gerilimlerinin ve hat akışlarının maksimum seviyelerinin altında olması gerekmektedir. Bara gerilimlerinin sınır değerleri 3.5'te gösterilmiştir.

$$V_{min} \leq V_i \leq V_{maks} \quad (3.5)$$

Burada V_i bara gerilim değerini V_{min} bara geriliminin minimum değerini ve V_{maks} bara geriliminin maksimum değerini göstermektedir. Tedarik kalitesi yönetmeliğinde on dakikalık ortalamalarla ifade edilen bu değerlerin kararlı halleri göz önünde bulundurulduğunda orta gerilim hatları için bara gerilimlerinin 0.9 pu ile 1.1 pu aralığında olması gerekmektedir (Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2006). Uluslararası standartlarda da benzer gerilim aralık değerleri verilmiştir (European Standard, 2005).

Bununla birlikte hatlarında kapasiteleri sınırlıdır. Bu kapasite değerlerinin her iki yönde göz önünde bulundurularak aşılmaması gerekmektedir.

$$-I_{maks} \leq I_l \leq I_{maks} \quad (3.6)$$

Hat akımı sınırları dağıtım şebekesinin fiziksel dayanımının sağlanması için oldukça önemlidir. Uzun süre kapasitelerinin üzerinde yüklenen hatların arızalanma ihtimali her an daha hızlı bir şekilde artmaktadır. Bununla birlikte hat akımlarının her iki yönünde kontrol edilmesi gerekir. Bunların dışında eklenecek ve yerleştirilecek olan DÜ'lerin üretim kısıtları vardır. Bu kısıtlar DÜ türlerine değişiklik göstermekle beraber genel olarak 3.7 ve 3.8'deki gibi ifade edilir.

$$S_{min}^{DÜ} \leq S_j^{DÜ} \leq S_{maks}^{DÜ} \quad (3.7)$$

$$pf_{min}^{DÜ} \leq pf_j^{DÜ} \leq pf_{maks}^{DÜ} \quad (3.8)$$

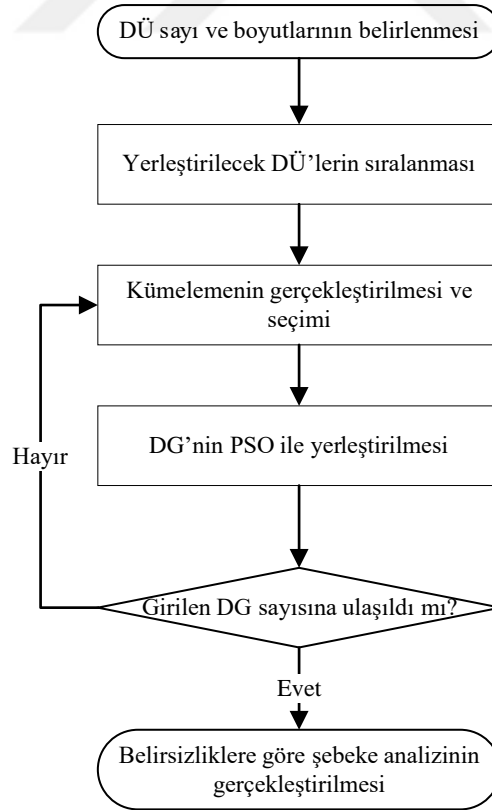
Denklemlerde j eklenecek DÜ'min, $S_j^{DÜ}$ DÜ görünür gücünü, $S_{min}^{DÜ}$ ve $S_{maks}^{DÜ}$ ise görünür gücün alabileceği minimum ve maksimum sınır değerleri belirtmektedir. Benzer bir şekilde $pf_j^{DÜ}$ DÜ'nün alabileceği güç faktörü değerlerini,

$pf_{min}^{DÜ}$ ve $pf_{maks}^{DÜ}$ ise güç faktörünün alabileceği minimum ve maksimum sınır değerleri belirtmektedir.

Bunun dışında çalışmada birden fazla ve farklı türde DÜ'lerin şebekeye eklenmesi hedeflenmektedir. Bu nedenle DÜ'lerin türleri ve sayıları farklı farklı durumlar için analiz edilecektir. Tez çalışmasında kullanılacak durumlar ve DÜ'lerin üretim sınır değerleri bir sonraki bölümde verilmiştir.

3.2 Önerilen Algoritma

Bu tez çalışmasında k-Ortalama Kümelemesi ve PSO algoritmalarının beraber kullanılmasıyla birden fazla dağıtık üretim biriminin boyutlandırılması ve yerleştirilmesi amaçlanmaktadır. Bunun gerçekleştirilebilmesi için önerilen algoritma sayesinde DÜ birimlerinin yerleştirilebileceği baraların azaltılması sağlanmaktadır. Böylelikle PSO algoritmasının doğru sonuca yakınsamasını hızlandırılması hedeflenmektedir. Bara sayısının arttığı durumlarda doğru sonuca yakınsamanın ne kadar büyük bir problem olduğu unutulmamalıdır. Şekil 3.3'te önerilen algoritmanın akış diyagramı sunulmuştur.



Şekil 3.3 : Önerilen algoritmanın akış diyagramı.

Algoritma öncelikle temel durum için k-ortalama kümelemesini gerçekleştirir. Bunun için temel durumda gerçekleştirilmiş güç akışı sonucunda elde edilmesi beklenen bara gerilim genlik ve açılarını kullanır. Buradaki amaç dağıtım sistemini doğru bir şekilde parçalara bölmektir. Algoritma sonucunda k adet küme elde edilecektir. Burada k her ne kadar isteğe bağlı olsa da bu çalışmada 3 olarak kullanılmıştır. Elde edilen üç kümeden birini DÜ'lerin yerleştirilmesi için PSO algoritmasının uygulanması gerekmektedir.

Burada küme seçimi de oldukça önemlidir. Küme seçimini gerçekleştirirken kaç adet DÜ biriminin ekleneceği, türleri ve boyut sınırları oldukça önemlidir. Temel yaklaşımda bara genlik ve açılarının temelden ne kadar uzaklaştığına göre bu kümelerin seçilmesi hedeflenmelidir. Küme içerisindeki genlik ve açıların temel durumdan ne kadar uzaklaştığına (hata oranına) göre seçimlerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.

Göz önüne alınması gereken bir diğer nokta ise DÜ'ler eklendikçe sistem baraların temel duruma gittikçe yakınsaması olacaktır ve bu beklenen bir sonuçtur. Yapılan incelemeler sonucunda temel duruma yakınsadıkça gerilim düşümü olan bara sayısı azalacaktır. Böylelikle bu baraları içeren kümenin eleman sayısı da azalacaktır. Bu bilgiler doğrultusunda seçilen kümenin en küçük boyutlu olmasına karar verilmiştir.

DÜ eklenecek küme belirlendikten sonra PSO algoritması bu elemanın boyutlandırılması ve yerleştirilmesini gerçekleştirecektir. DÜ boyutlandırılması görünür boyut aralığı ve güç faktörü aralığına göre belirlenir. DÜ türüne göre oldukça değişik gösterebilir. İterasyonlar sonucunda tamamlanan değerlere göre bir sonraki DÜ'nün yerleştirilmesi için tekrardan kümeleme algoritmasına geri dönüş yapılır.

Burada birkaç detaydan bahsetmek gerekirse;

Algoritmadan DÜ eklenen baralar sistemden çıkarılmaz, yani bir sonraki adımlarda da bu baralara DÜ eklenebilmesi söz konusudur. Böylelikle eğer sistem en uygun sonucu bulmadıysa veya eklemeler sonrasında düzeltilmeye ihtiyacı varsa sistemin kendini düzeltebilmesi imkânı sağlanmıştır. Farklı durumların gözetlenebilmesi için DÜ eklenebilecek baraların belirlenmesi de algoritmaya eklenmiştir.

DÜ ekledikçe gerilim profilinde iyileşmeler gerçekleşmektedir. Sistem gereği boyutuna bağlı olmak kaydıyla belirli bir DÜ sayısından sonra sistemde iyileşme

görülememektedir. Bu nedenle çalışmanın DÜ sayısı ve boyutlandırılmaları uygun bir şekilde gerçekleştirilmelidir.

Birden fazla DÜ eklendiği koşullarda DÜ boyutları ve bunların sisteme eklenme sırası oldukça önemlidir. Bununla birlikte dikkat edilmesi gerekir ki dağıtım sistemlerindeki hat sonu gerilim düşümlerinin temel sebebi reaktif enerji ihtiyacıdır. Bu nedenle belirtilen koşullar göz önüne alınarak DÜ'lerin sisteme yerleştirilmesi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle sisteme reaktif enerji verebilen elemanların yerleştirilmesi sonrasında hem reaktif hem aktif enerji verebilenlerin en sonda sadece aktif enerji verebilen birimlerin boyut büyüklüklerine göre yerleştirilmesi planlanmıştır.

Sonraki bölümde DÜ'lerin en uygun şekilde boyutlandırılması ve şebekeye yerleştirilmesi çeşitli durumlar göz önünde bulundurularak önerilen yöntemle gerçekleştirilmiştir.



4. DAĞITIK ÜRETİMLERİN ŞEBEKEYE YERLEŞTİRİLMESİ

Bu bölümde farklı durumlar için dağıtık üretimlerin yerleştirilmesi anlık olarak gerçekleştirilecektir. Sonraki bölümde ise anlık olarak yerleştirilen DÜ'lerin saatlik analizi gerçekleştirilecektir. Birbirinden farklı durumların incelenmesinin iki önemli nedeni vardır. Bunlardan ilki birden fazla sayıda DÜ'min şebekeye yerleştirilmesinin analizinin gerçekleştirilebilmesidir. Artan tüketim ve gelişen teknolojiler göz önüne alındığında şebekede tek bir adet DÜ birimi olmayacağı aşikârdır. İkincisi farklı reaktif enerji üretim sınır değerleri olan DÜ birimlerinin şebekeye etkileri birbirinden farklıdır. Ayrıca gerçek sistemlerde yerleştirilmesi hedeflenen DÜ birimlerinin maksimum boyut sınırları olabilmektedir. Çalışmada elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında sınır değerlerin değiştirilmesi DÜ biriminin boyutundan bağlandığı baraya kadar tüm değerlerle beraber sisteme sağladığı faydaların etkisini değiştirmektedir. Dolayısıyla farklı karakteristikte DÜ birimlerinin şebekeye olan etkileri incelenmelidir. Genel olarak uygulan durumlar sırasıyla; temel durum, 1 DÜ, 2 DÜ, 3 DÜ ve 4 DÜ ekli durumlar için farklı DÜ güç faktörleri ve boyut sınırları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Toplamda 36 farklı duruma göre analizler gerçekleştirilmiştir. Uygulanan durumların sınır değerleri analiz numarasına göre detaylı olarak Ek- B'de verilmiştir. Ayrıca DÜ birimlerinin yerleştirilmesinde kullanılan sınır değerler özet olarak Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 : DÜ'lerde kullanılan sınır değerlerinin özet hali.

DÜ Sayısı	Maksimum Boyutlar		
1	1	2	3
2	0,833	1,667	2,5
3	0,667	1,333	2
4	0,5	1	1,5
Min. cos fi	0,8	0,9	1

Çizelgede her DÜ sayısı için analizler maksimum boyutlara ve minimum güç faktörü değerlerine göre 9, toplamda 36 kere tekrarlanmıştır. DÜ sayısı arttıkça maksimum değerlerinin azaltılmasının sebebi şebekenin enerji ihtiyacının ilk yerleştirilen DÜ tarafından karşılanmasına engel olmaktır. Giderek azaltılan sınır değeri sayesinde DÜ

birimlerine daha eşit üretim dağılımı yapılabilir. Bununla birlikte boyutların minimum sınır değerleri 0 olarak girilmiştir. Son olarak verilen her maksimum boyut için analiz minimum güç faktörü değerine göre tekrarlanmıştır. Güç faktörünün maksimum değeri 1 olarak girilmiştir. Farklı DÜ sayıları için ayrı ayrı verilen sonuçların sadece en iyileri detaylı olarak açıklanmıştır. Son olarak yenilenebilir DÜ'ler ile yapılan optimizasyon algoritmasında elde edilen en iyi yerleşim yerleri bir sonraki bölümde şebekenin saatlik analizinde kullanılacaktır.

4.1 Temel Durum

Temel durumda test sisteminin güç akışı analizi Çizelge 4.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 4.2 : Temel durumdaki güç akışı sonuçları.

B1	Gen. (kV)	Açı (°)	B2	Gen. (kV)	Açı (°)	Akım (A)	Kayıp (kW)
1	12,66	0,00	2	12,62	0,01	362,97	12,15
2	12,62	0,01	3	12,44	0,10	322,72	51,35
3	12,44	0,10	4	12,35	0,16	231,86	19,68
4	12,35	0,16	5	12,26	0,23	220,20	18,48
5	12,26	0,23	6	12,03	0,13	214,80	37,79
6	12,03	0,13	7	11,98	-0,10	100,57	1,89
7	11,98	-0,10	8	11,92	-0,06	81,97	4,78
8	11,92	-0,06	9	11,84	-0,13	63,28	4,12
9	11,84	-0,13	10	11,77	-0,20	58,00	3,51
10	11,77	-0,20	11	11,76	-0,19	52,69	0,55
11	11,76	-0,19	12	11,74	-0,18	48,16	0,87
12	11,74	-0,18	13	11,66	-0,27	42,30	2,63
13	11,66	-0,27	14	11,63	-0,35	36,42	0,72
14	11,63	-0,35	15	11,62	-0,38	24,39	0,35
15	11,62	-0,38	16	11,60	-0,41	19,27	0,28
16	11,60	-0,41	17	11,57	-0,48	13,86	0,25
17	11,57	-0,48	18	11,57	-0,49	8,45	0,05
2	12,62	0,01	19	12,62	0,00	31,33	0,16
19	12,62	0,00	20	12,57	-0,06	23,52	0,83
20	12,57	-0,06	21	12,56	-0,08	15,68	0,10
21	12,56	-0,08	22	12,55	-0,10	7,84	0,04
3	12,44	0,10	23	12,40	0,06	83,90	3,18
23	12,40	0,06	24	12,32	-0,02	75,61	5,13
24	12,32	-0,02	25	12,27	-0,07	37,87	1,28
6	12,03	0,13	26	12,00	0,17	112,47	2,57
26	12,00	0,17	27	11,97	0,23	107,52	3,29
27	11,97	0,23	28	11,83	0,31	102,61	11,15
28	11,83	0,31	29	11,72	0,39	98,03	7,73
29	11,72	0,39	30	11,68	0,49	87,01	3,84
30	11,68	0,49	31	11,63	0,41	40,15	1,57
31	11,63	0,41	32	11,61	0,39	26,01	0,21
32	11,61	0,39	33	11,61	0,38	6,17	0,01

Test sisteminin temel durumda analizinin gerçekleştirilmesi diğer durumlarla karşılaştırılabilmesi için gereklidir. Çalışmanın devamında diğer durumlarla temel durum gerilim genlikleri, toplam güç kayıpları ve hatlardan akan akımlar üzerinden kıyaslanmıştır.

Test sistemindeki temel gerilim değeri 12,66 kV 'tur. Gerilimlerin %10'luk sınır değerler içerisinde olduğu gözükmemektedir. Hat sonlarında (18. Bara, 33. Bara) gerilimin düştüğü gözlenmektedir. Test sisteminin toplam kaybı ise 200,53 kW'tır. Gerçekleşen kaybın büyük çoğunluğu fider başlangıcındaki hatlarda gerçekleşmektedir. Şebekeden çekilen akımının azaltılmasıyla bu kayıpların azaltılabileceği ve gerilim profillerinin iyileştirilebileceği bilinmektedir. Baralardaki gerilimin genliği ve açısı önceki bölümlerde Şekil 3.2'de gösterilmiştir, bu nedenle tekrardan verilmemiştir.

4.2 Bir Adet DÜ Ekli Durum

Bu kısımda şebekeye farklı boyut ve üretim sınır değerlerinde sadece bir adet DÜ birimi eklenmiştir. Farklı boyut ve üretim sınır değerlerine göre gerçekleştirilen analizin sonuçları Çizelge 4.3'te verilmiştir.

Çizelge 4.3 : Dağıtım şebekesine bir adet DÜ eklenmesi.

No	DÜ Bara	MW	MVA _r	Kayıp (kW)	Süre (s)
1	30	0,77	0,64	94,98	3,24
2	30	0,85	0,53	96,26	3,20
3	30	1,00	0,00	126,60	3,21
4	28	1,56	1,25	64,14	3,20
5	28	1,70	1,05	65,92	3,46
6	6	2,00	0,00	108,23	3,34
7	6	2,47	1,70	61,39	3,25
8	6	2,55	1,58	61,67	3,15
9	6	2,56	0,00	103,85	3,17

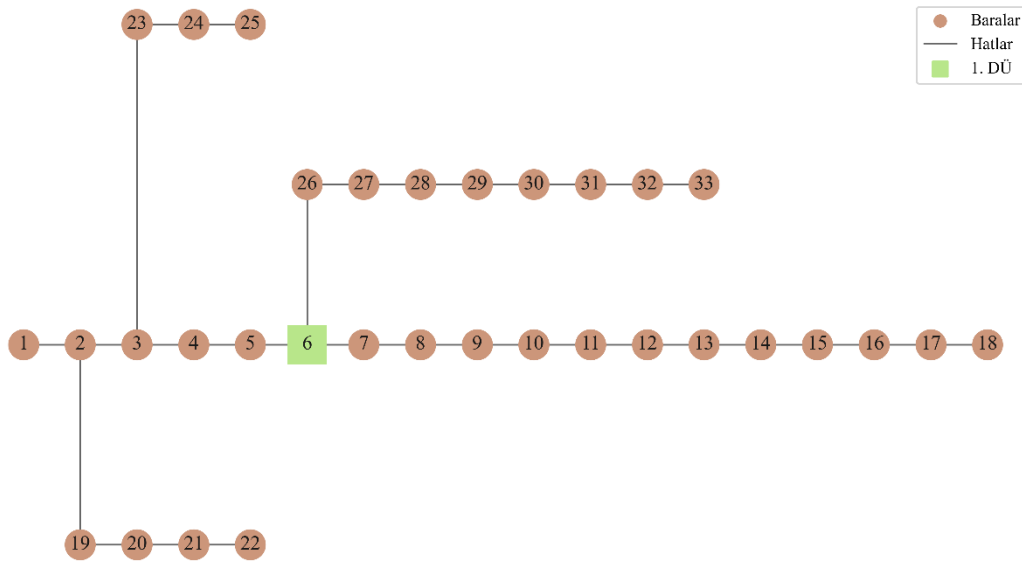
Çizelgede verilen amaç fonksiyonu değerleri incelendiğinde en iyi sonucun 7 numaralı durumda elde edildiği görülebilmektedir. Genellikle sisteme sadece aktif güç verilen durumların diğerlerine göre oldukça kötü durumda olduğu açıktır. Nispeten düşük olan bu etkinin temelindeki neden sistemin ihtiyacı olan reaktif enerjiyi sisteme sağlayamamasından kaynaklıdır. Yine de vurgulamak gerekir ki bu durumlar şebeke kayıplarını en az %40'a kadar azaltmaktadır. Bununla birlikte bu elemanların şebekeye

reaktif enerji sağlayan elemanlarla birlikte kullanılması veya buna göre planlanması gerektiği apaçık ortadadır.

Diğer bir önemli sonuç sistemdeki yerleştirilecek olan D sınır değerleri belirli bir seviyenin altındayken hat sonundaki baraların en uygun bara olarak belirlendiği görülmektedir. Bu oldukça önemli bir sonuçtur. nk kısıtların bara seçimindeki önemi ortaya çıkmaktadır. Literatürdeki alışmalarda 6. Baranın en uygun olduğu konusunda bir fikir birliği olmasına rağmen bu durumun esnek D retim aralığında mümkün olduğunun belirtilmesi gerekmektedir. Kısıtlı retim veya D boyutlandırılmasında en uygun bara yerinin 28 veya 30 olabildiği görülmektedir.

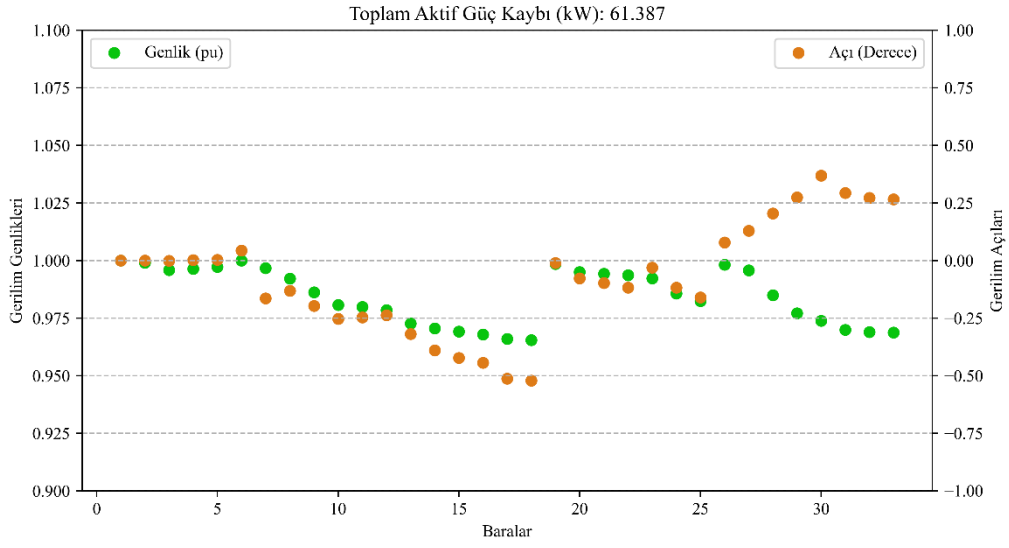
Son olarak tüm analizler yaklaşık eşit sürede tamamlanmıştır. Çalışmanın ilerleyen kısımlarında da bir D biriminin yerleştirilmesi benzer bir süre aldığı için her adım da tekrar belirtilmeyecektir.

7 numaralı analizde bara ve hatlarına göre detaylı sonuçları Ek –B kısmında verilmiştir. şebekeye D'nn yerleşimi şekil 4.1'de ve baraların genlik ve açı değerleri şekil 4.2'de verilmiştir.



şekil 4.1 : 7 numaralı analizdeki D'min şebekeye yerleştirilmesi

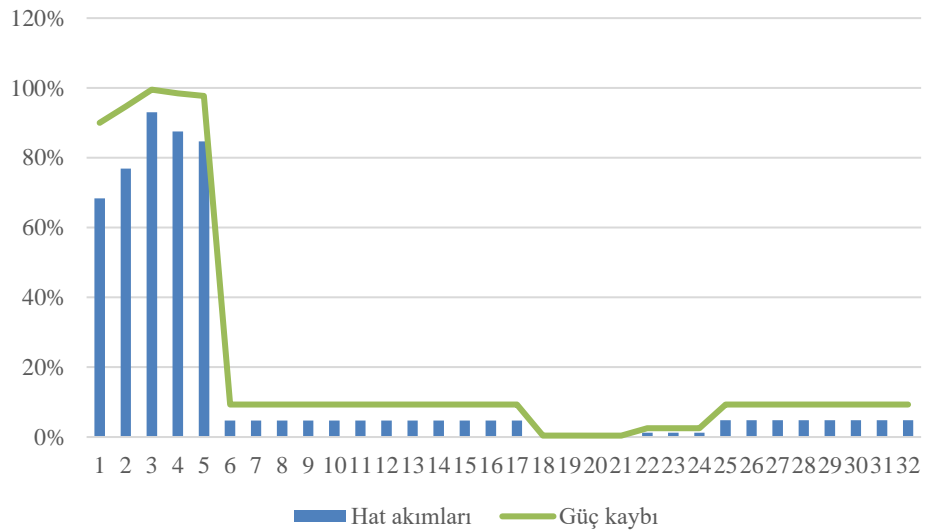
Verilen şekilde eklenen D biriminin tüm hat sonlarına yaklaşık yakınlıkta olduğu dikkat çekmektedir.



Şekil 4.2 : 7 numaralı analiz baraları genlik ve açıları.

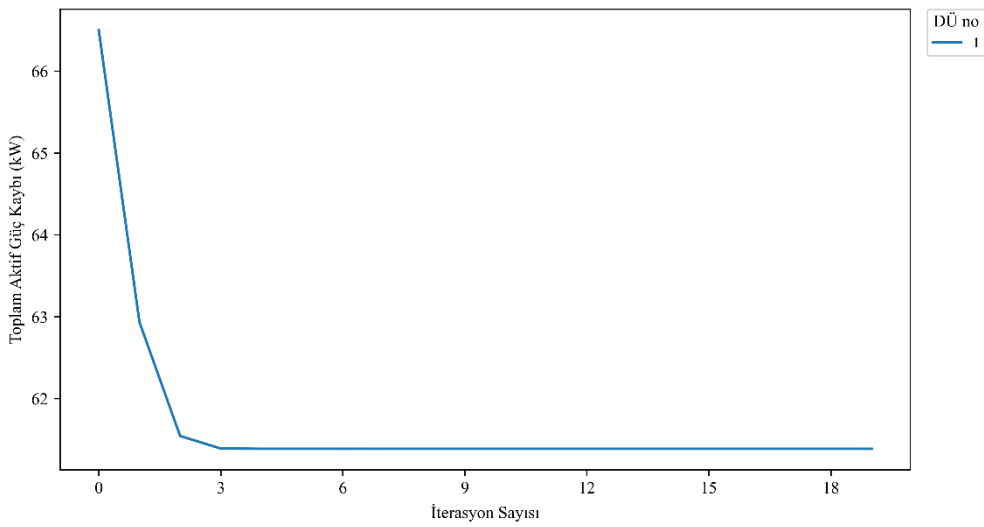
Şekil 4.2’de gerilim profillerinin ana hat üzerinde düzeltildiği görülmektedir. Fakat yine de hat sonlarında gerilim düşümleri gerçekleşmektedir. Bunlarında da azaltılması ve gerilim profillerinin iyileştirilmesi çalışmanın ilerleyen kısımlarında gerçekleştirilecektir.

Bara gerilimleriyle beraber hat akımlarının da incelenmesi oldukça önemlidir. Tüm bu incelemelerin anlamlı bir şekilde gerçekleştirilebilmesi için şebekenin temel değerleri göz önünde bulundurularak kıyaslaması gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.3’te 7 numaralı analiz baralarının temel durumuyla kıyaslanması verilmiştir.



Şekil 4.3 : 7 numaralı analiz baralarının hat akımları ve kayıpları açısından temel durumuyla kıyaslanması.

Şekilde kayıpların azaltıldığı ve hat kapasitelerinin artırıldığı açıkça görülmektedir. Bununla birlikte özellikle fider başında (1-5 arasında) hatlardan akan akımlar %68'in ve güç kayıpları %90'ın üzerinde azaltılmıştır. Ayrıca hatlardaki akımlar ortalama %16 azaltılırken, hatlardaki kayıplar %21 azaltılmıştır. Aynı zamanda ana şebekeden çekilen akım %68 azaltılırken, toplam kayıp %69 azaltılmıştır. İşletme kayıpları açısından dağıtım operatörleri için oldukça değerli bir iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Son olarak amaç fonksiyonunun iterasyon sayısına göre değişimi Şekil 4.4'te verilmiştir.



Şekil 4.4 : 7 numaralı analizin amaç fonksiyonunun iterasyona göre değişimi.

İterasyon sayısının belirli bir aşamadan sonra sabit olduğu görülebilmektedir. Aslında süreleri iyileştirme adına iterasyon sayısının azaltılması mümkündür. Fakat olası en iyi sonuçların kaçırılmaması için iterasyon sayısı azaltılmamıştır. İlerleyen kısımlarda iterasyon sayısına göre amaç fonksiyonunun değişimi gösterilmemiştir. Çalışmanın devamında test sistemine birden fazla DÜ eklenmesi durumunda şebekenin performansları incelenecektir.

4.3 İki Adet DÜ Ekli Durum

Şebekeye 2 adet DÜ ekli durumların sonuçları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

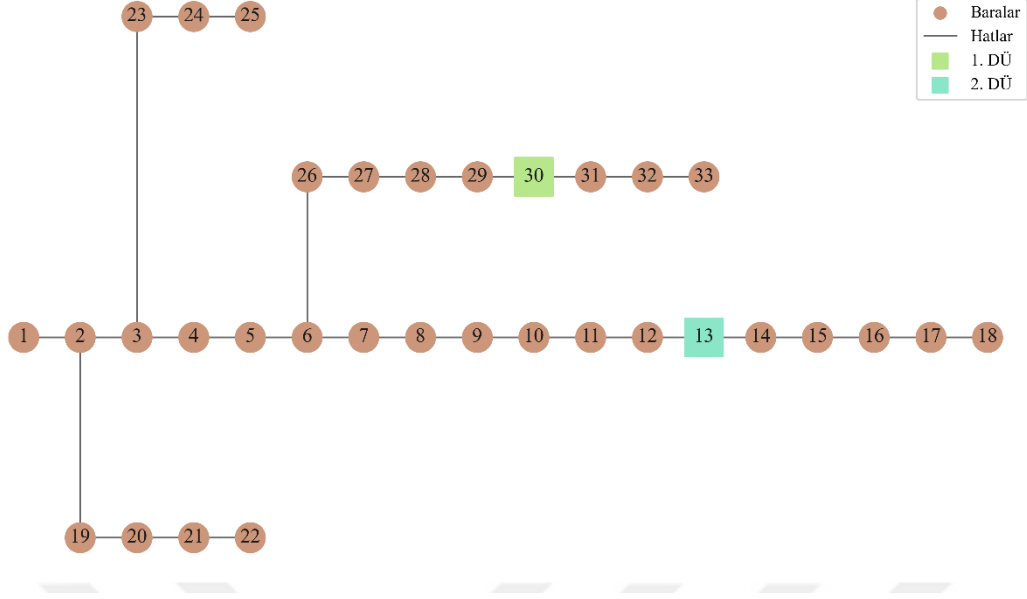
Çizelge 4.4 : Dağıtım şebekesine iki adet DÜ eklenmesi.

No	DÜ Bara	MW	MVAr	DÜ Bara	MW	MVAr	Kayıp (kW)
10	31	0,65	0,53	26	0,70	0,46	63,33
11	31	0,71	0,44	6	0,71	0,44	64,43
12	31	0,83	0,00	28	0,83	0,00	109,59
13	30	1,29	1,06	13	0,80	0,40	29,05
14	30	1,42	0,88	28	0,53	0,33	60,21
15	26	1,67	0,00	14	0,67	0,00	89,72
16	28	1,63	1,31	13	0,70	0,33	37,71
17	6	2,13	1,32	31	0,68	0,42	40,14
18	6	2,50	0,00	9	0,42	0,00	99,10

Sonuçlar incelendiğinde eklenen ikinci DÜ birimin etkisi açıkça görülmektedir. Tüm DÜ birimlerinin boyutları azaltılmasına rağmen ayrı ayrı eklenen DÜ birimlerinin sisteme daha faydalı olduğu söylenmesi gerekir. Bu oldukça önemli bir sonuçtur. Bir önceki kısımda analizde eklenen güç daha fazla olmasına rağmen eklenecek gücün parçalanarak/ bölünerek eklenmesi sistemin kayıplarının azaltılmasında daha etkilidir.

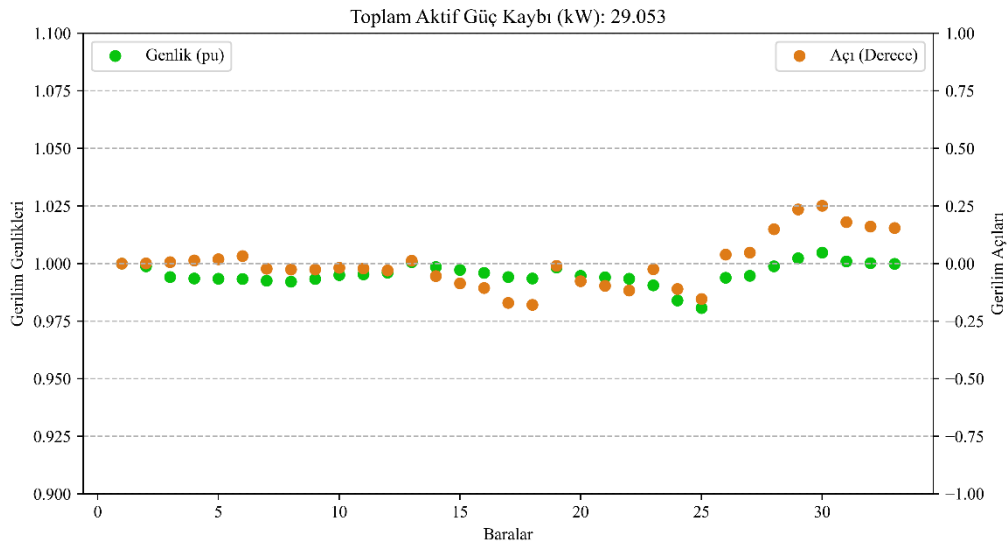
En iyi sonuç olan 13. analizden bahsetmek gerekirse ileride eklenecek 3. ve 4. DÜ ile kıyaslanabilecek düzeydedir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta ilk eklenen DÜ birimi en iyi baraya (6) değil de boyut kısıtlarından dolayı en uygun olan baraya (30) yerleştirilmesidir. Bu nedenle DÜ sayısı ile beraber gücün paylaşılmasının önemi açıkça ortaya çıkmaktadır. Planlanarak yerleştirilecek DÜ birimlerinin faydası en üst düzeyde olacağı aşikardır.

Son olarak bir önceki DÜ eklemesinde olduğu gibi sadece aktif enerji sağlayan DÜ birimlerinin sistemin ihtiyacını karşılamada yetersiz olduğunu söylemek gerekir. Bu kısımdaki en kötü sonuçlar yine bu durumlardan elde edilmiştir. Dolayısıyla sadece aktif enerji veren sistemlerin sistemin işletilmesinde en uygun durum olmadığı kanısı güçlenmiştir. 13 numaralı analizin bara ve hatlarına göre detaylı sonuçları Ek-B kısmında verilmiştir. Şebekeye DÜ'nün yerleşimi Şekil 4.5'de ve baraların genlik ve açı değerleri Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.5 : 13 numaralı analizdeki DÜ'nün şebekeye yerleştirilmesi.

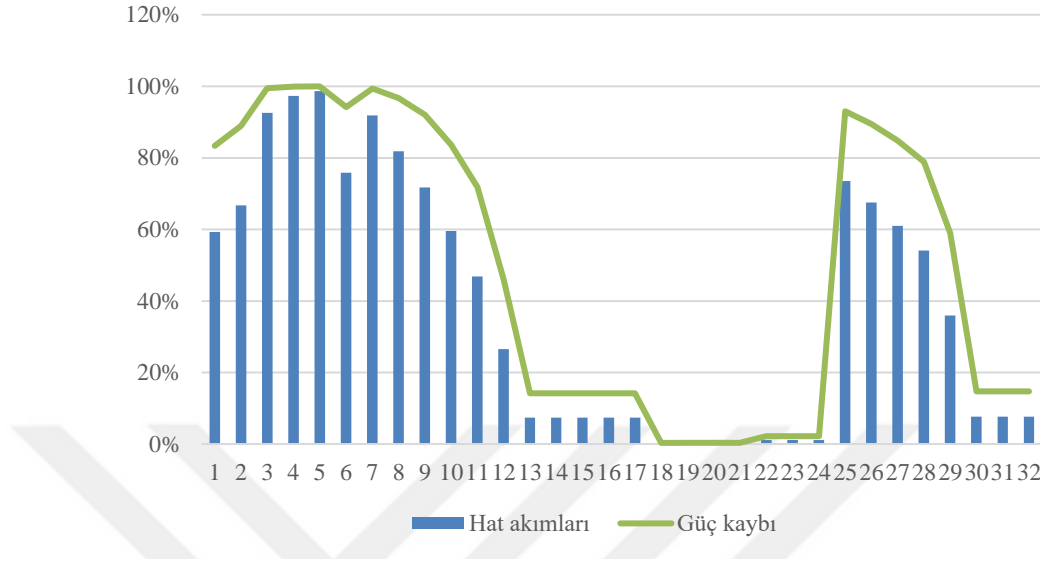
7 numaralı analizden farklı olarak 6. Baraya herhangi bir DÜ yerleştirilmesi yapılmamıştır. Bunun yerine toplamda daha küçük boyutlu iki DÜ hat sonlarına yakın yerleştirilmiştir. Böylelikle sınır değerlerin değiştirilerek yapılan yerleştirme işleminin avantajları da oraya çıkmaktadır. Şekil 4.6'da analizin gerilim profilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.6 : 13 numaralı analizin bara genlik ve açıları.

Şekiller incelendiğinde eklenen DÜ birimlerinin gerilim düşümlerinin gerçekleştiği hat sonlarına eklendiği görülmektedir. Bu sayede bara genliklerinin muazzam bir şekilde iyileştirildiği göz önünde bulundurulmalıdır. Bununla birlikte şebekeye doğru noktalarda sağlanan reaktif enerjiyle beraber sistemdeki açılarında 0'a yaklaştığı

gözden kaçmamalıdır. Bu çalışmanın temelinde de çok önemli bir yere sahip olan gerilim açılarının 0'a yakınsamasıyla birlikte kayıplar ciddi derecede azaltılmıştır. Şekil 4.7'de 13 numaralı analiz için temel durumla kıyaslanması verilmiştir.



Şekil 4.7 : 13 numaralı analiz için hat akımları ve kayıpları açısından temel durumla kıyaslanması.

Şekilde kayıpların azaltıldığı ve hat kapasitelerinin artırıldığı açıkça görülmektedir. Bir önceki eklemeye farklı olarak hat sonlarındaki kayıplarında azaltıldığı görülmektedir. Bu da doğal olarak toplam kaybı azalmıştır. Bununla birlikte ana hat üzerindeki akımlarının azaltılmasının etkisi diğer hatlara da (7-10 arası) yansımıştır. Mutlak olarak akımların ve kayıpların daha çok azaltılması gerçekleştirilmiştir.

Fider hattının başında (1-10 arası) %83 üzerinde kayıplar azaltılırken, hat akımları %59'ın üzerinde azaltılmıştır. Hatlardaki akımlar ortalama %38 azaltılırken hatlardaki kayıplar ortalama %49 azaltılmıştır. Bununla birlikte toplam kayıplar %86 azaltılırken, şebekeden çekilen akım %59 azaltılmıştır. Bir önceki çalışmaya kıyasla gelinen nokta kat kat iyi olurken sistemin iyileştirilmesi konusunda eklenen ekstra bir adet DÜ toplam kayıplar konusunda %69'dan %86 çıkartıldığı özellikle belirtilmelidir.

Son olarak eklenen toplam kurulu güçten bahsedilmesi sadece kayıplar özelinde değil de mutlak surette mantıklı olan işlem olduğu için bahsedilmesi gerekir. 1 adet 2,47 MW/ 1,70 MVar ilk durumda eklenmişken, 1,29 MW/ 1,06 MVar ile 0,8 MW/ 0,4 MVar ikinci durumda eklenmiştir. İkinci durumdaki güç kabaca toplandığında sonuç 2,09 MW/ 1,46 MVar olmaktadır. Bu açıdan sisteme verilen toplam enerji daha az olurken sistemin işletilmesi konusunda alınan fayda çok daha fazladır. Tabii ki de

kurulum maliyetleri göz önünde bulundurulmak zorundadır ve iki farklı DÜ biriminin maliyetleri kurulum açısından daha fazla olacaktır. Ancak uzun vadeli planlamalarda incelenmesi gereken oldukça önemli bir durum olduğu ve dikkat edilmesi gerektiği de aşıkardır.

4.4 Üç Adet DÜ Ekli Durum

Şebekeye 3 DÜ biriminin eklenmesiyle elde edilen sonuçlar Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5 : Dağıtım şebekesine üç adet DÜ eklenmesi.

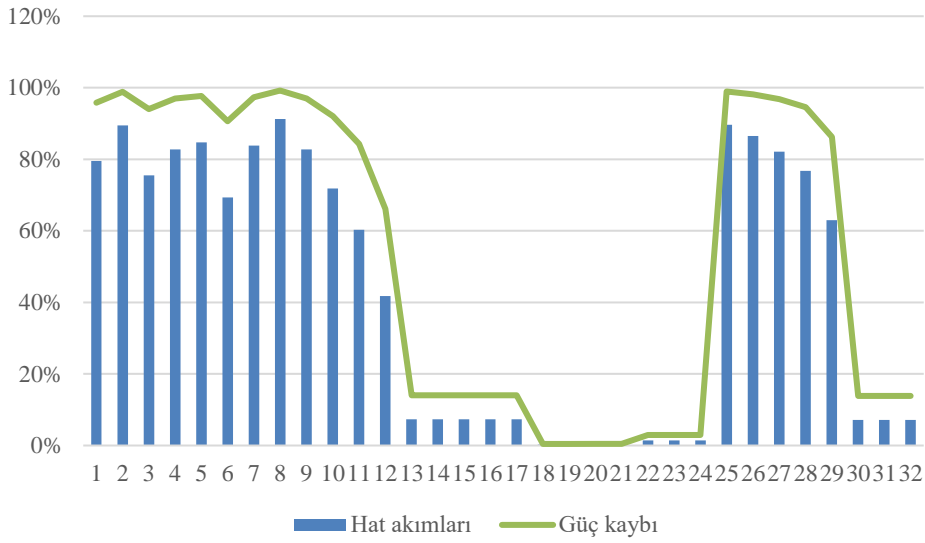
No	B.	MW	MVA _r	B.	MW	MVA _r	B.	MW	MVA _r	Kayıp (kW)
19	31	0,52	0,42	28	0,52	0,42	29	0,52	0,41	56,61
20	31	0,57	0,35	28	0,57	0,35	29	0,57	0,35	58,23
21	31	0,67	0,00	28	0,67	0,00	28	0,49	0,00	108,07
22	30	1,03	0,85	4	1,16	0,66	13	0,72	0,37	19,98
23	30	1,13	0,70	28	0,81	0,50	28	0,00	0,00	57,76
24	28	1,33	0,00	6	1,22	0,00	16	0,41	0,00	87,97
25	28	1,56	1,25	13	0,72	0,34	31	0,15	0,15	35,12
26	28	1,70	1,05	31	0,41	0,26	29	0,00	0,00	59,19
27	6	2,00	0,00	13	0,58	0,00	32	0,42	0,00	82,34

(*): DÜ Bara

3 DÜ ekli durumların sonuçları incelendiğinde en iyi sonucun 22 numaralı analizde elde edildiği görülmektedir. Uygulanan analizin sınır değerleri incelendiğinde esnek üretim kapasitesine sahip durumlardan çok daha iyi bir performans elde edildiği görülmektedir. Bu da dağıtım şebekesine eklenecek DÜ'lerin planlanmasının işletmeye sağlayacağı faydaları göz önüne alındığında ne kadar önemli olduğunu vurgulamaktadır. Bu çalışmada hesaba katılmasa bile gelecekteki yük artışı da DÜ birimlerinin yerlerinin belirlenirken hesaba katılması gerekmektedir.

Çalışmada elde edilen sonuçlarda üçüncü DÜ eklenirken 23 ve 26 analizlerde hesaplanan değerlerin 0 olduğu gözükmemektedir. Bunun anlamı algoritma belirlediği küme buraya yerleştirilip fayda sağlayabilecek bir DÜ birimi bulamamıştır.

Farklı DÜ birimlerinde aynı baralar seçilmesinin nedeniyse algoritmanın en iyi sonuç konusunda spesifik olarak o barada ısrarcı olmasıdır. Algoritma inşa edilirken DÜ eklendiğinde o baranın çıkartılması düşünülmüştür. Fakat bunun ilerleyen aşamalarda iyileştirme amacıyla gereken boyut artışlarının olumsuz etkileyeceğinden dolayı bundan vazgeçilmiştir.



Şekil 4.10 : 22 numaralı analiz için hat akımları ve güç kayıpları açısından temel durumla kıyaslanması.

Hatlardaki akımlar %43, kayıplar %53 azaltılmıştır. Toplam kayıplar %90 azaltılırken hat akımlarının ortalaması %79 azaltılmıştır. Bununla birlikte DÜ'lerin hat başındaki ve sonundaki etkileri giderek artmıştır. Hat başında (1-10) %60'ın üzerinde hat akımları azaltılırken, güç kayıpları %92'in üzerinde azaltılmaktadır. Fakat eklenen 3. DÜ'nün şebekeye olan faydalarının azaldığı eklenen 2. DÜ kadar etkili olmadığı unutulmamalıdır.

4.5 Dört Adet DÜ Ekli Durum

Şebekeye 4 DÜ biriminin eklenmesiyle elde edilen sonuçlar Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6 : Dağıtım şebekesine dört adet DÜ eklenmesi.

No	*	**	***	*	**	***	*	**	***	*	**	***	↓
28	32	0,39	0,31	30	0,38	0,32	26	0,42	0,27	27	0,42	0,28	50,26
29	32	0,43	0,26	30	0,43	0,26	27	0,43	0,26	28	0,43	0,26	53,29
30	32	0,50	0,00	28	0,50	0,00	28	0,50	0,00	6	0,50	0,00	99,24
31	30	0,77	0,64	6	0,85	0,53	28	0,54	0,43	14	0,52	0,23	23,34
32	30	0,85	0,53	6	0,85	0,53	28	0,58	0,36	32	0,08	0,05	41,42
33	30	1,00	0,00	28	0,83	0,00	6	0,73	0,00	15	0,42	0,00	91,72
34	30	1,16	0,95	13	0,83	0,43	28	0,15	0,16	28	0,00	0,00	27,72
35	30	1,28	0,79	28	0,67	0,41	28	0,00	0,00	28	0,00	0,00	58,76
36	28	1,50	0,00	6	1,05	0,00	16	0,41	0,00	6	0,00	0,00	89,90

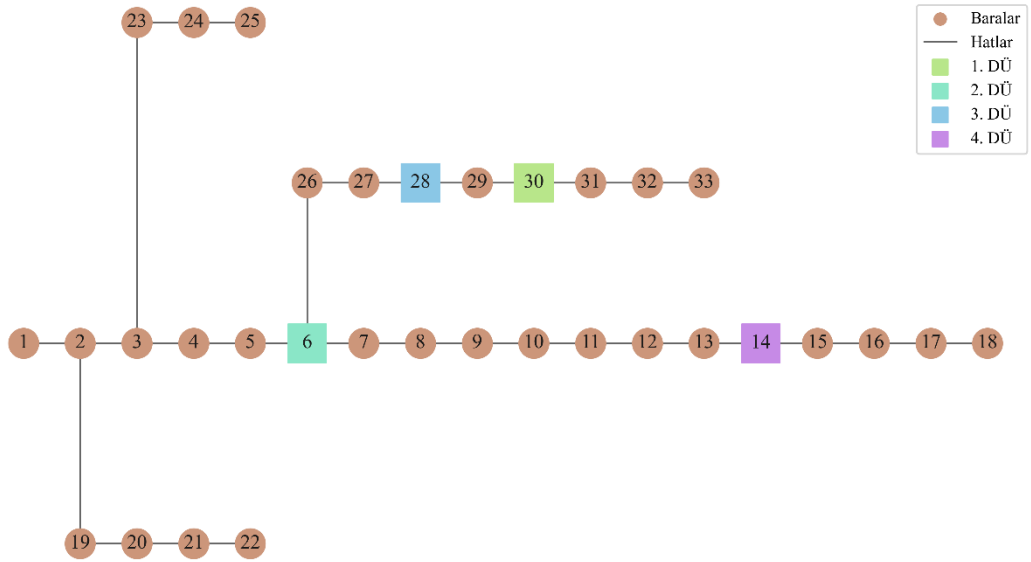
(*): DÜ Bara

(**): MW

(***): MVar

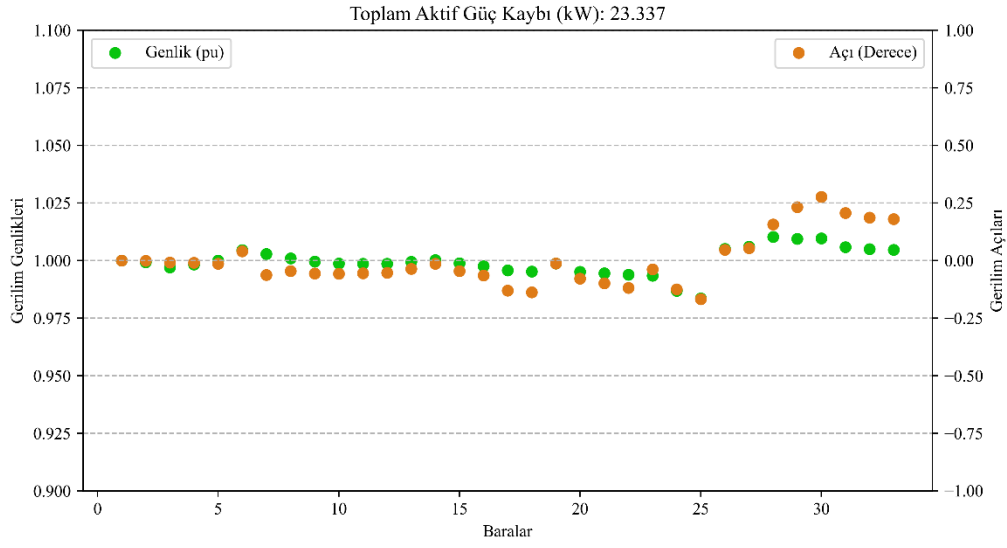
(↓): Kayıp (kW)

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde genel olarak bir önceki sonuçlardan bir nebze daha iyi olduğu görülmektedir. Fakat 34-36 analizlerde herhangi bir yerleştirme yapılamadığı da göz önünde bulundurulmalıdır. 31 numaralı durumun en iyi durum olduğu görülmektedir. Fakat bir önceki analizde 22 numaralı durumla kıyaslandığında elde edilen sonucun yeteri kadar iyi olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte 4. DÜ'nün eklenmesiyle beraber kayıplarda ciddi bir kayıp oluşmayacağı da diğer sonuçlarla beraber görülmektedir. Söz konusu test sistem için şebekeye eklenmesi gereken DÜ sayısının 3 olduğu belirtilmelidir. Ek-B'de güç akışının sonuçları detaylı olarak verilmiştir. 31 numaralı durumdaki DÜ'lerin yerlerinin gösterimi Şekil 4.11'de gösterilmiştir.



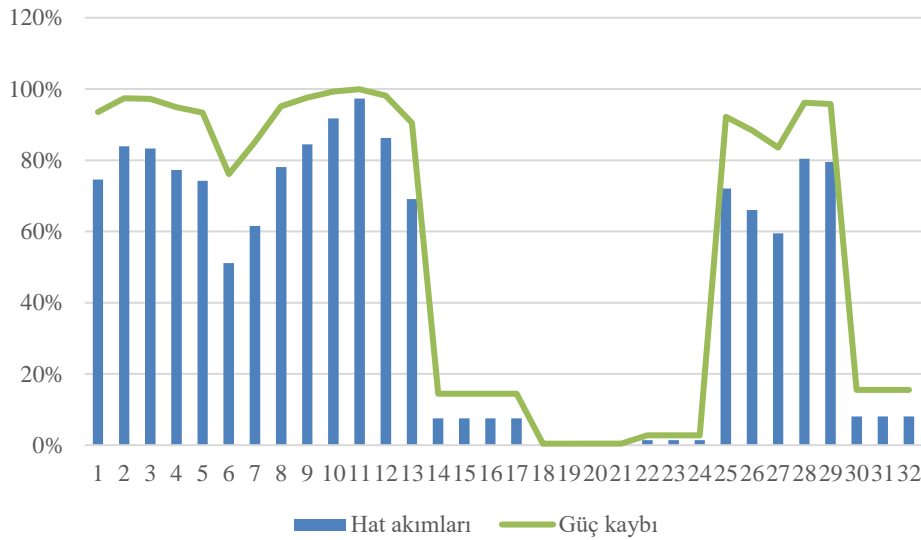
Şekil 4.11 : 31 numaralı analizdeki DÜ'nün şebekeye yerleştirilmesi.

DÜ'lerin yerleşimleri incelendiğinde olabildiğince etkili bir dağılım yapıldığı görülmektedir. Burada ayrıca belirtilmesi gereken bir konu dağıtım şebekesi 1. Baradan ana şebekeye bağlıdır. Bu durum göz önüne alındığında kaynakların dağılımı yüklere göre düzgün bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.12'de 31 numaralı analizin baraların değerleri verilmiştir.



Şekil 4.12 : 31 numaralı analiz için bara genlik ve açıları.

Gerilim profili açısından incelendiğinde 22 numaralı analizden daha düzgün bir gerilim profiline sahip olduğu görülmektedir. Gerilimlerin ortalaması 1 pu olarak hesaplanmıştır. Bunun sebebi üretilen gücün daha fazla parçaya bölünerek dağıtım şebekesinin daha fazla noktasından dağıtılmış olmasıdır. Bu çalışma kapsamında optimizasyon algoritmasında sadece kayıplar amaç fonksiyonu olarak kullanılmıştır. Fakat gerilim genliklerinin 1 pu yakınlığı da kullanılsaydı 31 numaralı durum 22'ye yakın fakat daha iyi bir durum olarak ön plana çıkabilirdi. 31 numaralı durumun temel durum ile kıyaslanması Şekil 4.13'te verilmiştir.



Şekil 4.13 : 31 numaralı analiz için hat akımları ve kayıpları açısından temel durumla kıyaslanması.

Şekil incelendiğinde DÜ'lerin hat başındaki ve hat sonundaki etkisinin arttığı görülmektedir. Fakat buna rağmen güç kaybında küçük düşüşler yaşanmıştır.

Hatlardaki akımlar ortalama %44, kayıplar %55 azaltılmıştır. Toplam kayıplar %88 azaltılırken hat akımlarının ortalaması %74 azaltılmıştır. Bu bir önceki durumla kıyaslandığında toplam kayıplardaki etkinin azaltılmasına ve hat akımlarındaki etkinin arttırılmasına tekabül etmektedir. Fakat yine de belirtilmelidir ki etkileri birbirlerine çok yakın olduğu ve etkili bir faydasının olmadığı gözlenebildiği için 4. DÜ'nün şebekeye eklenmesi tercih edilmemelidir. Gerçek sistemler incelenirken bu elemanların kurulum, işletme ve bakım maliyetleri getireceği faydaların maddi değerleriyle uzun vadede incelenerek karar verilmesi gerekir. Aynı zamanda sisteme eklenecek DÜ'lerin yenilenebilir olmasının çevreye, doğaya ve dolaylı olarak tüm canlılara faydalı olacağı göz önünde bulundurulmalıdır.

3 ve 4 DÜ ekli durumlar birbirlerine yakın olsalar da hem daha az DÜ olduğu için hem de istatistikleri daha iyi olduğu için 3 DÜ ekli durum en iyi sonuç olarak seçilmiştir. Çalışmanın devamında DÜ sayısına göre en iyi durumlar yenilenebilir enerji kaynaklarıyla incelenmiştir.



5. YENİLENEBİLİR KAYNAKLARIN SAATLİK ANALİZİ

Bir önceki bölümde anlık olarak incelenen durumlar bu bölümde yenilenebilir enerji kaynaklarıyla saatlik olarak incelenecektir. Yapılacak saatlik analizde kullanılacak test sisteminin yükleri günlük yük profiline benzetilmiştir. Ayrıca her saat için yükler rastgele olarak değiştirilmiştir. Üretim tarafındaysa güneş ve rüzgâr kaynaklı DÜ'ler için ayrı ayrı analizler gerçekleştirilmiştir. 2. Bölümde verilen modeller güneş ve rüzgâr kaynaklı üretimi belirlemek için kullanılmıştır. Dağıtım şebekesine ekli DÜ'lerin farklı lokasyonlarda buldukları varsayılp ilgili saatin normal dağılımı içerisinde farklı güneş ışınımı, sıcaklık ve rüzgâr değerleri üretilerek güçleri belirlenmiştir. DÜ'lerin şebekeye sadece aktif güç sağladıkları göz önünde bulundurulmuştur.

DÜ'lerin şebekeye sadece aktif enerji vermelerinin yetersiz olması nedeniyle çalışma ayrıca genişletilmiştir. Eklenmesi gereken kurulu güçle beraber reaktif enerjiyi sürekli olarak sağlaması için kompanzasyon birimleri eklenmiştir. İki farklı yenilenebilir enerji türü için kompanzasyon ekli ve ekli olmayan durumlar saatlik olarak incelenmiştir. Bununla beraber baraların genlik değerleri ve kayıplar dağılımlarıyla olasılıklarla incelenmiştir.

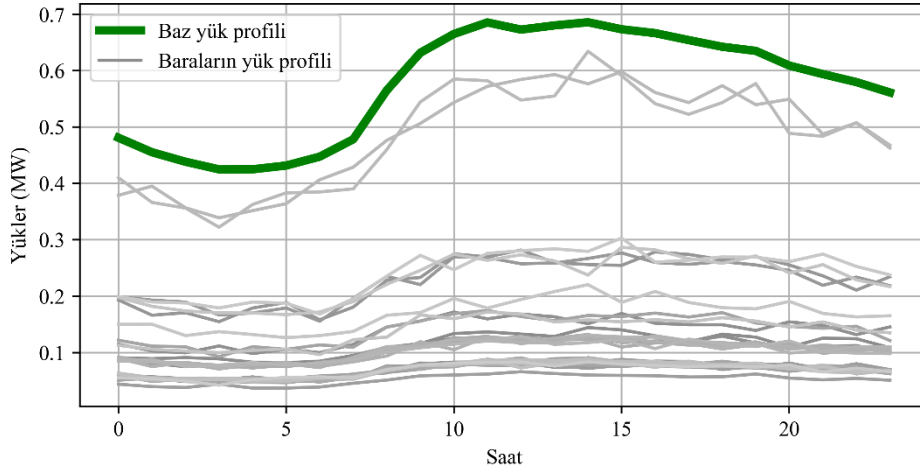
Gerçekleştirilen analizde her saat için hesaplamalar 500 kere tekrar edilmiştir. Her tekrar sırasında DÜ birimleri için güneş ışınımları, sıcaklık ve rüzgâr hızları rastgele olarak üretilmiştir. Kullanılan güneş ışınımları ve sıcaklık değerleri ek-A'da verilmiştir. Kullanılan verilerde 2005-2016 yılları arasında Beşiktaş'ta ölçümlenen değerlere aittir. Her gün ve saat için hesaplanan ortalamalar ve standart sapmaya göre belirlenen 29.03 tarihi için hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Her saat için elde edilen ortalama ve standart sapmaya göre oluşturulan normal dağılım fonksiyonuna göre hesaplamalar gerçekleştirilmiştir. Bunun dışında rüzgâr hızı 2. Bölümde verilen yoğunluk fonksiyonuna göre hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar temel durumdaki ortalama güç kaybına göre incelenmiştir. Bununla birlikte gerilim aşımaları 0.9 pu'e göre değerlendirilmiştir. Yapılan analizler

sırasıyla temel durum için sonrasında sadece yenilenebilir DÜ'lerle ve yenilenebilir DÜ'lerle birlikte kullanılan kompanzasyon sistemleriyle gerçekleştirilmiştir.

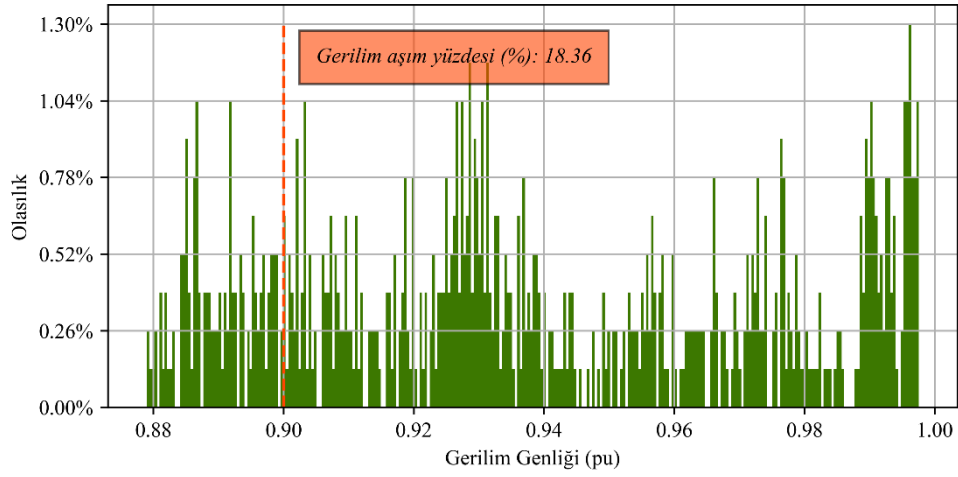
5.1 Temel Durum

Temel durumun incelenmesinde herhangi bir DÜ birimi eklenmeden analiz gerçekleştirilmiştir. Fakat bir önceki bölümden farklı olarak analiz saatlik olarak gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle ortalama güç kayıplarında değişme meydana gelmiştir. Kullanılan yükler günlük yük eğrisine benzetilerek baralardaki talep 24 saatlik olarak oluşturulmuştur. Kullanılan baz yük eğrisi ve oluşturulan bara yükleri Şekil 5.1'de gösterilmiştir.



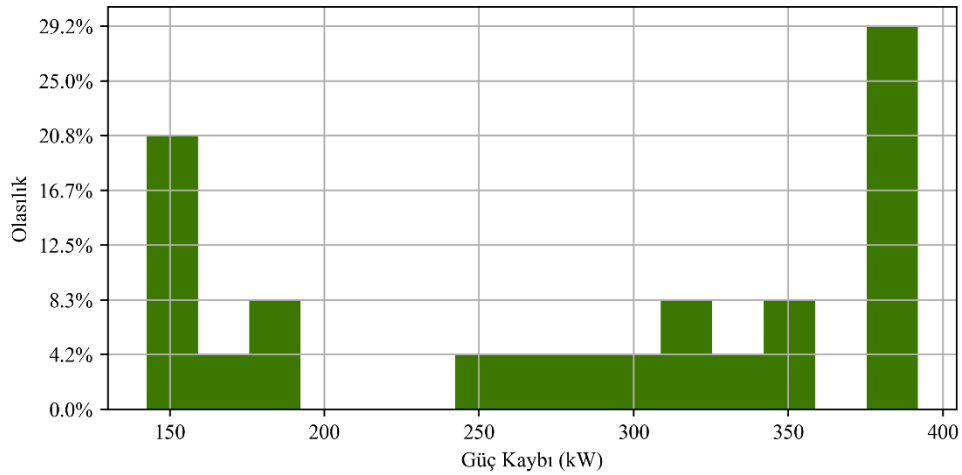
Şekil 5.1 : Baz ve baralardaki saatlik yük profili.

Verilen şekilde görüldüğü gibi baralardaki yükler baz yük profiline benzetilmiştir. Bununla birlikte her saatte rastgelelik sağlanmıştır. Bunun gerçekleştirilmesinin sebebi çalışmayı olabildiğince gerçek sistemlere benzetebilmektir. Temel durumda incelenen veriler gerilim ve güç kayıplarıdır. Şekil 5.2'de temel durumdaki gerilim dağılımları gösterilmiştir.



Şekil 5.2 : Temel durumdaki tüm baraların gerilimlerin dağılımı.

Gerilim dağılımları; baralardaki gerilim genliklerinin alabileceği değerlerinin olasılığı ifade edilmiştir. Burada kritik olan noktalardan bir tanesi gerilim değerlerinin sınır değerlerin altına düşmemesidir. Gerilim profilini oluştururken kullanılan bara gerilimlerine birinci bara verileri sürekli olarak 1 pu olarak kabul edildiği için dahil edilmemiştir. Bunun dışında yapılan analizlerde tüm bara ve saatler hesaba katılarak gerçekleştirilmiştir. Şebekede %18,36 ihtimalle 0.9 pu gerilim sınırın altında kalacağı görülmektedir. Burada genellikle hat sonlarındaki baralarda gerilim düşümlerinin daha fazla karşılaşıldığı hali hazırda önceki bölümlerden bilinmektedir. Fakat her saat ve bara için inceleme yapıldığında temel durumda şebekede gerilim aşımalarının gerçekleşmesi kuvvetle muhtemeldir. Ayrıca güç kayıplarının dağılımı Şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3 : Temel durumdaki tüm toplam şebeke kayıplarının dağılımı.

Güç kayıpları sistemin toplam kaybına göre her saat için hesaplanmıştır. Gerilim dağılımına benzer bir şekilde güç kaybının dağılım fonksiyonu elde edilmiştir. Burada dikkat çeken nokta şebekenin kayıplarının üç kısma ayrılabilir olacak olasıdır. Temel durumda elde edilen bu grafikte puant zamanı diğer zamanlara yakınlaştırmak ana hedef olacaktır. Ayrıca çalışmanın devamında ise temel durumla kıyaslamaların daha kolay gerçekleştirilebilmesi için güç kayıplarının ortalaması alınmıştır. Burada güç kayıplarının ortalaması 280,32 kW olarak hesaplanmıştır.

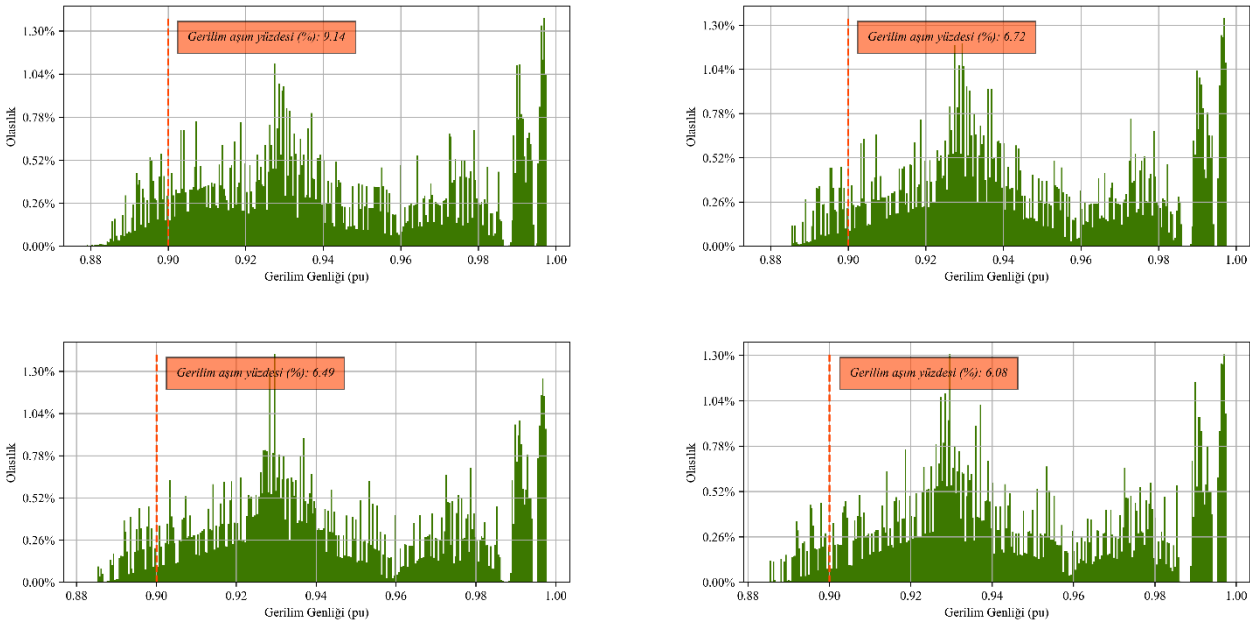
5.2 Sadece Yenilenebilir Enerji Kaynaklı DÜ'ler

5.2.1 Güneş kaynaklı DÜ'ler

Elde edilen grafiklerin kıyaslanmasının kolay olabilmesi için sırasıyla verilmiştir.

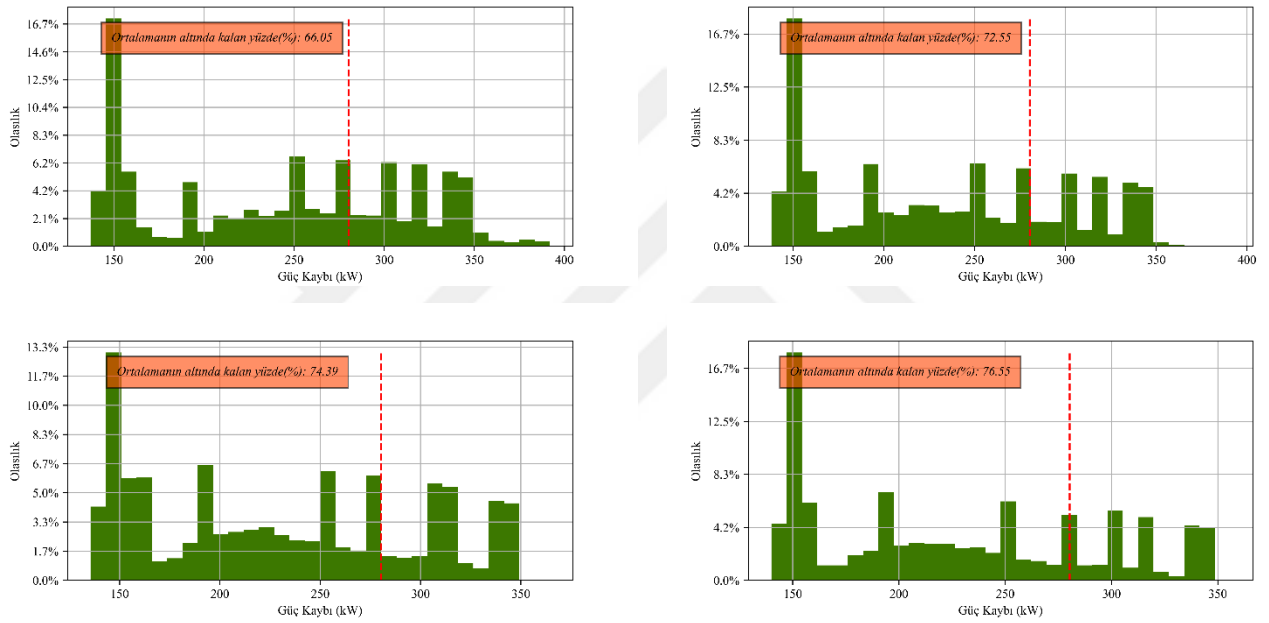
- 1 DÜ ekli durum: Sol üst
- 2 DÜ ekli durum: Sağ üst
- 3 DÜ ekli durum: Sol alt
- 4 DÜ ekli durum: Sağ alt

Gerilim dağılımları Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4 : PV kaynaklı DÜ ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı.

Grafikler incelendiğinde görülmektedir ki kullanılan PV'ler gerilim profilini şebekenin genelinde iyileştirmektedir. Fakat yine de DÜ'lerin sadece aktif güç sağladıkları bu analizlerde gerilim aşımaları engellenememiştir. Bu durum bir önceki bölümde elde edilen bulgular ile benzerlik göstermektedir. Gerilim aşımı yani bara gerilimlerinin 0.9 pu'den düşük olma olasılıkları 1,2,3,4 DÜ ekli durumlar için sırasıyla yüzde 9,14– 6,72 – 6,49 – 6,08'dir. Eklenen her DÜ birimi gerilim aşımalarını düşürmede olumlu katkı sağladığı halde 2. DÜ'den sonra gerilim aşımalarını iyileştirmedeki etkisinin azaldığı görülmektedir. Devamında Şekil 5.5'te güç kayıpları yoğunluk fonksiyonları verilmiştir.



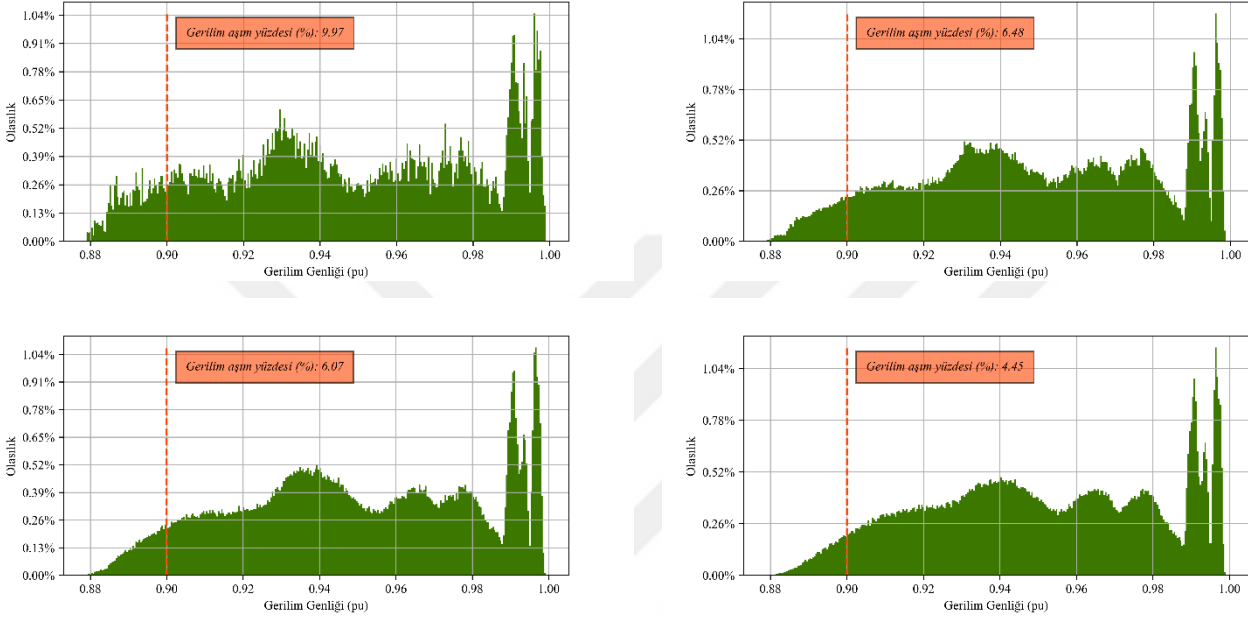
Şekil 5.5 : PV kaynaklı DÜ ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı.

Şekiller incelendiğinde baz durumdaki kayıplarının ortalaması olan 280 kW altında olma ihtimalleri 1,2,3,4 DÜ ekli durumlar için sırasıyla yüzde 66,05 – 72,55 – 74,39 – 76,55'tir. Benzer bir şekilde DÜ eklendikçe kayıpların azaltılmasında olumlu etki sağladığı görülmektedir. 2. DÜ eklendikten sonraki etkisi azalsa gerilim profile olan etkisinden daha fazla bir etkisi olduğu görülmektedir. Burada üç farklı zaman diliminin birbirlerine yaklaştırılmasına ayrıca dikkat edilmesi gerekmektedir. Bununla birlikte 3 ve 4 DÜ ekli durumlarda ana şebekeden çekilen puant gücün de azaltıldığını görülmektedir. Bu kanıya maksimum şebeke kaybının azaltılmasından varılmıştır. Böylelikle DÜ birimlerinin puant zamanda enerji maliyetlerini de azaltabileceği görülmektedir.

Bir sonraki kısımda yapılan analiz ve incelemeler rüzgâr enerjisiyle çalışan DÜ birimleri için yani yük eğrisinde tekrarlanacaktır. Böylelikle benzer çalışma koşullarında bu iki kaynağın birbirleriyle kıyaslanması sağlanabilecektir.

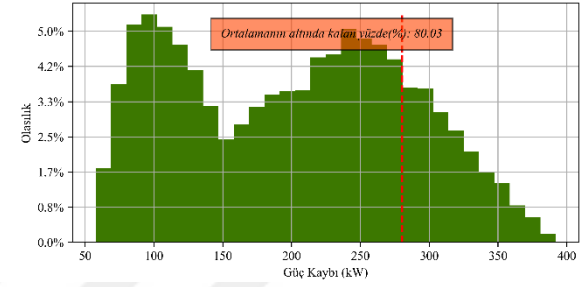
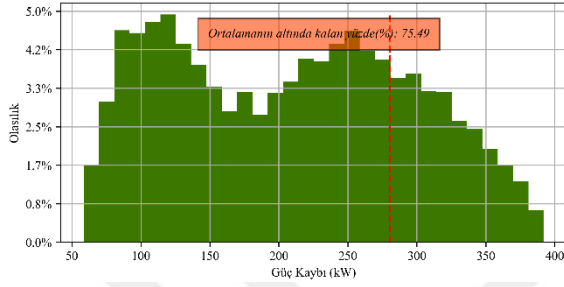
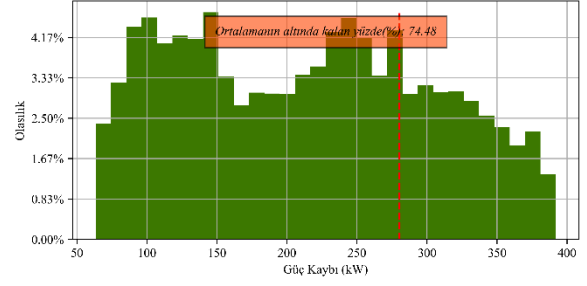
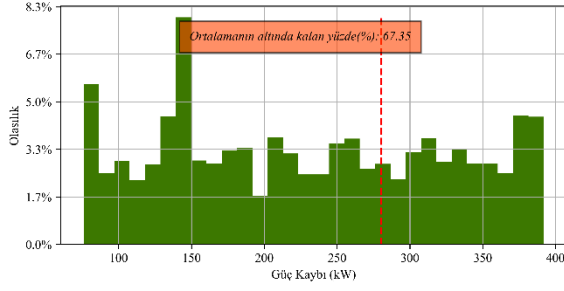
5.2.2 Rüzgâr kaynaklı DÜ'ler

Uygulanan analizin gerilim yoğunluk fonksiyonları Şekil 5.6'da gösterilmiştir.



Şekil 5.6 : Rüzgar kaynaklı DÜ ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı.

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde PV kaynaklı DÜ'lerin sonuçlarıyla benzerlik gösterdiğini söylemek gerekir. Fakat 4 DÜ ekli durumda elde edilen sonuçlar PV'den daha iyidir. Bununla birlikte her DÜ için elde edilen yoğunluk dağılımı daha yaygın olarak elde edilmiştir. Bu durum yoğunluk fonksiyonundaki piklerin az olmasından ve olasılıklarının daha düşük olmasında anlaşılabilir. Bu durumun sebebinin güneş ve rüzgârın karakteristikleriyle bağlantılı olduğu aşıkardır. Güneş kaynaklı DÜ'ler günün belirli bir vaktinde (gece) kesin olarak etkin değillerdir. Fakat rüzgâr her zaman (gece-gündüz) şebekeye enerji verebilme ihtimalleri vardır. Şekil 5.7'de güç kaybının dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.7 : Rüzgar kaynaklı DÜ ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı.

Verilen grafikler incelendiğinde güç kayıplarının azaltılmasındaki etkinin PV'lere benzer olduğu görülmektedir. Şekiller incelendiğinde baz durumdaki kayıplarının ortalaması olan 280 kW altında olma ihtimalleri 1,2,3,4 DÜ ekli durumlar için sırasıyla yüzde 67,35 – 74,48 – 75,49 – 80,03'tir. Fakat gerilimde olduğu gibi rüzgârın üretiminin tüm saatlere yayılmış olması kayıpların dağılımına olan etkisi görülmüştür.

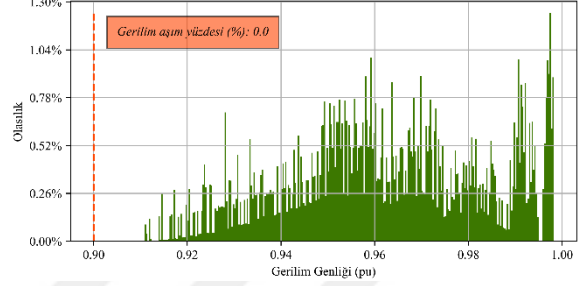
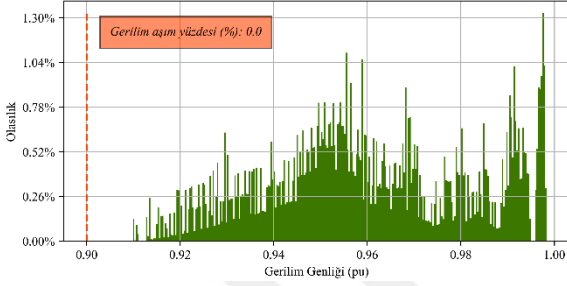
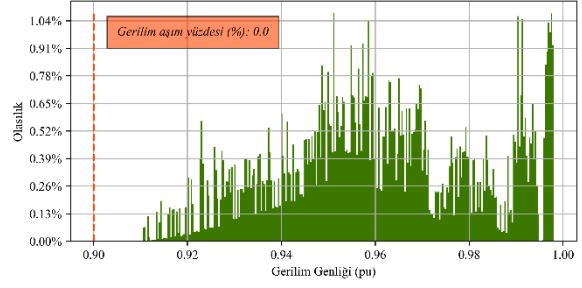
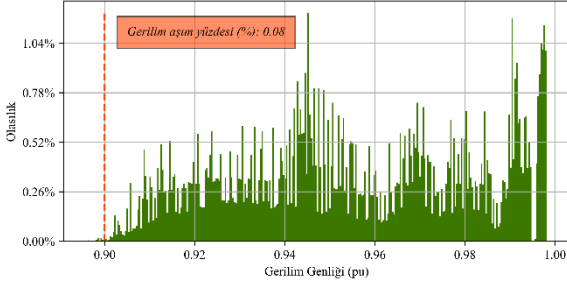
Her iki kaynakta benzer bir etki gösterdiği halde gösterdiği halde rüzgâr gerilim aşımalarının ve kayıplarının azaltılması açısından bir miktar daha iyi olduğu görülmektedir. Ayrıca rüzgârın üretimi her saat gerçekleşebildiği için DÜ'lerin etkisi her zaman görülebilmektedir. Ancak bu durum şebekenin yük eğrisi ve elektrik birim fiyatı göz önünde bulundurularak tercih edilmesi gereken bir durumdur.

5.3 Yenilenebilir Enerji Kaynaklı DÜ'lerle Beraber Kompanzasyon Sistemleri

Bu kısımda yenilenebilir enerji kaynakları kompanzasyon sistemleriyle beraber kullanılmıştır. Böylelikle sisteme reaktif enerjide sağlanmış olacaktır.

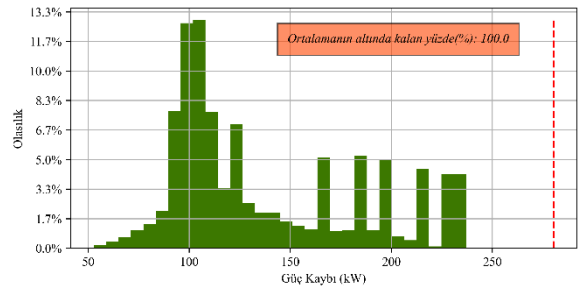
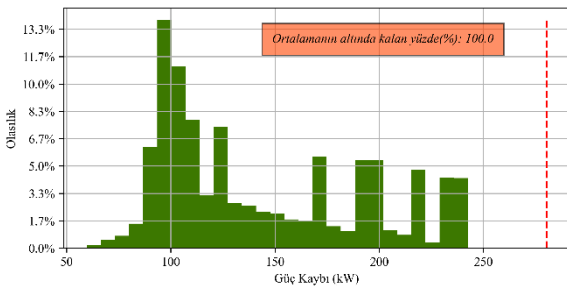
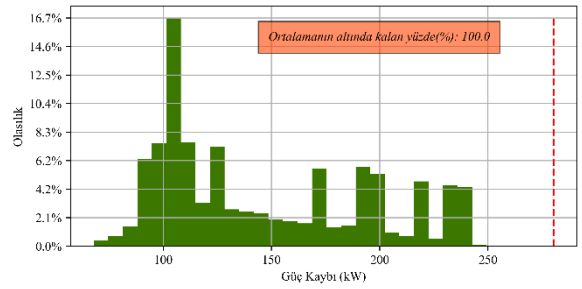
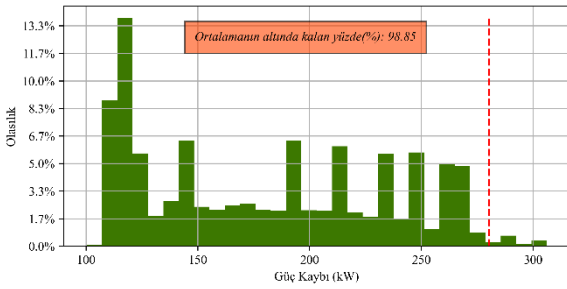
5.3.1 Güneş kaynaklı DÜ'ler

Şekil 5.8'de kompanzasyon sistemleriyle beraber kullanılan güneş kaynaklı DÜ'lerin gerilim dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.8 : PV kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı.

Şekilden görüldüğü üzere 2, 3 ve 4 DÜ ekli durumlarda gerilim aşmaları gerçekleşmemektedir. Bunun dışında sadece 1 DÜ ekli durumda %0,08 gerilim aşımı gerçekleşmektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin kompanzasyon sistemleriyle kullanılması %18 olan gerilim aşmalarını düzeltmede oldukça etkili olduğu görülmektedir. Devamında Şekil 5.9'da güç kaybının dağılımı verilmiştir.

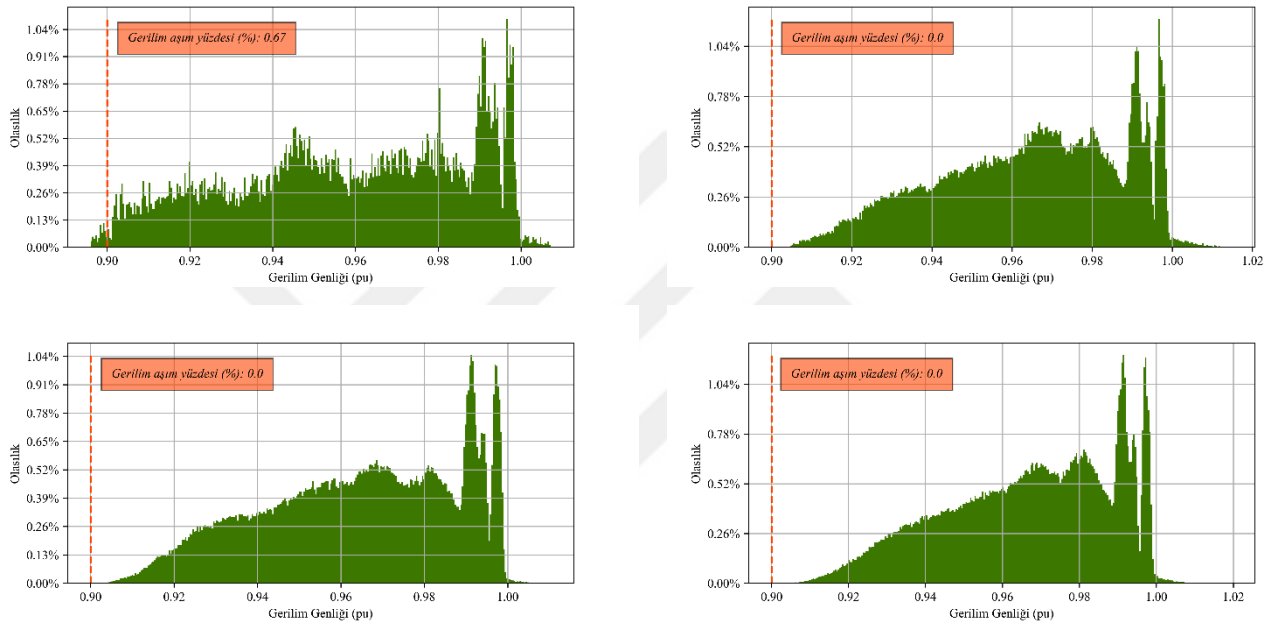


Şekil 5.9 : PV kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı.

Güç kayıpları incelendiğinde kompanzasyon sistemleriyle beraber kullanılan PV DÜ'lerin temel durumdaki kayıpların ortalamasının altına düşürüldüğü görülmektedir. Aynı zamanda maksimum kaybın 250 kW'tın altına düşürülmesi puant zamandaki kayıpların azaltılması işletme açısından ciddi avantajlar sağlamaktadır.

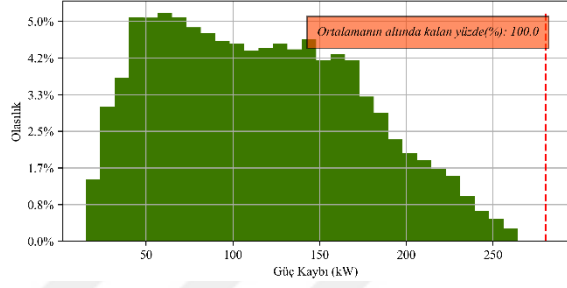
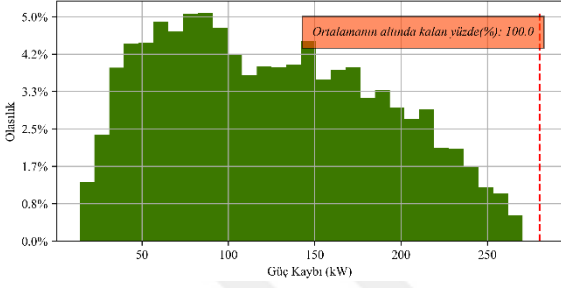
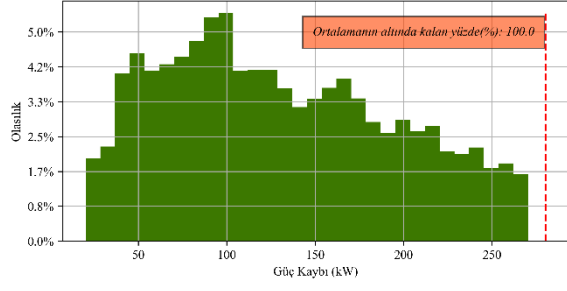
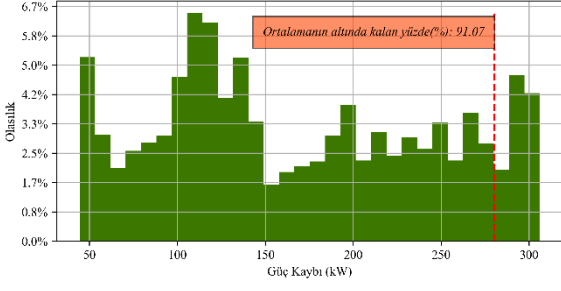
5.3.2 Rüzgâr kaynaklı DÜ'ler

Şekil 5.10'da kompanzasyon sistemleriyle beraber kullanılan rüzgâr kaynaklı DÜ'lerin gerilim dağılımı verilmiştir.



Şekil 5.10 : Rüzgar kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki gerilimlerin dağılımı.

Şekil incelendiğinde rüzgâr kaynaklı DÜ'lerin PV'ye benzer bir etki gösterdiği görülmektedir. Sadece 1 DÜ ekli durumda gerilim aşımaları %0,67 olarak belirlenmiştir. Burada farklı olarak gerilimlerin 1 pu'nun üzerine çıktığı görülmektedir. Bunun DÜ'lerin şebekenin düşük yüklü olduğu zamanlarda da kontrolsüzce üretim gerçekleştirmesidir. Aynı zamanda kompanzasyon sistemlerinin de kontrolsüz olup sabit bir şekilde şebekeye reaktif enerji sağlamaları nedeniyle gerilim bir miktar yükselmiştir. Fakat gerilim yükselmelerini etkisi fazla değildir ve sınır değerlerin altında olduğu görülmektedir. Devamında güç kayıplarını dağılımı Şekil 5.11'de gösterilmiştir.



Şekil 5.11 : Rüzgar kaynaklı DÜ ile kompanzasyon ekli durumlardaki toplam şebeke kayıplarının dağılımı.

Grafik incelendiğinde kayıpların etkili bir şekilde azaltıldığı görülmektedir. PV'den farklı olarak düşük yüklenmeli zamanlarda da DÜ'lerin üretim gerçekleştiriyor olması minimum kayıpların azaltılmasını sağlamıştır.

Gerçekleştirilen tüm analizler bir sonraki bölümde detaylı olarak incelenmiştir.



6. SONUÇLAR

Dağıtık üretimlerin en uygun şekilde boyutlandırılması ve şebekeye yerleştirilmesi önerilen hibrit algoritmayla gerçekleştirilmiştir. En uygun durumun belirlenmesi amacıyla birbirinden farklı üretim sınırları ve boyutlar ile çalışma tekrarlanmıştır. Her DÜ sayısına göre elde edilen en iyi sonuçlar Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Çizelge 6.1 : Test sistemine eklenen DÜ'lerin değerlerinin özeti.

*	**	o	oo	+	++	Min.	Ort.	Maks.
1	6	2,47	1,70	3,000	61,387	0,965	0,985	1
2	30	1,29	1,06	2,557	29,053	0,981	0,996	1,005
	13	0,80	0,40					
3	30	1,03	0,85	3,473	19,985	0,985	0,996	1
	4	1,16	0,66					
	13	0,72	0,37					
4	30	0,77	0,64	3,259	23,337	0,984	1,000	1,010
	6	0,85	0,53					
	28	0,54	0,43					
	14	0,52	0,23					

(*): DÜ Sayısı

(**): DÜ barası

(o): P (MW)

(oo): Q (MVar)

(+): Toplam Kurulu Güç (MVA)

(++): Kayıplar (kW)

Çizelgede DÜ sayısına göre yerleştirilen DÜ'lerin boyutları, toplam kurulu güçleri, şebeke kayıpları ve gerilimin minimum, ortalama ve maksimum pu değerleri verilmiştir. Kayıplara göre yapılan kıyaslamada en iyi sonucun 3 DÜ ekli durumda elde edildiği görülmektedir. 4. DÜ eklendiğinde sistem kayıplarında herhangi bir iyileşme olmadığı görülmektedir. Bununla birlikte toplam kurulu gücün en fazla olduğu durumun 3 DÜ’li olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu çalışmada DÜ'lerin maliyetleriyle alakalı herhangi bir değerlendirme yapılmamıştır. Fakat gerçek sistemler incelenirken kurulum, işletme ve bakım maliyetleri göz önünde bulundurulup sistem kayıpları bununla birlikte incelenmelidir. Maliyetler göz önünde bulundurulmadığında bu test sistemi için en iyi seçeneğin 3 DÜ eklenmesi olduğu görülmektedir. Fakat 4 DÜ ekli durum göz önüne alındığında ortalama bara gerilimlerinin 1 pu olduğu görülmektedir. Enerji kalitesi açısından bu derece etkili iyileştirmeler dikkat çekicidir. Bu incelemenin yanı sıra yerleştirilen DÜ'ler hat akımları ve hat kayıpları açısından daha detaylı olarak Çizelge 6.2’de incelenmiştir.

Çizelge 6.2 : Eklenen DÜ'lerin şebekeye olan etkilerinin detayları.

*	Profil	a	b	c	d
1	+	82,10%	43,43%	15,95%	68,34%
	O	96,05%	52,68%	21,11%	69,39%
2	+	82,90%	79,53%	38,26%	59,25%
	O	94,33%	93,75%	49,48%	85,51%
3	+	82,41%	81,11%	42,96%	79,56%
	O	96,68%	95,98%	53,36%	90,03%
4	+	78,66%	76,03%	44,67%	74,55%
	O	95,27%	92,98%	55,90%	88,36%

(*): DÜ Sayısı

(+): Hat akımları

(o): Kayıplar

(a): 1 ile 5 nolu hatlarda

(b): 1 ile 10 nolu hatlarda

(c): Hatların tamamında

(d): Temel durumdaki ana şebekeden çekilen akım ile toplam kaybın kıyaslanması

Çizelgede hatların gerilim ve kayıpları temel durumla kıyaslanarak yüzde olarak gösterilmiştir. Burada sırasıyla ilk beş hat, ilk on hat, hatların tamamının ortalaması ve toplam şebeke değerleri gösterilmiştir. Toplam şebeke değerlerinde test sisteminin çektiği 1. Baradan çektiği akım ve şebekenin toplam güç kaybı hesaplanmıştır. Değerler incelendiğinde 3 DÜ ekli durumun en iyi istatistiklere sahip olduğu görülmektedir. Sadece tüm hatlardaki akım ve kayıpların azaltılmasında 4 DÜ ekli durumun daha iyi bir performansa sahip olduğu görülmektedir. Bunun sebebi DÜ'lerin daha geniş bir alana daha fazla baradan bağlanmış olmasıdır. Böylelikle hem bara gerilimlerini düzeltmekte hem de kayıpları daha etkili bir şekilde azaltmaktadır.

Bunun dışında sadece tek DÜ biriminin eklenmesi durumunda bile şebeke kayıpları %69, ana şebekeden çekilen akım %68 azaltılmaktadır. Söz konusu iyileştirmeler göz önüne alındığında sistem işletmesi açısından dağıtım şebekesi operatörleri tarafından tercih edilmesi gereken bir uygulama olduğu aşikârdır. Ayrıca eklenecek DÜ'lerin geleceğe yönelik belirli bir yer ve boyut planıyla beraber yapılmasıyla şebeke kayıpları %90, ana şebekeden çekilen akım %79'a kadar azaltılarak dağıtım operatörlerine ciddi avantajlar sağlanabilir.

Çalışmanın devamında ise daha temiz bir gelecek umudu ve gelişen yenilenebilir enerji teknolojilerin kaçınılmaz olması nedeniyle yerleri belirlenen DÜ'lerin yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak şebekeye olan etkileri saatlik olarak incelenmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakların rastlantısal modelleri mevcut verilere göre oluşturulmuştur. Bununla beraber yük tarafında günlük yük eğrisine benzer fakat rastlantısallık dahil edilmiş bir şekilde oluşturulmuştur. Tüm bu etkilerin göz önünde bulundurulmasının sebebi yenilenebilir enerji kaynaklarının dağınık yapısıyla beraber

yük tarafındaki belirsizliklere rağmen yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtım şebekesi işletmesinde ciddi avantajlar getireceğini vurgulamaktır. Yapılan analizler rüzgâr ve güneş kaynaklı DÜ'ler için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Bununla birlikte DÜ'lerin şebeke sadece aktif enerji verdikleri ve kompanzasyon sistemleriyle beraber kullanılarak reaktif enerji de verdikleri durumlar analiz edilmiştir.

Öncelikle uygulanan saatlik analizlerde gerilim değerleri incelenmiştir. İncelenen gerilim profillerinin özet bilgileri Çizelge 6.3'te verilmiştir.

Çizelge 6.3 : PV ve rüzgâr kaynaklı DÜ'lerin gerilimlerinin kıyaslanması.

DÜ	Tür	Ortalama	Std.	Min.	Maks.	Aşım (%)
0	-	0,938	0,036	0,879	0,998	18,359
1	PV	0,943	0,033	0,879	0,998	9,139
1	Rüzgâr	0,947	0,033	0,879	0,999	9,97
2	PV	0,945	0,031	0,879	0,998	6,719
2	Rüzgâr	0,949	0,031	0,879	0,999	6,476
3	PV	0,945	0,031	0,883	0,998	6,492
3	Rüzgâr	0,95	0,031	0,879	0,999	6,072
4	PV	0,946	0,031	0,885	0,998	6,083
4	Rüzgâr	0,951	0,03	0,879	0,999	4,452

DÜ sayısına göre yapılan incelemelerde PV ve rüzgâr kaynaklı DÜ'ler kıyaslanmıştır. Yapılan incelemelerde rüzgârın PV'ye göre daha avantajlı olduğu görülmektedir. Sadece aktif enerji verilen DÜ'lerde bara gerilimleri 0.9 pu değerinin altına düşme ihtimalleri azaltılmış olmasına rağmen 4 DÜ ekli durumda bile gerilim profili tamamen iyileştirilememiştir. Fakat belirtilmesi gerekir ki hem 2'den sonra eklenen DÜ sayılarında hem de PV veya rüzgâr kaynaklarında dramatik farklılıklar yoktur. Aynı zamanda PV ve rüzgâr arasındaki üretim farklılıkları göz önünde bulundurulurken PV için seçilen günün 29 Mart ve lokasyonun Beşiktaş, İstanbul, Türkiye olduğu unutulmamalıdır. Güneşlenme süresinin daha fazla olduğu günlerde PV'nin çıkışındaki gücün fazla ve daha az olduğu günlerde gücün az olacağı unutulmamalıdır.

Bunun yanı sıra anlık olarak gerçekleştirilen yerleştirmeden farklı olarak eklenen DÜ biriminin küçüğe olsa bir miktar etkisi olmuştur. Devamında ise şebekede güç kayıpları Çizelge 6.4'te incelenmiştir.

Çizelge 6.4 : PV ve rüzgâr kaynaklı DÜ'lerin toplam güç kayıpların kıyaslanması.

DÜ	Tür	Ortalama	Std.	Min.	Maks.	Ortalama altı (%)
0	-	280,32	93,99	142,45	391,89	-
1	PV	242,37	71,31	136,97	391,89	66,05
1	Rüzgâr	230,05	94,72	75,9	391,89	67,35
2	PV	232,13	67,63	138,08	390,55	72,55
2	Rüzgâr	214,18	88,9	63,31	391,89	74,48
3	PV	229,41	66,64	135,47	364,48	74,39
3	Rüzgâr	209,16	87,09	58,48	391,89	75,49
4	PV	226,34	65,71	139,9	355,74	76,55
4	Rüzgâr	201,27	83,27	57,57	391,89	80,03

Elde edilen değerler incelendiğinde görülmektedir ki gerilimden farklı olarak kayıplarda PV ve rüzgâr arasında dağılım farkı görülmektedir. Bunun temel sebebi rüzgâr enerjisiyle her saat üretim gerçekleşebilirken PV ile sadece gün vakitlerinde üretim gerçekleştirilebilmektedir. Dolayısıyla PV'de elde edilen kayıpların standart sapması daha düşük olmuştur. Fakat aynı zamanda gece vaktinde üretimin gerçekleşmemiş olmasının etkisi kayıplarda görülmüştür.

En iyi durumda kayıplarının %80'inin temel durumdaki gerçekleşen kayıplarının ortalaması olan 280kW'tan daha düşük olduğu belirtilmelidir. Aynı zamanda gerilim aşımalarında %18'den %4'e kadar iyileştirmiştir. Geri kalan gerilim aşımları puant zamanlarda hat sonlarında gerçekleşmektedir. Bu da lokal kompanzasyon sistemleriyle birlikte kullanılarak giderilebilir. Sonuç olarak sadece aktif güç sağlayan 4 adet rüzgâr kaynaklı DÜ ile şebeke daha iyi koşullarda işletilebilmektedir.

Çalışmanın devamında ise en iyi sonuçlarda bulunan reaktif güç kompanzasyon sistemleriyle beraber sabit olarak sisteme eklendiği göz önünde bulundurularak analizler rüzgâr ve güneş için tekrar edilmiştir. Kompanzasyon sistemleriyle beraber incelenen DÜ'lerin gerilim değerleri Çizelge 6.5'te verilmiştir.

Çizelge 6.5 : PV ve rüzgar kaynaklı DÜ'ler ile kompanzasyon sistemlerinin gerilimlerin kıyaslanması.

DÜ	Tür	Ortalama	Std.	Min.	Maks.	Aşım (%)
0	-	0,938	0,036	0,879	0,998	18,359
1	PV	0,955	0,027	0,896	0,998	0,079
1	Rüzgâr	0,958	0,028	0,896	1,007	0,667
2	PV	0,961	0,022	0,905	0,998	0
2	Rüzgâr	0,965	0,023	0,905	1,015	0
3	PV	0,96	0,022	0,906	0,998	0
3	Rüzgâr	0,965	0,023	0,904	1,01	0
4	PV	0,962	0,021	0,91	0,998	0
4	Rüzgâr	0,967	0,022	0,905	1,02	0

Gerilim değerleri incelendiğinde sisteme verilen reaktif enerjinin önemi ortaya çıkmaktadır. Bir önceki sonuçların en iyi sonucundan daha iyi bir gerilim ortalaması sadece 1 adet DÜ eklendiğinde şebekeye elde edilmiştir. Bununla birlikte daha fazla DÜ eklendikçe şebeke gerilim profili daha da iyileşmiştir. 1 DÜ ekli durum dışındaki tüm durumlarda 0,9 pu gerilim sınır değeri aşılmamıştır. Bununla birlikte bu aşama da PV gerilim ortalamaları biraz daha düşük olmasına rağmen yine karakteristiklerinden dolayı standart sapmaları nispeten daha düşüktür. Devamında ise yenilenebilir enerji sistemleriyle beraber kullanılan kompanzasyon sistemlerinin şebeke kayıpları Çizelge 6.6'da incelenmiştir.

Çizelge 6.6 : PV ve rüzgar kaynaklı DÜ'ler ile kompanzasyon sistemlerinin güç kayıpların kıyaslanması.

DÜ	Tür	Ortalama	Std.	Min.	Maks.	Ortalama altı (%)
0	-	280,32	93,99	142,45	391,89	-
1	PV	181,03	55,51	100,24	306,04	98,85
1	Rüzgâr	169,6	77,35	44,38	306,04	91,08
2	PV	146,33	48,61	67,86	269,57	100
2	Rüzgâr	130,65	64,93	20,17	270,4	100
3	PV	143,79	48,92	59,59	262,85	100
3	Rüzgâr	124,88	63,03	13,86	270,47	100
4	PV	139,15	47,69	52,65	237,07	100
4	Rüzgâr	115,89	57,34	15,14	264,3	100

Yapılan incelemelerde görülmektedir ki kayıplar etkili bir şekilde azaltılmıştır. 1 DÜ ekli durumlardan sonraki durumlarda şebeke kayıp değerlerin tamamının temel durumdaki ortalama değerinden daha düşük olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak dağıtım şebekesine DÜ'lerin eklenmesinin faydaları hem anlık hem saatlik olarak gerilim profilleri, şebeke kayıpları ve hat akımları açısından detaylıca incelenmiştir. Saatlik olarak gerçekleştirilen çalışmalar rüzgâr ve PV olmak üzere iki farklı kaynak ile değerlendirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar ışığında anlık olarak incelen söz konusu 33 baralı Test sisteminde en iyi sonuçlar 3 DÜ birimi ekliyken elde edilmiştir. Ana şebekeden çekilen akım %79,56 azaltılırken, toplam şebeke kaybı %90,03 azaltılarak 19,985 kW mertebesine getirilmiştir.

Devamında yapılan saatlik analizlerde en iyi analizlerde sadece aktif güç üreten yenilenebilir enerji kaynakları göz önünde bulundurulduğunda kayıpların ortalaması %28 azaltılırken gerilim aşımaları %18'den %4'e düşürülmüştür. Bunun dışında yenilenebilir enerji kaynaklarıyla beraber kompanzasyon sistemleriyle yapılan analizlerde kayıplar %58 azaltılırken gerilim aşımaları tamamen giderilmiştir. Söz konusu yapılan analizlerde yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye verdiklerini enerjide herhangi bir kontrol olmadığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

Toparlamak gerekirse, dağıtım şebekesine eklenecek olan DÜ'lerin katkıları kaçınılmazdır. Aynı zamanda bu elemanların temiz teknolojilerle birlikte kurulması şebeke performansını arttırmaya engel değildir. Elde edilen sonuçlar kapsamında dağıtım şebekelerine oldukça faydalı olan DÜ'lerin en uygun boyutta yerleştirilmelerinin planlanması ve kurulması gerekmektedir.



KAYNAKLAR

- Abdulgalil, M. A., Amin, A. M., Khalid, M., & Almuahini, M. (2018). Optimal sizing, allocation, dispatch and power flow of energy storage systems integrated with distributed generation units and a wind farm. *Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference, APPEEC, 2018-October*, 680–684. <https://doi.org/10.1109/APPEEC.2018.8566332>
- Abu-Mouti, F. S., & 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), 2090–2101. <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2011.2158246>
- Alinejad-Beromi, Y., Sedighzadeh, M., & Sadighi, M. (2008). A particle swarm optimization for siting and sizing of distributed generation in distribution network to improve voltage profile and reduce THD and losses. *Proceedings of the Universities Power Engineering Conference*. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2008.4651544>
- Angarita, O. F. B., Leborgne, R. C., Gazzana, D. D. S., & Bortolosso, C. (2016). Power loss and voltage variation in distribution systems with optimal allocation of distributed generation. *2015 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Latin America, ISGT LATAM 2015*, 214–218. <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2015.7381156>
- Arabali, A., Ghofrani, M., Bassett, J. B., Pham, M., & Moeini-Aghtaei, M. (2017). Optimum Sizing and Siting of Renewable-Energy-based DG Units in Distribution Systems. In *Optimization in Renewable Energy Systems: Recent Perspectives*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-101041-9.00007-7>
- Arthur, D., & Vassilvitskii, S. (2007). K-means++: The advantages of careful seeding. *Proceedings of the Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms, 07-09-Janu*, 1027–1035.
- Atwa, Y. M., El-Saadany, E. F., Salama, M. M. A., & Seethapathy, R. (2010). Optimal renewable resources mix for distribution system energy loss minimization. *IEEE Transactions on Power Systems*, 25(1), 360–370. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2009.2030276>
- Ben Hamida, I., Salah, S. B., Msahli, F., & Mimouni, M. F. (2018). Optimal network reconfiguration and renewable DG integration considering time sequence variation in load and DGs. *Renewable Energy*, 121, 66–80. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.12.106>
- Chen, Q., & Cao, G. F. (2015). Allocation of power losses to multiple distributed generations in distribution grid. *IEEE Power and Energy Society General Meeting, 2015-Sept*(51377046), 15–19. <https://doi.org/10.1109/PESGM.2015.7286448>
- El-Ela, A. A. A., El-Seheimy, R. A., Shaheen, A. M., & Eissa, I. A. (2019). Optimal Allocation of DGs and Capacitor Devices using Improved Grey Wolf Optimizer.

- 2019 21st International Middle East Power Systems Conference, MEPCON 2019 - Proceedings, 1, 441–446. <https://doi.org/10.1109/MEPCON47431.2019.9008228>
- El-Khattam, W., & Salama, M. M. A. (2004). Distributed generation technologies, definitions and benefits. *Electric Power Systems Research*, 71(2), 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2004.01.006>
- Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu. (2006). *Elektrik Piyasasında Dağıtım Sisteminde Sunulan Elektrik Enerjisinin Tedarik Sürekliliği, Ticari ve Teknik Kalitesi Hakkında Yönetmelik*. T.C. Resmi Gazete.
- EPDK. (2016). Elektrik Piyasası 2016 Yılı Piyasa Gelişim Raporu. In *T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*.
- EPDK. (2017). Elektrik Piyasası Piyasa Gelişim Raporu 2017. *T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*.
- EPDK. (2018). Elektrik Piyasası Sektör Raporu 2018. In *T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*. <https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24-3/elektrikyillik-sektor-raporu>
- EPDK. (2019). Elektrik Piyasası 2019 Yılı Piyasa Gelişim Raporu. In *T.C Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu*.
- European Standard. (2005). *En 50160 Voltage Characteristics of Electricity Supplied by Public Distribution Systems*. 1–20.
- Fardin, J. F., de Oliveira Rocha, H. R., Donadel, C. B., & Fiorotti, R. (2018). Distributed Generation Energy in Relation to Renewable Energy: Principle, Techniques, and Case Studies. In *Advances in Renewable Energies and Power Technologies* (Vol. 2). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813185-5.00006-1>
- Garces, A. (2016). A Linear Three-Phase Load Flow for Power Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(1), 827–828. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2394296>
- Ghatak, S. R., & Acharjee, P. (2016). Optimal allocation of DG using exponential PSO with reduced search space. *Proceedings - 2016 2nd International Conference on Computational Intelligence and Communication Technology, CICT 2016*, 489–494. <https://doi.org/10.1109/CICT.2016.103>
- Hartigan, J. A., & Wong, M. A. (1979). Algorithm AS 136: A K-Means Clustering Algorithm Author (s): J . A . Hartigan and M . A . Wong Published by: Blackwell Publishing for the Royal Statistical Society Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2346830>. *Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics)*, 28(1), 100–108.
- Hung, D. Q., & 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>
- Jagtap, K. M., & Khatod, D. K. (2016). Allocation of distribution network losses with different types of distributed generation. *12th IEEE International Conference Electronics, Energy, Environment, Communication, Computer, Control: (E3-C3), INDICON 2015*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/INDICON.2015.7443156>

- Kennedy, J., & Eberhart, R. (1995). Particle swarm optimization. *Proceedings of ICNN'95 - International Conference on Neural Networks*, 4, 1942–1948. <https://doi.org/10.1109/ICNN.1995.488968>
- Liu, H., Xu, L., Zhang, C., Sun, X., & Chen, J. (2019). Optimal allocation of distributed generation based on multi-objective ant lion algorithm. *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Asia, ISGT 2019*, 1455–1460. <https://doi.org/10.1109/ISGT-Asia.2019.8881318>
- Lloyd, S. P. (1982). Least Squares Quantization in PCM. *IEEE Transactions on Information Theory*, 28(2), 129–137. <https://doi.org/10.1109/TIT.1982.1056489>
- Mahmoud, K., Yorino, N., & Ahmed, A. (2016). Optimal Distributed Generation Allocation in Distribution Systems for Loss Minimization. *IEEE Transactions on Power Systems*, 31(2), 960–969. <https://doi.org/10.1109/TPWRS.2015.2418333>
- Marco Liserre, Thilo Sauter, and J. Y. H. (2010). Future Energy Systems. *Integrating Renewable Energy Sources into the Smart Power Grid Through Industrial Electronics, March*, 18–37.
- Maruthi Prasanna, H. A., Likith Kumar, M. V., Veerasha, A. G., Ananthapadmanabha, T., & Kulkarni, A. D. (2014). Multi objective optimal allocation of a distributed generation unit in distribution network using PSO. *Proceedings of the 2014 International Conference on Advances in Energy Conversion Technologies - Intelligent Energy Management: Technologies and Challenges, ICAECT 2014*, 61–66. <https://doi.org/10.1109/ICAECT.2014.6757062>
- Niveditha, P., & Sujatha, M. S. (2018). Optimal allocation and sizing of DG in radial distribution system- A review. *International Journal of Grid and Distributed Computing*, 11(6), 49–58. <https://doi.org/10.14257/ijgdc.2018.11.6.05>
- Olivier, J. G. J., & J.A.H.W, P. (2020). *Trends in Global CO2 and Total Greenhouse Gas Emissions 2020 Report* (Vol. 2020, Issue May). https://www.pbl.nl/sites/default/files/downloads/pbl-2020-trends-in-global-co2-and-total-greenhouse-gas-emissions-2019-report_4068.pdf
- Pepermans, G., Driesen, J., Haeseldonckx, D., Belmans, R., & D'haeseleer, W. (2005). Distributed generation: Definition, benefits and issues. *Energy Policy*, 33(6), 787–798. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2003.10.004>
- Pereira, B. R., Martins Da Costa, G. R. M., Contreras, J., & Mantovani, J. R. S. (2016). Optimal Distributed Generation and Reactive Power Allocation in Electrical Distribution Systems. *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, 7(3), 975–984. <https://doi.org/10.1109/TSTE.2015.2512819>
- Prakash, P., & Khatod, D. K. (2016). Optimal sizing and siting techniques for distributed generation in distribution systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 57, 111–130. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.099>
- Rath, A., Ghatak, S. R., & Goyal, P. (2017). Optimal allocation of Distributed Generation (DGs) and static VAR compensator (SVC) in a power system using Revamp Voltage Stability Indicator. *2016 National Power Systems Conference, NPSC 2016*. <https://doi.org/10.1109/NPSC.2016.7858877>
- Saini, P., & Gidwani, L. (2020). Optimal siting and sizing of battery in varying PV generation by utilizing genetic algorithm in distribution system. *2020 21st*

- National Power Systems Conference, NPSC 2020*, 2.
<https://doi.org/10.1109/NPSC49263.2020.9331765>
- Sannigrahi, S., & Acharjee, P. (2018). Implementation of crow search algorithm for optimal allocation of DG and DSTATCOM in practical distribution system. *Proceedings of 2018 IEEE International Conference on Power, Instrumentation, Control and Computing, PICC 2018*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/PICC.2018.8384745>
- Sarfraz, Bansal, A., & Singh, S. (2016). Optimal allocation and sizing of distributed generation for power loss reduction. *IET Conference Publications, 2016(CP700)*, 15–20. <https://doi.org/10.1049/cp.2016.1116>
- Sedighi, M., Igderi, A., & Parastar, A. (2010). Sizing and sizing of distributed generation in distribution network to improve of several parameters by PSO algorithm. *2010 9th International Power and Energy Conference, IPEC 2010*, 1083–1087. <https://doi.org/10.1109/IPEC2010.5696977>
- Sirat, A. P., Mehdipourpicha, H., Zendejdel, N., & Mozafari, H. (2019). Sizing and allocation of distributed energy resources for loss reduction using heuristic algorithms. *ArXiv*.
- Strasser, T., Andrén, F., Kathan, J., Cecati, C., Buccella, C., Siano, P., Leitão, P., Zhabelova, G., Vyatkin, V., Vrba, P., & Mařík, V. (2015). A Review of Architectures and Concepts for Intelligence in Future Electric Energy Systems. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 62(4), 2424–2438.
<https://doi.org/10.1109/TIE.2014.2361486>
- Transparent Cost Database*. (2021). <https://openei.org/apps/TCDB/#blank>
- Viral, R., & Khatod, D. K. (2012). Optimal planning of distributed generation systems in distribution system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 5146–5165. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.05.020>
- What is distributed generation? | U.S. Embassy & Consulates in South Africa*. (n.d.). Retrieved March 12, 2021, from <https://za.usembassy.gov/what-is-distributed-generation/>

EKLER

EK A: Tez çalışması boyunca kullanılan değerler

EK B: Elde edilen en iyi sonuçların detaylı sonuçları



EK A

Çizelge A. 1 : 2005-2016 yılları arasındaki saatlik güneş ışınımı ve sıcaklık ortalamaları ve standart sapmaları

Saat	*	**	+	++	Saat	*	**	+	++
00:00	0	10,782	0	2,601	12:00	0,7806	10,951	0,384	3,375
01:00	0	10,711	0	2,582	13:00	0,6950	11,032	0,354	3,519
02:00	0	9,178	0	3,946	14:00	0,6123	11,112	0,329	3,701
03:00	0	9,098	0	3,724	15:00	0,5021	11,199	0,226	3,592
04:00	0	9,014	0	3,537	16:00	0,2997	11,283	0,183	3,515
05:00	0	8,927	0	3,389	17:00	0,1422	11,373	0,094	3,474
06:00	0,0003	9,239	0,001	2,999	18:00	0,0011	11,220	0,003	3,235
07:00	0,1075	9,548	0,058	2,703	19:00	0	11,072	0	3,038
08:00	0,2683	9,864	0,132	2,538	20:00	0	10,921	0	2,890
09:00	0,3893	10,197	0,251	2,519	21:00	0	10,897	0	2,789
10:00	0,4900	10,532	0,278	2,786	22:00	0	10,875	0	2,702
11:00	0,6384	10,871	0,303	3,275	23:00	0	10,851	0	2,633

(*): Güneş Işınımı (kW/m²) ortalaması (**): Sıcaklık (°C) ortalaması
 (+): Güneş ışınımı standart sapması (++) : Sıcaklık standart sapması
 Lat, Long: 41.04°, 29° – Beşiktaş, İstanbul, Türkiye

Çizelge A. 2 : Tez çalışmasında kullanılan baz yüklenme değerleri

Saat	*	Saat	*	Saat	*	Saat	*
00:00	96,60	06:00	88,15	12:00	127,35	18:00	119,39
01:00	91,18	07:00	92,64	13:00	127,23	19:00	118,47
02:00	87,73	08:00	107,76	14:00	128,08	20:00	113,91
03:00	85,45	09:00	120,63	15:00	126,08	21:00	110,85
04:00	85,00	10:00	126,90	16:00	123,97	22:00	108,38
05:00	85,70	11:00	130,07	17:00	121,92	23:00	104,59

(*): Baz yük eğrisi değerleri (%)

Çizelge A. 3 : Numaralarına göre analizlerin sınır değerlerinin detayı

#	*	**	***	#	*	**	***	#	*	**	***	#	*	**	***
1	1	1	0,7	10	2	0,83	0,7	19	3	0,67	0,7	28	4	0,5	0,7
2	1	1	0,85	11	2	0,83	0,85	20	3	0,67	0,85	29	4	0,5	0,85
3	1	1	1	12	2	0,83	1	21	3	0,67	1	30	4	0,5	1
4	1	2	0,7	13	2	1,67	0,7	22	3	1,33	0,7	31	4	1	0,7
5	1	2	0,85	14	2	1,67	0,85	23	3	1,33	0,85	32	4	1	0,85
6	1	2	1	15	2	1,67	1	24	3	1,33	1	33	4	1	1
7	1	3	0,7	16	2	2,5	0,7	25	3	2	0,7	34	4	1,5	0,7
8	1	3	0,85	17	2	2,5	0,85	26	3	2	0,85	35	4	1,5	0,85
9	1	3	1	18	2	2,5	1	27	3	2	1	36	4	1,5	1

(#): Durum numarası (*) : DÜ sayısı (**): Maksimum boyut (***) : Minimum güç faktörü
 Her durum için minimum boyut 0, maksimum güç faktörü 1 alınmıştır.

EK B**Çizelge B. 1 : 7 Numaralı analizin güç akışı sonuçları**

B1	Gen. (kV)	Açı (°)	B2	Gen. (kV)	Açı (°)	Akım (A)	Kayıp (kW)
1	12,66	0,00	2	12,65	0,00	114,93	1,22
2	12,65	0,00	3	12,61	0,00	74,50	2,74
3	12,61	0,00	4	12,61	0,00	16,22	0,10
4	12,61	0,00	5	12,63	0,00	27,49	0,29
5	12,63	0,00	6	12,66	0,04	32,80	0,88
6	12,66	0,04	7	12,62	-0,16	95,78	1,72
7	12,62	-0,16	8	12,56	-0,13	78,06	4,34
8	12,56	-0,13	9	12,48	-0,20	60,27	3,74
9	12,48	-0,20	10	12,42	-0,25	55,24	3,19
10	12,42	-0,25	11	12,40	-0,25	50,18	0,50
11	12,40	-0,25	12	12,39	-0,24	45,87	0,79
12	12,39	-0,24	13	12,31	-0,32	40,29	2,38
13	12,31	-0,32	14	12,29	-0,39	34,68	0,65
14	12,29	-0,39	15	12,27	-0,42	23,23	0,32
15	12,27	-0,42	16	12,25	-0,44	18,35	0,25
16	12,25	-0,44	17	12,23	-0,51	13,20	0,22
17	12,23	-0,51	18	12,22	-0,52	8,05	0,05
2	12,65	0,00	19	12,64	-0,01	31,26	0,16
19	12,64	-0,01	20	12,60	-0,08	23,47	0,83
20	12,60	-0,08	21	12,59	-0,10	15,65	0,10
21	12,59	-0,10	22	12,58	-0,12	7,83	0,04
3	12,61	0,00	23	12,56	-0,03	82,84	3,10
23	12,56	-0,03	24	12,48	-0,12	74,66	5,01
24	12,48	-0,12	25	12,44	-0,16	37,39	1,25
6	12,66	0,04	26	12,64	0,08	107,11	2,33
26	12,64	0,08	27	12,61	0,13	102,40	2,98
27	12,61	0,13	28	12,47	0,20	97,72	10,11
28	12,47	0,20	29	12,37	0,27	93,35	7,01
29	12,37	0,27	30	12,33	0,37	82,87	3,48
30	12,33	0,37	31	12,28	0,29	38,23	1,42
31	12,28	0,29	32	12,27	0,27	24,77	0,19
32	12,27	0,27	33	12,26	0,27	5,87	0,01

Çizelge B. 2 : 13 Numaralı analizin güç akışı sonuçları

B1	Gen. (kV)	Açı (°)	B2	Gen. (kV)	Açı (°)	Akım (A)	Kayıp (kW)
1	12,66	0,00	2	12,64	0,00	114,93	2,02
2	12,64	0,00	3	12,59	0,00	74,50	5,70
3	12,59	0,00	4	12,58	0,00	16,22	0,11
4	12,58	0,00	5	12,58	0,00	27,49	0,01
5	12,58	0,00	6	12,58	0,04	32,80	0,01
6	12,58	0,04	7	12,57	-0,16	95,78	0,11
7	12,57	-0,16	8	12,56	-0,13	78,06	0,03
8	12,56	-0,13	9	12,58	-0,20	60,27	0,14
9	12,58	-0,20	10	12,60	-0,25	55,24	0,28
10	12,60	-0,25	11	12,60	-0,25	50,18	0,09
11	12,60	-0,25	12	12,61	-0,24	45,87	0,25
12	12,61	-0,24	13	12,67	-0,32	40,29	1,42
13	12,67	-0,32	14	12,64	-0,39	34,68	0,62

14	12,64	-0,39	15	12,62	-0,42	23,23	0,30
15	12,62	-0,42	16	12,61	-0,44	18,35	0,24
16	12,61	-0,44	17	12,59	-0,51	13,20	0,21
17	12,59	-0,51	18	12,58	-0,52	8,05	0,04
2	12,64	0,00	19	12,64	-0,01	31,26	0,16
19	12,64	-0,01	20	12,59	-0,08	23,47	0,83
20	12,59	-0,08	21	12,58	-0,10	15,65	0,10
21	12,58	-0,10	22	12,58	-0,12	7,83	0,04
3	12,59	0,00	23	12,54	-0,03	82,84	3,11
23	12,54	-0,03	24	12,46	-0,12	74,66	5,02
24	12,46	-0,12	25	12,42	-0,16	37,39	1,26
6	12,58	0,04	26	12,58	0,08	107,11	0,18
26	12,58	0,08	27	12,59	0,13	102,40	0,35
27	12,59	0,13	28	12,64	0,20	97,72	1,70
28	12,64	0,20	29	12,69	0,27	93,35	1,63
29	12,69	0,27	30	12,72	0,37	82,87	1,58
30	12,72	0,37	31	12,67	0,29	38,23	1,34
31	12,67	0,29	32	12,66	0,27	24,77	0,18
32	12,66	0,27	33	12,66	0,27	5,87	0,01

Çizelge B. 3 : 22 Numaralı analizin güç akışı sonuçları

B1	Gen. (kV)	Açı (°)	B2	Gen. (kV)	Açı (°)	Akım (A)	Kayıp (kW)
1	12,66	0,00	2	12,65	0,00	74,21	0,51
2	12,65	0,00	3	12,63	0,00	33,85	0,56
3	12,63	0,00	4	12,66	0,01	56,77	1,18
4	12,66	0,01	5	12,64	0,03	37,98	0,55
5	12,64	0,03	6	12,61	0,02	32,80	0,88
6	12,61	0,02	7	12,59	-0,05	30,84	0,18
7	12,59	-0,05	8	12,58	-0,05	13,25	0,12
8	12,58	-0,05	9	12,59	-0,06	5,55	0,03
9	12,59	-0,06	10	12,60	-0,06	10,00	0,10
10	12,60	-0,06	11	12,61	-0,07	14,81	0,04
11	12,61	-0,07	12	12,61	-0,08	19,10	0,14
12	12,61	-0,08	13	12,66	-0,05	24,61	0,89
13	12,66	-0,05	14	12,63	-0,12	33,76	0,62
14	12,63	-0,12	15	12,62	-0,15	22,61	0,30
15	12,62	-0,15	16	12,60	-0,17	17,86	0,24
16	12,60	-0,17	17	12,58	-0,24	12,85	0,21
17	12,58	-0,24	18	12,57	-0,24	7,84	0,04
2	12,65	0,00	19	12,65	-0,01	31,25	0,16
19	12,65	-0,01	20	12,60	-0,08	23,46	0,83
20	12,60	-0,08	21	12,59	-0,10	15,65	0,10
21	12,59	-0,10	22	12,58	-0,12	7,83	0,04
3	12,63	0,00	23	12,59	-0,03	82,67	3,08
23	12,59	-0,03	24	12,51	-0,11	74,51	4,98
24	12,51	-0,11	25	12,46	-0,15	37,31	1,25
6	12,61	0,02	26	12,61	0,04	11,66	0,03
26	12,61	0,04	27	12,61	0,05	14,47	0,06
27	12,61	0,05	28	12,62	0,15	18,33	0,36

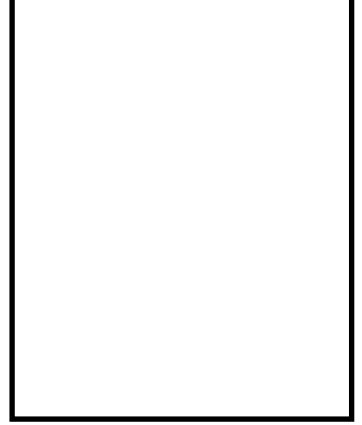
28	12,62	0,15	29	12,64	0,23	22,74	0,42
29	12,64	0,23	30	12,66	0,26	32,23	0,53
30	12,66	0,26	31	12,61	0,19	37,26	1,35
31	12,61	0,19	32	12,60	0,17	24,14	0,18
32	12,60	0,17	33	12,60	0,16	5,73	0,01

Çizelge B. 4 : 31 Numaralı analizin güç akışı sonuçları

B1	Gen. (kV)	Açı (°)	B2	Gen. (kV)	Açı (°)	Akım (A)	Kayıp (kW)
1	12,66	0,00	2	12,65	0,00	92,36	0,79
2	12,65	0,00	3	12,62	-0,01	51,95	1,33
3	12,62	-0,01	4	12,64	-0,01	38,65	0,55
4	12,64	-0,01	5	12,66	-0,01	50,03	0,95
5	12,66	-0,01	6	12,72	0,04	55,32	2,51
6	12,72	0,04	7	12,70	-0,06	49,13	0,45
7	12,70	-0,06	8	12,67	-0,05	31,52	0,71
8	12,67	-0,05	9	12,65	-0,06	13,88	0,20
9	12,65	-0,06	10	12,64	-0,06	8,99	0,08
10	12,64	-0,06	11	12,64	-0,06	4,37	0,00
11	12,64	-0,06	12	12,64	-0,05	1,32	0,00
12	12,64	-0,05	13	12,65	-0,04	5,83	0,05
13	12,65	-0,04	14	12,66	-0,01	11,25	0,07
14	12,66	-0,01	15	12,65	-0,05	22,56	0,30
15	12,65	-0,05	16	12,63	-0,07	17,82	0,24
16	12,63	-0,07	17	12,61	-0,13	12,82	0,21
17	12,61	-0,13	18	12,60	-0,14	7,82	0,04
2	12,65	0,00	19	12,64	-0,01	31,26	0,16
19	12,64	-0,01	20	12,60	-0,08	23,47	0,83
20	12,60	-0,08	21	12,59	-0,10	15,65	0,10
21	12,59	-0,10	22	12,58	-0,12	7,83	0,04
3	12,62	-0,01	23	12,58	-0,04	82,75	3,09
23	12,58	-0,04	24	12,49	-0,12	74,58	4,99
24	12,49	-0,12	25	12,45	-0,17	37,35	1,25
6	12,72	0,04	26	12,72	0,05	31,45	0,20
26	12,72	0,05	27	12,74	0,05	36,54	0,38
27	12,74	0,05	28	12,79	0,16	41,63	1,84
28	12,79	0,16	29	12,78	0,23	19,19	0,30
29	12,78	0,23	30	12,78	0,28	17,86	0,16
30	12,78	0,28	31	12,73	0,21	36,90	1,33
31	12,73	0,21	32	12,72	0,19	23,91	0,18
32	12,72	0,19	33	12,72	0,18	5,67	0,01



ÖZGEÇMİŞ



Adı- Soyadı : Onur Hakkı Eyüboğlu

Doğum Tarihi ve Yeri :

E-posta :

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Fakültesi, Elektrik Mühendisliği

MESLEKİ DENEYİM:

- 2019 yılı Aralık ayından itibaren İstanbul Teknik Üniversitesi, Elektrik Mühendisliği Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Polat, Ö., Eyüboğlu, O. H., & Gül, Ö.** (2021). Monte Carlo simulation of electric vehicle loads respect to return home from work and impacts to the low voltage side of distribution network. *Electrical Engineering*, 103(1), 439-445.
- **Eyüboğlu, O. H., Dindar, B., & Gül, Ö.** (2020, October). Series Resonance Type Fault Current Limiter for Fault Current Limitation and Voltage Sag Mitigation in Electrical Distribution Network. *In 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)* (pp. 256-261). IEEE.
- **Eyüboğlu, O. H., Dindar, B., & Gül, Ö.** (2020, October). Risk Assessment by Using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Based on Power Transformer Aging for Maintenance and Replacement Decision. *In 2020 2nd Global Power, Energy and Communication Conference (GPECOM)* (pp. 251-255). IEEE.