

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYAL ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİ TEST
SİSTEMİ TASARIMI VE DAĞITIK ÜRETİM ANALİZİ**

**Tezi Hazırlayan
Merve KARLİTEPE ÇETİNKAYA**

**Tez Danışmanı
Prof.Dr. Ersan KABALCI**

**Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2021
NEVŞEHİR**

**T.C.
NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**RADYAL ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİ TEST
SİSTEMİ TASARIMI VE DAĞITIK ÜRETİM ANALİZİ**

**Tezi Hazırlayan
Merve KARLİTEPE ÇETİNKAYA**

**Tez Danışmanı
Prof.Dr. Ersan KABALCI**

**Elektrik – Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Şubat 2021
NEVŞEHİR**

TEŐEKKÖR

Öncelikle, yüksek lisans öğrenimim boyunca ve tezin hazırlanması sırasında çok değerli yardımlarını esirgemeyen, bilgilerini ve deneyimlerini paylaşan Sayın Prof. Dr. Ersan KABALCI hocama,

Her zaman maddi ve manevi yanımda olan canım eşim Enes ÇETİNKAYA ve aileme,

Öğrenim hayatım boyunca yaşadığım teknik sorunlara karşı kısa zamanda çözümler üreten Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü ekibine,

Teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

**RADYAL ELEKTRİK DAĞITIM ŞEBEKESİ TEST SİSTEMİ TASARIMI VE
DAĞITIK ÜRETİM ANALİZİ
(Yüksek Lisans Tezi)**

Merve KARLITEPE ÇETİNKAYA

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

ŞUBAT 2021

ÖZET

Sürekli olarak artmaya devam eden enerji ihtiyaçlarının karşısında kaynakları kısıtlı olan enerji santrallerinin uzun süre mücadele edebilmesi pek mümkün görünmemektedir. Dolayısı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi her geçen gün daha da fazla anlaşılmaktadır. Bu çalışmada, dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye katkılarının incelenmesi üzerine uğraş verilmiştir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye ve yatırımcılara sağladığı katkılar göz önünde bulundurulmuştur. Tez kapsamında tasarlanan radyal dağıtım şebekesinde rüzgâr türbinlerinin ana şebekeye entegrasyonu ve sistem kararlılığı üzerindeki etkilerinin analiz edilmesi için elektrik üretim ve tüketim verileri oluşturulmuştur. Yapılan literatür taramasının ardından il bazlı dağıtım şebekesinin modellenmesi ve uygulamasına geçilmiş, söz konusu dağıtım sistemi “Power World” programı aracılığı ile tasarlanmıştır. Şebekenin toplam kurulu gücü 501 MW’tır. Şebeke içerisinde toplamda 12 adet bara, 12 adet yük ve 18 adet enerji hattı bulunmaktadır.

Yapılan analizler sonucunda hat kayıplarında gözle görülür bir azalma meydana gelmiş ve bu azalma %38 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca ana generatörden talep edilen güç miktarı 545 MW’tan 428 MW’a kadar düşmüştür. Rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile birlikte yıllık olarak 52 milyon dolar değerinde termik santral üretimi azaltılabileceği hesaplanmıştır. Bu miktarda bir maliyet azalması ise rüzgâr santrallerinin kurulum maliyetini yaklaşık olarak 3,5 yıl içerisinde karşılamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Radyal Dağıtım, Dağıtık üretim, Rüzgâr Türbinleri, Power World

**RADIAL ELECTRICITY DISTRIBUTION NETWORK TEST SYSTEM
DESIGN AND DISTRIBUTED GENERATION ANALYSIS**

(M. Sc. Thesis)

Merve KARLITEPE ÇETİNKAYA

**NEVŞEHİR HACI BEKTAŞ VELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FEBRUARY 2021

ABSTRACT

It is not possible for power plants with limited resources to struggle for a long time in the face of energy needs that continue to increase continuously. Therefore, the importance of renewable energy resources is getting more and more understood day by day. In this study, an effort was made to examine the contribution of distributed production resources to the network. Particularly, the contributions of renewable energy sources to the environment and investors were taken into consideration. In the radial distribution network designed within the scope of the thesis, the electricity production and consumption data were created to analyze the effects of wind turbines on the main network and system stability. Following the literature review, the modeling and implementation of the provincial distribution network was started and the distribution system was designed through the "Power World" program. The total installed power of the network is 501 MW. There are 12 busbars, 12 loads and 18 transmission lines in the network.

As a result of the analyzes, a noticeable decrease in transmission line losses occurred and this decrease was calculated as 38%. In addition, the amount of power demanded from the main generator has decreased from 545 MW to 428 MW. With the commissioning of wind turbines, it has been calculated that annual thermal power plant production of 52 million USD may be reduced. Such a cost reduction covers the cost of wind farms installation in approximately 3.5 years.

Keywords: Radial Distribution, Distributed Production, Wind Turbines, Power World

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY	i
TEZ BİLDİRİM SAYFASI	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
İÇİNDEKİLER	vi
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ	x
RESİMLER LİSTESİ	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Taraması.....	2
1.2 Tezin Amacı.....	8
BÖLÜM 2	10
GENEL BİLGİLER	10
2.1 Mikro Şebekeler.....	10
2.1.1 Mikro şebeke özellikleri.....	11
2.1.2 Mikro şebekenin faydaları	13
2.2 Şebeke Sistemleri	15
2.2.1. Radyal şebeke özellikleri	15
2.2.2. Halka şebeke özellikleri	17
2.2.3. Ağ şebeke özellikleri.....	18
2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları	19
2.3.1 Rüzgâr santralleri	20

2.3.2 Güneş enerji sistemi	23
BÖLÜM 3	25
SİSTEM MODELLEMESİ VE ANALİZLER	25
3.1 Sistem Tasarımı.....	25
3.2 Yük Hesabı.....	27
3.3 Tüm İlçeler için Nüfus Hesaplaması.....	28
3.4 Nüfus Bilgileriyle İhtiyaç Duyulan Yüklerin Belirlenmesi	29
3.5 Reaktif Güç Hesabı	31
3.6 Power World Programı	32
3.6.1 Bara veri girişi.....	32
3.6.2 Yüklerin veri girişi	33
3.6.3 Dağıtım hatlarının veri girişi	34
3.7 Senaryolar	36
3.8 Sistemin Çalıştırılması	39
3.9 Rüzgâr Türbinlerinin Devreye Alınması.....	42
3.9.1 İlçe 9-İlçe 11 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması	42
3.9.2 İlçe 4-İlçe 2 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması	43
3.9.3 İlçe 3-İlçe 6 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması	44
3.9.4 İlçe 5-İlçe 1 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması	45
3.9.5 İlçe 10-İlçe 12 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması	46
BÖLÜM 4	48
ANALİZ SONUÇLARI.....	48
4.1 Dağıtım Hatlarında Meydana Gelen Kayıpların Karşılaştırılması.....	48
4.2 Türbinler Devreye Alındıktan Sonra Kayıp Değişimlerinin Karşılaştırılması	51
4.3 Rüzgâr Türbinlerinin Sistem Gerilimi Üzerine Etkisi	52
4.4 Kısa Devre Arıza Analizi	54

BÖLÜM 5	59
SONUÇ	59
KAYNAKÇA	61
EKLER	69
EK-1	69
EK-2	70
EK-3	71
EK-4	72
EK-5	73
ÖZGEÇMİŞ	74

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Türbinlerin devreye alınmasından önce ve sonra kısa devre akım değerleri.	26
Tablo 3.2. Güç ihtiyaç çizelgesi [70]	27
Tablo 3.3. 2025 Yılı nüfus tahminleri	29
Tablo 3.4. İlçe 5'in yük hesaplama örneği	30
Tablo 3.5. İlçeler bazında güç ihtiyaçları	30
Tablo 3.6. Teorik reaktif güç hesabı	31
Tablo 3.7. İletim hatlarının uzunlukları	32
Tablo 3.8. İlk defa çalıştırılan sistem içindeki MW ve Mvar kayıpları	39
Tablo 4.1. Sistem içerisinde yaşanan kayıplar	48
Tablo 4.2. Ana generatörden talep edilen güç miktarı	50
Tablo 4.3. Rüzgâr türbinlerinin eklenmeden önceki ve eklendikten sonra enerji hatlarında yaşanan kayıplar	52
Tablo 4.4. Türbinlerin devreye alınmasından önce ve sonra PU volt	53
Tablo 4.5. Kısa devre akım analizi sonuçları	58

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Mikro şebeke yapı örneği	12
Şekil 2.2. Mikro şebeke faydaları [31].....	14
Şekil 2.3. Radyal şebeke örnek görünümü [44]	16
Şekil 2.4. Halka şebeke örnek görünümü [49].....	17
Şekil 2.5. Ağ şebeke örnek görünümü [49].....	19
Şekil 2.6. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [54].....	20
Şekil 2.7. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması [63]	22
Şekil 2.8. Fotovoltaik sistemi tek hat şema görünümü [68].....	23
Şekil 4.1. Sistem içerisinde yaşanan kayıplar	49
Şekil 4.2. Ana generatörden talep edilen güç miktarı	50
Şekil 4.3. Türbinlerin aktiflik durumuna göre PU volt değerleri	53

RESİMLER LİSTESİ

Resim 3.1. Reaktif güç hesabı [71]	31
Resim 3.2. İlçe 7 denge barası bilgileri.....	33
Resim 3.3. Yüklerin veri girişi	34
Resim 3.4. Enerji hatlarının veri girişi	35
Resim 3.5. Baraların genel görünümü.....	36
Resim 3.6. Tasarlanan sistemin çalışmadan önceki görünümü.....	38
Resim 3.7. Tasarlanan sistemin ilk defa çalıştırıldıktan sonraki görünümü	40
Resim 3.8. Sistemin ilk defa çalışmasının ardından baraların durumu.....	41
Resim 3.9. Sistemin ilk defa çalışmasının ardından denge barası durumu	41
Resim 3.10. İlçe 9 üzerine rüzgâr türbini eklenmesi.....	42
Resim 3.11. İlçe 9- İlçe 11 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar	43
Resim 3.12. İlçe 9-İlçe 11 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra denge barası.....	43
Resim 3.13. İlçe 4- İlçe 2 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar .	44
Resim 3.14. İlçe 4- İlçe 2 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra denge barası.....	44
Resim 3.15. İlçe 3- İlçe 6 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar .	45
Resim 3.16. İlçe 3- İlçe 6 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra Denge bara	45
Resim 3.17. İlçe 5- İlçe 1 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar .	46
Resim 3.18. İlçe 5- İlçe 1 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra Denge bara	46
Resim 3.19. İlçe 10-İlçe 12 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar	46
Resim 3.20. İlçe 10-İlçe 12 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra Denge bara	47
Resim 4.1. Arıza durumunda şebekenin rüzgâr türbinleri olmadan çalıştırılması.....	55
Resim 4.2. Arıza durumunda şebekenin İlçe 5'te yer alan rüzgâr türbinleri ile çalıştırılması	56

Resim 4.3. Arıza durumunda şebekenin İlçe 5 ve İlçe 1’de yer alan rüzgâr türbinleri ile çalıştırılması	57
Resim 1.1. İlçe 9-İlçe 11 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü.....	69
Resim 2.1. İlçe 4-İlçe 2 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü.....	70
Resim 3.1. İlçe 3-İlçe 6 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü.....	71
Resim 4.1. İlçe 5-İlçe 1 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü.....	72
Resim 5.1. İlçe 10-İlçe 12 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü.....	73

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

DÜ	Dağıtık Üretim
EMO	Elektrik Mühendisleri Odası
PW	Power World
MW	Megawatt
R	Direnç
X	Reaktans



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Gelişen sanayi ve teknoloji ile enerjiye olan ihtiyaç da her geçen gün artarak devam etmektedir. Bu talepler doğrultusunda yeni enerji üretimlerin yanı sıra enerjinin iletim ve dağıtımının da verimli şekilde yapılması önemli bir konu haline gelmiştir. Günümüz teknolojisine bakıldığında enerjinin düzenlenmesi, elektrik üretim, iletim ve dağıtımın daha kontrollü ve verimli yapılabilmesi için dağıtık üretim ve akıllı şebeke teknolojisine yönelik araştırmalara yoğunlaşmıştır. Bu yeni şebeke türü, elektrik şebekesine eklenerek o şebekede yer alan tüketicilere sürdürülebilir, güvenilir, güvenli ve kaliteli bir elektrik enerjisi hedefleyen; bunlarla birlikte işgücünü azaltan kendine yetebilen diğer bir deyişle kendini onarabilen sistemler olarak tanımlanmaktadır.

Yenilenebilir dağıtık enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunun ardından, hizmet güvenilirliğini ve güç kalitesini arttırmakla birlikte dağıtık yüklerin ve yerel üretimlerin işlevsel kontrol esnekliğini sağlamak için mikro şebeke tanımı yaygınlaşmaya başlamıştır. Mikro şebekeler, güvenliği artırma, enerji maliyetlerini düşürme, karbon salınımlarını azaltmak ve ana şebekenin yoğun enerji taleplerinin olduğu zamanlarda ana şebekeye destek vererek ana kaynağın yükünü azaltmak amacıyla kullanılmaktadır.

Bahsi geçen avantajları sağlamak için yeni bir dağıtım şebekesinin tasarlanmasına ve yapılandırılmasına gerek duyulmadan dağıtık üretimin (DÜ) mikro şebekeye entegrasyonu hem tüketiciler hem de hizmet veren kuruluşlar için birçok avantaj sağlar.

Dağıtılmış üretimin şebekelere entegrasyonu ile beraberinde şebekenin kalitesi, gerilim değişimlerinin gözlenmesi, sistemin kararlılığının ve güvenilirliğinin artırılması, günümüz problemlerinden olan karbondioksit ve nitrit oksit, azot dioksit gibi asit yağmurlarına sebep olacak zehirli gaz salınımlarının azaltılması ve ortadan kaldırılması, enerji kontrol ve yönetimi, enerji verimliliği, maliyet yönetimi ve önemli konulardan biri olan sistem kayıplarının azaltılması DÜ kaynaklarının entegrasyonunun faydalı birkaç örnekleridir. Çoğu ülke yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen elektrik ve şebeke yükünün önemli bir kısmının karşılanmasını gerektiren yenilenebilir enerji kaynaklarını benimseye başlamış ve çalışmalarını bu yönde yaygınlaştırmıştır. Bunların yanı sıra fosil

yakıt kullanılarak yapılan üretimlerde çevre kirliliğinin artması ve günden güne artan talebi karşılamak için kaynakların yetersiz kalmaya başlaması alternatif arayış ve yöntemleri ivmelendirmiştir.

DÜ'lerin kullanımı birçok yönden fayda sağlamasına rağmen, hem DÜ'lerin şebekeye yüksek oranda entegrasyonu hem de üretim birimlerinin uygunsuz boyutlandırılması dağıtım işletim sistemi üzerinde olumsuz etkiler yaratabilmektedir. Koruma sistemi yapılandırılmaları, gerilim dağılım kontrol koordinasyonu, güvenlik endişeleri ve enerji kayıpları bu olumsuzlukların en önemlileridir. Bu nedenle, aktif dağıtım şebekesi planlaması ve işletilmesinde DÜ'lerin konumlandırılması ve boyutlandırılması gün geçtikçe önemi artan konular arasında yer almaktadır. Birçok durumda DÜ'lerin sabitlenmesi için sınırlı alternatifler vardır. Bu nedenle, çalışmaların çoğu yenilenebilir DÜ'lerin boyutlandırılması ve konumlandırılmasına odaklanmıştır.

1.1 Literatür Taraması

Dağıtım şebekeleri ile yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu konusunda yapılan çok çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bununla birlikte dağıtım şebekesi oluşturulması ile hatlardaki enerji kayıplarının azaltılması ve gerilim profilleri üzerine yapılan çalışmalarda incelenmiştir.

Geniş bir literatür araştırması ile yenilenebilir enerji kaynaklarının çevreye olan duyarlılığı ve gerekliliği üzerine araştırmalar yapıp makalelerini yayınlayan Almeida ve Aguilera, Atlantik-Pasifik-Hint okyanusları ve Akdeniz'de birbirinden bağımsız olarak bulunan adalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji üretimine uygunluğu üzerine çalışmışlardır. Bu adalarda yenilenebilir enerji kaynaklarının ucuz olması da şebekelere yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edilmesinin gerektiğini göstermektedir. Adaların finansal ve fiziksel kaynaklar bakımından dışa bağımlılığını azaltmaya yönelik yapılan çalışma sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile adaların büyük çapta belirlediği ekonomik hedeflere nasıl ulaşabildiği gösterilmektedir [1].

Li ve çalışma arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynaklarının belirsiz enerji üretimlerini ele almışlardır. Şebeke içerisinde var olan yenilenebilir enerji kaynaklarının üretim belirsizliğinin karşılanabilmesi için reaktif güç akışının göz önünde bulundurulması

gerektiği belirtilmiştir. Fakat bu durum kurulan karmaşık tam sayılı doğrusal olmayan matematiksel problemlerde karmaşıklığa yol açmaktadır. Bu nedenle karmaşık problemleri ozmek için etkili algoritmalar gereklidir. Ayrıca şebeke bulunan esneklik kaynaklarının optimum şekilde çalışabilmesi için ekonomik teşviklerin gerekli olduğundan bahsetmişlerdir [2].

Yenilenebilir enerjinin mevcut enerji üretim kaynakları içerisindeki payının artmasının gerekliliği üzerinde duran Deng ve Lv, bu sayede daha temiz bir enerji kaynağı ile oluşmuş güç sistemi için çalışmışlardır. Bu alışma sonucunda esnek üretim, bölgeler arası enerji iletimi ve enerji depolama konularını birleştiren planlama modellerinin dikkatle incelenmesi gerektiği belirtilmiştir. Geleneksel modellerle karşılaştırıldığında yenilenebilir enerji kaynaklarının yeni parametrelere sahip olduğu ve ortada büyük bir belirsizlik olduğu açıklanmıştır [3].

Enerji kaynaklarını ve ekonomisini karbondan arındırmak isteyen ölkelerin yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut şebekelere entegrasyonuna odaklanması gerektiğini belirten Dagoumas ve Koltsaklis, makalelerinde optimizasyon modellerine, denge modellerine ve alternatif modellere değinmişlerdir. Bu modellerin bazı dezavantajları olsa da modeller yıllar içerisinde daha doğru sonuçlar ve öngörüler verecek şekilde kendini geliştirmeyi başarmıştır. YEK'in elektriksel depolama ve elektrik şebekeleri ile entegrasyonunun, halk sağlığının ve çevresel bozulmanın ortadan kaldırılmasını ve sürdürülebilir bir toplumun gelişmesini sağlayacağını belirtmişlerdir [4].

Tran ve Smith, ABD'de yenilenebilir enerji kaynaklarının rolü ile mevcut ve gelecekteki enerji ihtiyaçlarını teknik ve ekonomik açıdan sağlıklı bir şekilde karşılama potansiyelini incelemişlerdir. ABD'de olduğu gibi birçok ölkede yenilenebilir enerji kaynakları bol olsa da bu kaynaklardan üretilen enerjinin iletimi ve dağıtımı üzerine ciddi çalışmalar gerekmektedir. Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarındaki değişkenliği de göz ününe alan Tran ve Smith, mevcut güç sistemlerine yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonun karmaşık bir yapı içerdiğini belirtmektedir. Değişkenlik bir üretim kaynağının mevcudiyeti hakkında belirsizlikler yaratmaktadır ve dağıtım için büyük sorunlar teşkil edebilmektedir. Elektrik şebekesinin yönetimi için bu koşullar sürekli olarak dikkate alınmalıdır [5].

Guillamon ve çalışma arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekelere entegrasyonu sayesinde güç sistemlerinde ortaya çıkan dinamik karakteristik değişiklikler hakkında bilgiler vermişlerdir. Buna göre frekans kontrolü ve atalet değerlerinin yenilenebilir enerji kaynakları ile başka bir boyut kazandığına vurgu yapmışlardır. Rüzgar türbinlerinin frekans sapması olması durumunda ek üretim sağlamak için belirli bir miktarda aktif güç rezervinin olduğu belirtilmiştir [6].

Mararakanye ve Bekker, makalelerinde yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekelere entegrasyonu ile güç sisteminin planlanmasını ve çalışmasını karmaşıklarıacak etkilerden söz etmişlerdir. Yapılan çalışmada değişken güçteki yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu sonrasında yaşanabilecek sorunların, güç sistemini herhangi bir entegrasyon seviyesinde etkileyebileceği ortaya çıkmıştır. Elde edilen bulgular arasında, yenilenebilir enerjinin belirsiz ve değişken üretimi anlık entegrasyon seviyesi %20'nin üzerinde olduğunda güç sisteminin dengeleme işlemlerini etkilemesi bulunmaktadır [7].

Luz ve çalışma arkadaşları, yaptıkları çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artması için çok amaçlı bir model sunmuşlardır. Bu modelde temel hedefler; toplam maliyeti en aza indirmek, üretimi ve yenilenebilir enerji kaynaklarının katkısını en üst düzeye çıkarmaktır. Bu model Brezilya'da denenmiştir. Çalışma sonucunda elde edilen bilgilere göre yıllık ihtiyaç duyulan yükün %90'ının yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanması mümkün olmuştur [8].

Bozalakov ve çalışma arkadaşları, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekelere entegrasyonu sonucu gerilim seviyelerini ve dengesizliklerini sınırlar içinde tutmanın zorluklarını belirtmişlerdir. Alçak gerilim şebekelerinde reaktif güç vasıtasıyla gerilim kontrolü dirençli besleyiciler nedeni ile etkisiz hale gelebilmektedir. Bu çalışmada reaktif ve aktif güç düşüşü kontrol stratejisi kullanılarak gerilim kontrolünü de içinde barındıran kontrol stratejilerinin performanslarını değerlendirmişlerdir [9].

Haque, iletim sistemlerine artık daha fazla rüzgâr türbinlerinin entegre edildiğini ifade etmiş ve eklenen YEK'lerin sistemin gerilim profili ile hat kayıplarını önemli ölçüde değiştirdiğini göstermiştir [10]. Diğer taraftan Guerriche ve Bouktir, dağıtım sistemlerinin güvenilir bir şekilde çalışması için statik ve dinamik bir şekilde modellenmesi gerektiğini savunmuş, 33-Baralı radyal dağıtım sistemi üzerinde

yenilenebilir enerji kaynakları ile denemeler yapmıştır. DÜ tiplerinin dağıtım şebekelerinin yüklenebilirlik marjını önemli ölçülerde değiştirdiğini belirtmişlerdir [11].

Bu çalışmanın esas amaçlarından olan hatlarda yaşanan enerji kayıplarının azaltılması kapsamında ise Shrivastava ve çalışma arkadaşları, gerilim salınımlarını iyileştirmek ve iletim hattı kayıplarını en aza indirmek için dağıtım sistemi güç planlamasını 33-Baralı sistem üzerinden değerlendirmişlerdir. Gerilim düşümü ve beklenmedik hat veya generatör kesintileri şebekelerde karşılaşılan en büyük sorunlar arasında yer almaktadır. Yaşanan bu sorunları ortadan kaldırmak adına maliyetler de göz önüne alınarak bir yük akış analizi gerçekleştirilmiştir. [12].

Dharageshwari ve Nayanatara, güç kayıplarını ve gerilim profillerini iyileştirme kapsamında 33-Baralı Radyal Dağıtım sistemine birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı entegre ederek, iyileştirilmiş sonuçları analiz etmiştir [13]. Wazir ve Arbab, sistem kalitesini iyileştirmek, enerji kayıplarını azaltmak ve gerilim profillerini geliştirmek adına çalışmalar yapmıştır [14].

Majidi, çalışmasında dağıtık enerji kaynaklarının şebekelere bağlanması ile güç kayıplarının azaltılması ve gerilim profillerinin düzeltilmesi üzerine durmuş, bu kazanımlar için bağlanacak yenilenebilir enerji kaynakları için uygun noktaların belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Dağıtık üretim kaynaklarının şebekelere entegrasyonunun önünde gerilim profillerindeki bozulmalar ve koruma sistemlerindeki aksaklıklar gibi engeller yer almaktadır. Yapılan çalışma, bu sorunların önüne geçilebilmesi adına dağıtık üretimin şebekeye bağlanacağı noktalar üzerine yapılan çalışmaların önemini göstermiştir. Aksaklıkların giderilmesi adına ise Cuckoo arama algoritması ve Forward-Backward Sweep Method kullanılmıştır [15].

Parasher, radyal dağıtım şebekelerinde yük akış analizi ile ilgili çalışmalar yapmış ve verimliliğin artırılmasına yönelik uğraşlar vermiştir. Genel olarak dağıtım şebekesinin güç kayıplarının en aza indirilmesi ve yük dengeleme çalışmalarının yapılması üzerine durulmuş, analizlerin yapılması için doğrusal veri yapısına dayanan hızlı bir yöntem sunulmuştur [16].

Akdeniz ve çalışma arkadaşları, farklı yenilenebilir enerji santrallerini sıra ile farklı noktalardan bağlayarak şebekenin enerji kalitesi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır.

Sonuç olarak dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye entegrasyonu için bazı özelliklere sahip olması gerektiğini belirtmişlerdir. Bu özelliklerin arasında; şebeke kararlılığının sürekli olarak belirlenen limitlerin arasında kalması ve kısa devre akım değerlerinin şebekenin ısı dayanım kapasitesini zorlamaması bulunmaktadır [17]. Benzer bir çalışma olarak İçel ve çalışma arkadaşları, güç akış analizi üzerine ve alternatif enerji kaynaklarının iletim hatlarının yüklenme oranlarına etkisi üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Bu çalışmaların bir diğer ortak noktası ise geliştirme ve analiz işlemlerinin “Power World” programı ile yapılmış olmasıdır [18].

Karaarslan, yaptığı çalışmada dağıtık üretim kaynakları ile hat kayıplarının azaltıldığına dikkat çekmiştir. Bu çalışmasını yaparken de dağıtık üretim kaynaklarını farklı noktalardan yerleştirerek gerilim profiline olan katkılarını incelemiştir. Yaptığı çalışması ile bu tezin de amaçlarından biri olan dağıtık üretim kaynaklarının hat kayıplarına karşı yaratmış olduğu güçlü etkiyi göstermiştir. Bu sonuçlara varmak için yapılan analizlerde ise DIGSILENT Power Factory programından faydalanmıştır [19].

Geidl, çalışmasında dağıtık kaynakların mevcut şebekelere entegrasyonunun faydalarını belirtmiş fakat bunların yanında oluşabilecek teknik ve ekonomik sorunlardan da bahsetmiştir. Dağıtık üretim kaynaklarının şebekelere entegrasyonunun olumsuz etkilerinin olabileceği aşikârdır. Fakat yenilenebilir enerji kaynaklarının artıları ve eksileri beraber düşünüldüğünde, faydalarının daha etkili olduğu bu çalışma ile gösterilmek istenmiştir [20].

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi üzerine Uyar ve çalışma arkadaşları da bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmalarında rüzgâr türbinlerinde kullanılan generatörlerin avantajları ve dezavantajları belirtilmiştir. Rüzgâr türbinlerinin gücünün maksimum olacak şekilde ayarlanması ve sürekli olarak güç noktası izleyici sistemlerin kullanılması şebeke kalitesi açısından önem taşımaktadır. Bununla birlikte rüzgâr türbinlerinin şebekelere entegrasyonu sonucunda olumlu sonuçlar alınabilmesi için rüzgâr türbinlerinin tipine göre generatörlerin kullanılmasının gerekliliğinden bahsedilmiştir [21].

Dulau ve çalışma arkadaşları, dağıtık kaynakların güç sistemlerine etkisi üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmalarında da yine gerilim değişimleri, yük kayıp miktarları ve güç kalitesi üzerine sonuçları tartışmışlardır. Yapılan tartışmalar sonucunda enerji

güvenliğinin sağlanması ve güç kayıplarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının tercih edilebilir bir kaynak türü olduğu belirlenmiştir [22].

Güç akış analizleri üzerine yapılan çalışmalarda incelendiğinde Uzal ve çalışma arkadaşları, İzmir ili üzerinde güç akış analizi uygulaması yapmıştır ve bu uygulamada “Power World” programı ile “Matlab” programı çıktılarını karşılaştırmıştır. Hat kapasitelerinin sürekli olarak zorlandığı şebekelere mühendislik çözümleri getirmeye çalışmışlardır. Ayrıca üretim santrallerinin olası bir devre dışı kalma durumlarında rüzgâr türbinlerinin yardımı ile ihtiyaç duyulan enerjinin bir kısmının karşılanabileceği gösterilmiştir [23].

Parihar ve Malik, 12-Baralı ve 69-Baralı sistemlerde yük akış analizi üzerine çalışmışlardır. DÜ’ler ile güç kayıpları ve gerilim profilleri hakkında bulgular elde etmişlerdir [24]. Diğer yandan Narayan ve Kumar, radyal dağıtım sistemlerine entegre edilen rüzgâr türbinleri ile elde edilen tasarruflar üzerine tartışmalar içeren makalelerini yayınlamışlardır. Bu makalede rüzgâr türbinlerinin şebekeye entegrasyonu sonrasında enerji kayıplarının maliyetlerinde ciddi azalmalar olduğu belirtilmiştir. Enerji kayıplarındaki azalma ile gerilim profillerindeki iyileşmeler de kanıtlanmıştır [25].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtık üretim şebekelerine entegrasyonu sırasında ve sonrasında ciddi problemler ile karşılaşılması için entegrasyon işleminden önce yapılacak analizlerin çok ciddi şekilde incelenmesi gerekmektedir. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının değişkenliğe sahip olması sebebi ile sistem bağlantısı yapılırken kullanılacak olan teknolojinin çok iyi belirlenmesi şarttır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet konusunda sunduğu faydalar ve diğer olumlu etkilerinin yanında dikkat edilmesi gereken tarafları da bulunmaktadır. YEK’lerin kalitesi, enerjinin ne kadar kesintisiz olduğuna ve kullanıcıların sorunlardan etkilenmemesine göre belirlenmektedir. Yapılan entegrasyon işlemleri sonucunda ortaya kalitesiz enerji çıkmasına izin verilmemelidir.

Yapılan bu literatür taramaları sonucunda varılan sonuç; hat kayıplarının ve maliyetlerin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç olduğudur. Ortaya çıkan ihtiyacın farklı bir dağıtım şebekesi tasarımı ile analiz edilmesi için bu çalışma yapılmıştır. Senaryo gereği 12 ilçesi olan bir şehir tasarlanmış ve ona ait dağıtım şebekesi ortaya çıkarılmıştır. Bu ilçeler oluşturulurken nüfus yoğunluğu ve enerji taleplerine dair

kriterler göz önünde bulundurularak verilerin girişleri yapılmıştır. Bu çalışmanın odak noktası, hat kayıplarının azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre edileceği en uygun noktaların seçilmesidir. Bu seçim yapılırken kolaylık olması ve hesaplamalarda yanlışlık olmaması adına “Power World” programı kullanılması tercih edilmiştir. “Power World” programı kolay kullanımı ve doğru hesaplamaları ile birçok kişi ve kurum tarafından tercih edilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekelere daha çok dâhil edilmesinin gerekliliği üzerinde durmaya çalışan bu tez, DÜ’lerin radyal şebekelere entegrasyonu sırasında oluşabilecek veya daha sonra karşılaşılabilecek sıkıntılara rağmen, neden tercih edilmesi gerektiğinin üzerinde durmuştur. Yenilenebilir enerji kaynaklarına ihtiyaçlar günden güne artmaktadır. Yenilenebilir enerji ihtiyacı, kıt kaynakların hızla tükenmeye başlaması ve enerji ihtiyacının artması ile daha da çok büyümektedir.

Bu çalışmada, DÜ’lerin radyal şebekeye entegrasyonu sayesinde dağıtım hatlarında meydana gelebilecek fazla yüklenmelerin önüne geçilebileceği gösterilmeye çalışılmıştır. Yük taşıma sınırlarının hangi oranlarda kullanıldığı, radyal şebekeler için önemli bir konudur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının radyal şebekelerde güç kayıplarının azaltılmasında yardımcı olması bu çalışmanın en önemli bulguları arasında yer almaktadır. Diğer taraftan, enerji hatlarında yaşanan güç kayıpları da incelenmiştir.

Maliyet hesaplamaları, yapılan çalışmadaki analizler içerisine dâhil edilmiştir. Çalışma içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarından olan rüzgâr enerjisi tercih edilmiş ve maliyet analizleri bu enerji kaynağına göre yapılmıştır. Analizler sonucunda yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırım maliyetlerinin son derece olumlu sonuçlar verdiği ve yatırım miktarının kısa zamanda geri alınabildiği gösterilmeye çalışılmıştır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, şebekelere dâhil edilirken yaşanabilecek ya da oluşabilecek diğer sorunlar göz önüne alınmalıdır. Doğru analizler sonucunda uygun noktalardan entegrasyonun gerçekleşmesi hem şebekeyi rahatlatacak hem de enerji üretiminin birim maliyetini düşürecektir.

Bu amaçlarla hazırlanan tezde analizlerin “Power World” programı ile yapılmasının amacı ise yapılan hesaplamaların sonuçlarını rahatlıkla elde edebilmek ve radyal şebeke üzerinde her türlü senaryoyu uygulayabilmektir. Diğer taraftan bu programın sıklıkla tercih edilmesi ve doğru sonuçlar vermesi de bu tezde kullanılma sebepleri arasında yer almaktadır.



BÖLÜM 2

GENEL BİLGİLER

Bu bölümde mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynakları ve şebeke sistemlerinden detaylı olarak bahsedilecektir.

2.1 Mikro Şebekeler

Yenilenebilir enerji kaynaklarının, enerji taleplerinin karşılanması konusunda kullanılması önemli bir konudur. Bu konuda mikro şebekeler devreye girmektedir. Mikro şebeke sistemi şebekeye bağlı olarak ya da şebekeden bağımsız olarak çalışabilmektedir. Mikro şebekeler, çevre sağlığı ve elektrik üretim maliyetleri azaltılması konusunda da büyük bir katkı yapmaktadır [26].

Mikro şebekeler bir dağıtım mimarisinin yüklerini ve dağıtılmış enerji kaynaklarını entegre ettiği, yerel olarak sınırlandırılmış ve bağımsız olarak kontrol edilen elektrik güç şebekeleri olarak kabul edilmektedir.

Liu ve çalışma arkadaşları ise mikro şebekeyi tanıtırken; dağıtık üretim kaynaklarından oluşan, içerisinde yükleri barındıran ve enerji depolama ve koruma sistemine sahip olan, enerjinin iletimini, dağıtımını ve kullanımını sağlayan ve bağımsız olarak çalışabilen sistemler ifadesini kullanmıştır [28].

Diğer bir tanımlamayı ise Myles ve çalışma arkadaşları yapmıştır. Tanıma göre mikro şebeke; dağıtık üretim kaynaklarının yerel yükler ile entegrasyonunu sağlayan, yüksek güvenilirlikli ve şebekede oluşabilecek düzensizliklere karşı kontrol sağlayan, şebekeye paralel şekilde veya ada modunda çalışmasına devam eden sistemdir [29].

Sonuç olarak yenilenebilir enerji kaynakları şebekeye dâhil olarak var olan enerjinin maksimum seviyede kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Mikro şebekelerin yapısı Şekil 2.1.'de gösterilmektedir. Mikro şebekelerin yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını için ne kadar önemli olduğu açıkça görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları, artan petrol fiyatları ve fosil yakıtların yakılması ile sera gazlarının yayılmasından kaynaklanan çevre sorunları nedeniyle modern enerji sisteminde önemli bir role sahiptir.

Mikro Şebeke, merkezi kontrol sinyallerine yanıt verebilen tek bir varlık olarak kendisini Şebekede gösteren bir dizi mikro kaynak, depolama sistemi ve yüktür. Mikro Şebeke konseptinin merkez noktası, Mikro Şebeke ve büyük gç sistemi arasında esnek ancak kontrol edilebilir bir arayüz kavramıdır. Bu arayüz aslında iki kenarı elektriksel olarak izole eder ve yalnızca ekonomik olarak birbirine bağlar. İçeride, hizmetin Őartları ve kalitesi mikro Şebeke tarafından belirlenir. Tüketiciler açısından mikro Şebeke, tüketicinin ihtiyaçlarını karşılamak için en uygun Şekilde alıŐan otonom bir gç sistemi olarak görünmelidir. Güvenilirlik, kayıplar ve güç kalitesi ve diğer konular, tüketicinin hedeflerini destekleyecek Şekilde olmalıdır [30].

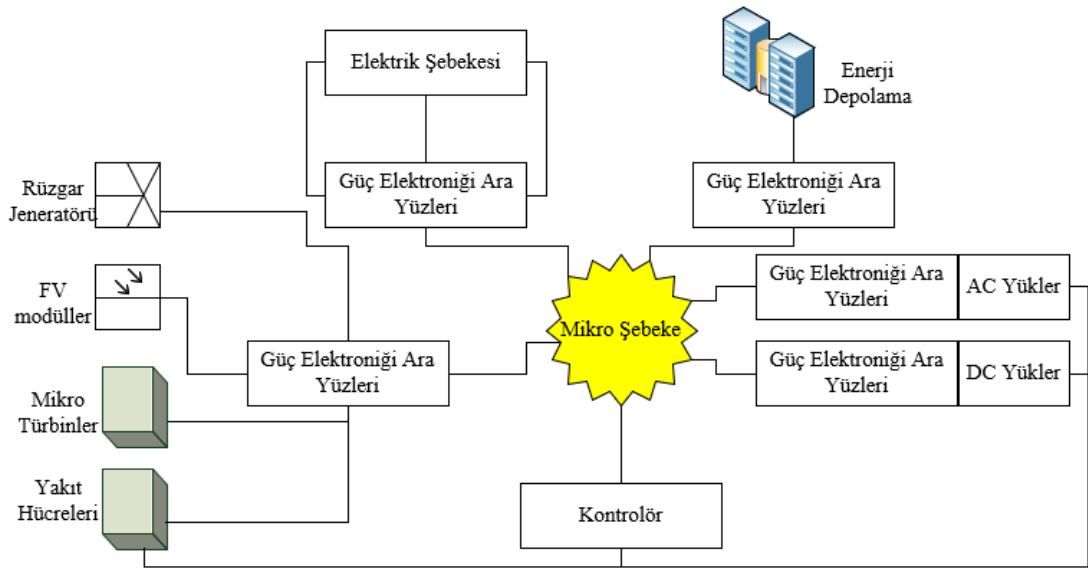
Mikro Şebekenin dağıtım sistemine sağlayabileceği faydalardan bazıları; tıkanıklığı azaltmak, yeni üretimi veya tedarik kapasitesini geciktirmek, yk deęiŐikliklerine yanıt vermek ve lokal gerilim desteği Őeklinde belirtilebilir. Şebeke açısından bakıldığında, bir Mikro Şebekenin en önemli avantajı, tek bir parti yükü olarak çalıŐtırılabilmesi ve gç sistemi içinde kontrol edilebilir bir varlık olmasıdır. Bu, gç sisteminin güvenilirliğini ve güvenliğini engellemeden kolayca kontrol edilebildiğini ve Şebeke kurallarına ve yönetmeliklerine uygun olduğunu gösterir. Mikro Şebekeler, kesintisiz güç sağlayabilir, yerel güvenilirliği artırabilir, besleyici kayıplarını azaltabilir ve yerel gerilim desteği sağlayabilir [31].

2.1.1 Mikro Şebeke zellikleri

Mikro Şebeke tasarımı yapılırken öncelikle dağıtık üretim kaynaklarının özelliklerinin belirlenmesi gerekir ve ardından Şebekeye bağlantısı en uygun olan üretim biriminin hangisi olduğuna karar verilmelidir. Bununla birlikte Şebekelere yapılacak bağlantı noktaları da mikro Şebeke tasarımında göz önüne alınması gereken konulardan biridir. Şebekelerde yaşanabilecek sıkıntıların nne geçebilmek için sistem kayıpları, gerilim kararlılığı ve işletme koŐullarına dikkat edilmelidir. Ayrıca mikro Şebeke tasarımı için gerekli olan yatırım maliyeti, yatırım sonrası elde edilecek gelirler, yk kayıplarının meydana gelme olasılıkları ve işletme maliyetleri ekonomik anlamda doğru analiz gerektiren konulardır [32].

Mikro Şebekelerin sahip olması gereken özellikler arasında ise düşük yatırım, işletme ve bakım maliyetlerine sahip olması, düşük emisyon içermesi, güç kalitesinin yüksek olması, güvenlik konusunda tam donanıma sahip olması bulunmaktadır [33].

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi mikro şebeke yapısında bulunması gerekenler; mikro türbinler, rüzgâr türbinleri, depolama aygıtları, kontrolcü ve yerel yüklerdir. Mikro şebekelerde de geleneksel güç sistemlerinde olduğu gibi hiyerarşik bir yapı söz konusudur. Hiyerarşik yapının en üst seviyesinde mikro şebeke kontrol birimi yer almaktadır. Bu kontrol birimi, şebekenin etkin bir şekilde çalışmasını ve işletilmesini sağlamakla görevlidir. Bir alt seviyede ise kontrolör yer almaktadır. Kontrolör, mikro kaynakları ve enerji depolama sistemlerini kontrol etmekle yükümlüdür.



Şekil 2.1. Mikro şebeke yapı örneği

Mikro şebekelerin yönetimi ve işletilmesi için mikro kaynak kontrolcüsü ve merkezi kontrolcü bulunmaktadır. Mikro kaynak kontrolcüsünün temel işlevi, olabilecek herhangi bir arıza durumunu ya da yük değişimlerine karşılık yük akışını ve gerilim profillerini kontrol etmektir. Bu görevinin yanında birde ekonomik üretim için plan ve talep yönetimini de elinde bulundurmaktadır. Merkezi kontrolcü ise genel olarak şebekenin işletilmesi ve korunmasındaki konularla ilgilenmektedir. Merkezi kontrolcü, belirlenen gerilim ve frekansı korumaya çalışmaktadır. Ayrıca, enerji optimizasyonu konusunda görevlendirilmiştir. Merkezi kontrolcünün iki temel modülü bulunmaktadır.

Merkezi kontrolcü modüllerinden birisi “Enerji Yönetim Modülü”dür. Mikro kaynak kontrolcüsü için aktif ve reaktif güç çıkışı ile gerilim ve frekans ayar noktalarını sağlamaktadır. Bunu sağlarken son teknolojiden ve yapay zekâ tekniklerinden

faýdalanılmaktadır. Enerji yönetim modülü; mikro kaynak kontrolörünün ısı ve elektrik yüklerini müşteri isteğine göre tedarik edebilmesini, mikro şebeke ile ana şebekenin uyum içerisinde çalışmasını, sistem kayıplarının en aza indirilmesini, mümkün olan en yüksek verimlilikte çalışmasını sağlamalıdır. Merkezi kontrolörün bir diğer modülü ise “Koruma Koordinasyon Modülü”dür. Mikro şebeke ya da ana şebeke arızalarında ve şebeke kaybı durumlarında bu arızalara doğru bir şekilde yanıt vermekle yükümlüdür. Ayrıca arıza akım seviyesindeki değişikliklere de hızla adapte olabilmektedir. Bu modül, oluşabilecek ana şebeke arızalarında, öncelikli olan yüklere güç akışını sağlayabilmek adına mikro şebekeyi ada moduna geçirmektedir. Bunun dışında ana şebekedeki arıza, mikro şebeke kararlılığı için tehlikeli olursa koruma koordinasyon modülü mikro şebekenin ana şebekeye yükleri ile olan tüm bağlantısını kesebilir [31].

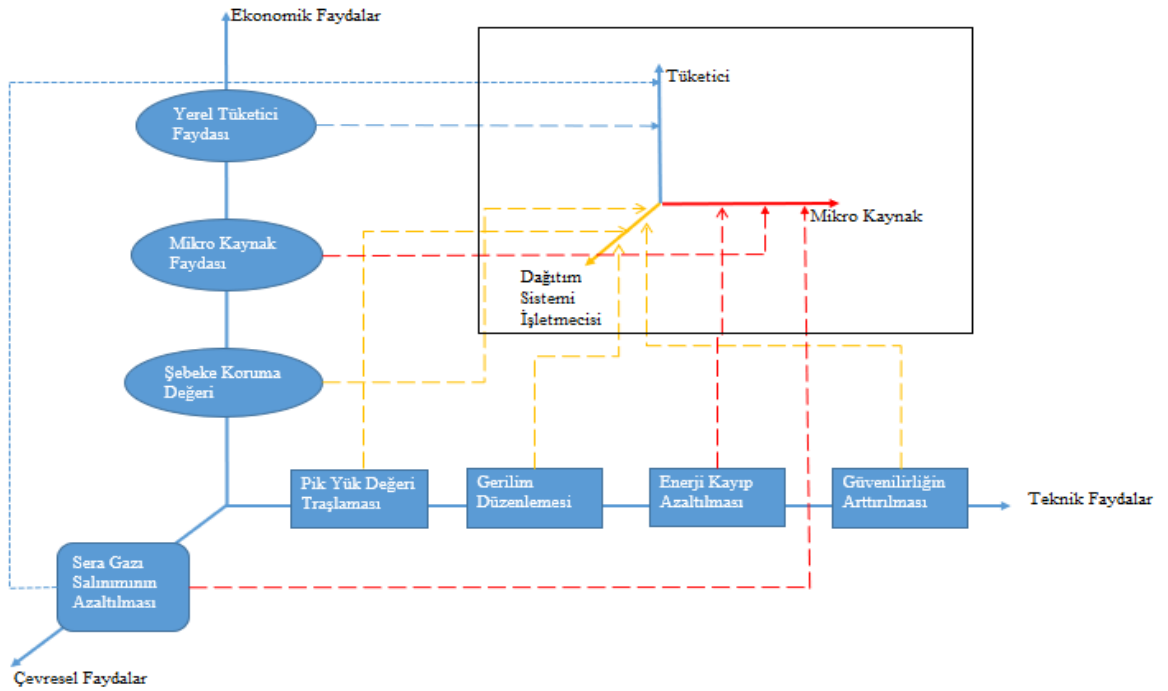
2.1.2 Mikro şebekenin faydaları

Geçmişten günümüze etkilerinin ve kullanımının daha çok görülmeye başladığı mikro şebekelerin birçok faydası bulunmaktadır. Enerji güvenliği şebekeler için olmazsa olmazlar arasında yer almaktadır ve çoğunlukla hava şartlarından dolayı şebekelerde kesintiler meydana gelmektedir. Normal hava şartlarına göre zorlu hava şartlarında kesintilerin daha çok gerçekleştiği belirtilmektedir [34].

Siber saldırılar karşısında da yetersiz bir görünüm sergileyen merkezi elektrik şebekeleri, olası hasarlar sonrasında düzeltilmeye çalışıldığında birçok maliyete sebep olmaktadır. Oysaki mikro şebekeler meydana gelebilecek siber saldırılar karşısında merkezi şebekelere göre daha az etkilenmektedir. Siber saldırılar sonucunda uzun süre elektrik kesintisinin meydana gelmesi geçmiş tarihlerde Ukrayna’da görülmüş ve binlerce kullanıcı elektrik kesintisine maruz kalmıştır [35].

Devletler için büyük maliyetlere sebep olan merkezi şebekelerin ortaya çıkardığı masraflar mikro şebekeler sayesinde önlenebilir ya da azaltılabilir [36]. Şebeke içerisindeki hat kayıplarındaki azalmaları sağlayan mikro şebekeler yakıt tasarrufu sağlayarak yine ekonomik anlamda olumlu katkı sağlamaktadır. Mikro şebekelerde, dağıtık üretim kaynaklarından ısı geri kazanımı sağlanabilirse toplam verimliliğin oldukça yüksek yüzdelere ulaşabildiği belirtilmektedir [33].

Bebic, YEK'lerin değişken ve çoğunlukla kontrol edilemeyen kaynaklar olmasından dolayı bu enerji kaynaklarının aşırı üretimler oluşturmasına ve gerilim kontrolünün sağlanması engeli teşkil etmesine dikkat çekmişlerdir [37]. Fakat bu olumsuzluk karşısında mikro şebekelerin enerji depolama sistemleri sayesinde dağıtık üretim kaynaklarının değişken üretimleri ile mevcut yükler arasındaki dengeyi sağlanmasında başarılı bir iş çıkardığı görülmektedir. Mikro şebekenin sağladığı faydalar Şekil 2.2.'de verilmiştir.



Şekil 2.2. Mikro şebeke faydaları [31]

Mikro şebekelerin faydaları Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi ekonomik, teknik ve çevresel faydalar olarak ayrılmaktadır. Ekonomik faydalar, kendi içerisinde maliyetlere karşı ve enerji pazarına karşı faydalar olmak üzere kendi içerisinde ikiye ayrılabilir. Çünkü mikro şebekeler enerji fiyatlarındaki değişikliklere ve kesintilere karşı engelleyici görevini üstlenmektedir. Mikro şebekelerin teknik faydalarına bakılacak olursa; ilk olarak hat içerisine yaşanan enerji kayıplarının azaltılması örnek olarak verilebilir. Ayrıca, şebeke içerisindeki gerilim profillerinin istenilen seviyelerde olmasına yardımcı olur. Kısmen ya da tam adalama yönteminin kullanılması ile ana şebekede oluşan herhangi bir arızadan kaynaklı kesintilerin önlenmesi ve müşteri taleplerinin sürekli olarak karşılanmasının sağlanması da mikro şebekelerin teknik faydaları arasında yer almaktadır. Mikro

şebekelerin çevresel faydaları ise sera gazı salınımlarının azalmasını sağlamasıdır. Bununla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ihtiyacın vurgulanması ve bu kaynaklara yönelik yatırımların artması ile daha temiz bir çevre için oluşacak zemini hazırlamaktadır.

Kumar ve çalışma arkadaşları, yaptıkları çalışmalarda mikro şebekelerin bunca faydası olmasına rağmen bu şebekelerin kurulumlarında ve sonrasında bazı zorlukların olduğunu belirtmişlerdir. Yaşanan zorlukların sebepleri arasında başta mikro şebekeler hakkında yeterli eğitimin olmaması gelmektedir. Ayrıca mikro şebekelerin kurulumu sırasında yaşanabilecek yüksek maliyet sorunu ve yapılan yatırımın geri kazanılması süresinin uzun olabilmesi yatırımcıları bu konuda endişeye düşürebilmektedir. Mikro şebekeler hakkında yeterli eğitimin olmaması ile ortaya çıkabilecek olan uygunsuz tasarımlar da mikro şebekelerin zorlukları arasında gelmektedir [38].

2.2 Şebeke Sistemleri

Enerji sistemlerinde temel amaç, uzak yerlerde kurulan santrallerin iletimlerindeki enerji kayıplarını en aza indirmektir. Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için kullanılan tesislere elektrik şebekesi adı verilmektedir. Bu şebekeler genel olarak dağıtım şebekesi ve iletim şebekesi olarak tanımlanmaktadır. Dağıtım şebekeleri yapılarına göre radyal, halka ya da ağ şebeke olarak gruplandırılmaktadır.

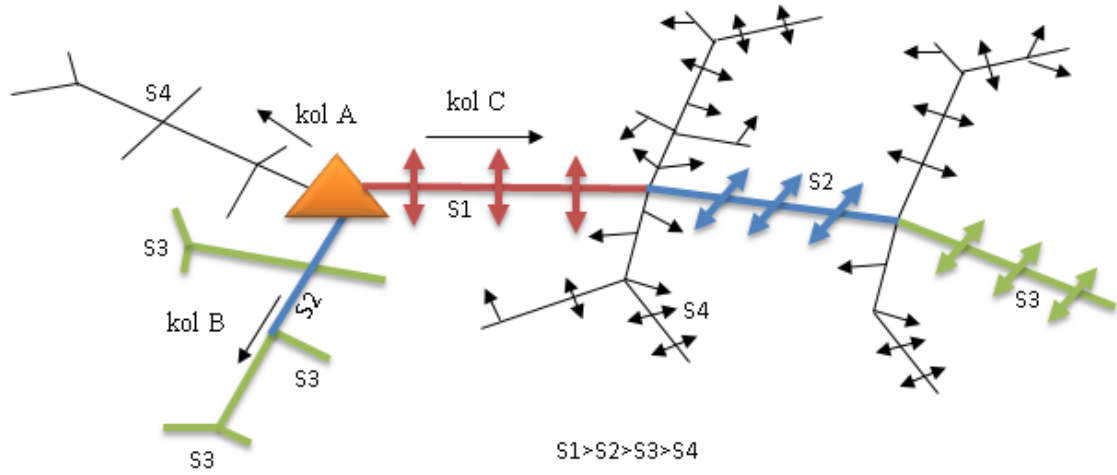
Bu tezde de “Radyal Şebeke” kullanılmıştır. Radyal şebekelerin en çok tercih edilen şebeke sistemleri olmasının en büyük sebepleri arasında en basit ve en ucuz sistem olmasıdır. Radyal şebekenin diğer önemli bir avantajı ise gerilim dengeleme tekniklerinin kolayca uygulanabilmesidir [39].

2.2.1. Radyal şebeke özellikleri

Radyal şebekeler, ana kontrolcü, kontrol sistemi, haberleşme sistemi ve dağıtım hattı olmak üzere dört önemli bölümden oluşmaktadır. Ana kontrolcü, şebeke parametrelerinin tanımlandığı ve tüketici aktivitelerinin kontrol edildiği yerdir. Kontrol sistemi, şebeke içerisinde yer alan diğer bir bölümdür ve verileri iletmek için değişim sistemi kullanmaktadır. Böylece çok katmanlı kontrole izin vermeyi amaçlamaktadır [40]. Radyal

şebekenin dağıtım hatları, sistemdeki kaynak, yük ve enerji alanı birimlerini birbirine bağlamak için kullanılmaktadır.

Radyal dağıtım şebekesi, koordinasyon ve tasarım için nispeten basit bir devre koruma şemasına sahiptir. Radyal ağ ile sistem bileşeni derecelendirme gereksinimlerini belirlemek oldukça kolaydır [41]. Radyal ağ ile çalışmanın bir diğer avantajı ise reaktif güçlerin dengelenmesi gibi gerilim dengeleme tekniklerinin kolayca uygulanabilmesidir. Eşit olmayan iletken uzunluklarının neden olduğu her yükte farklı gerilimler olmasına rağmen, iletken boyutunun dikkatli bir şekilde seçilmesi ile oluşabilecek bazı elektriksel sıkıntıları ortadan kaldıracak ve farklılıkları en aza indirebilecek kolaylığa sahiptir [42]. Radyal şebeke, en basit şebeke olarak bilinir çünkü yalnızca bir uçtan beslenmektedir. Radyal şebekenin başlangıç maliyeti diğer bir ifade ile yatırım maliyeti düşüktür ve üretim düşük gerilimlerde ise çok kullanışlıdır. Bu tip şebeke, sistemin analiz edilmesi ve çalıştırılmasında kolaylık sağladığı için istasyon, yükün merkezinde bulunduğu zaman tercih edilmektedir [43]. Şekil 2.3'te örnek radyal şebeke görünümü verilmiştir.



Şekil 2.3. Radyal şebeke örnek görünümü [44]

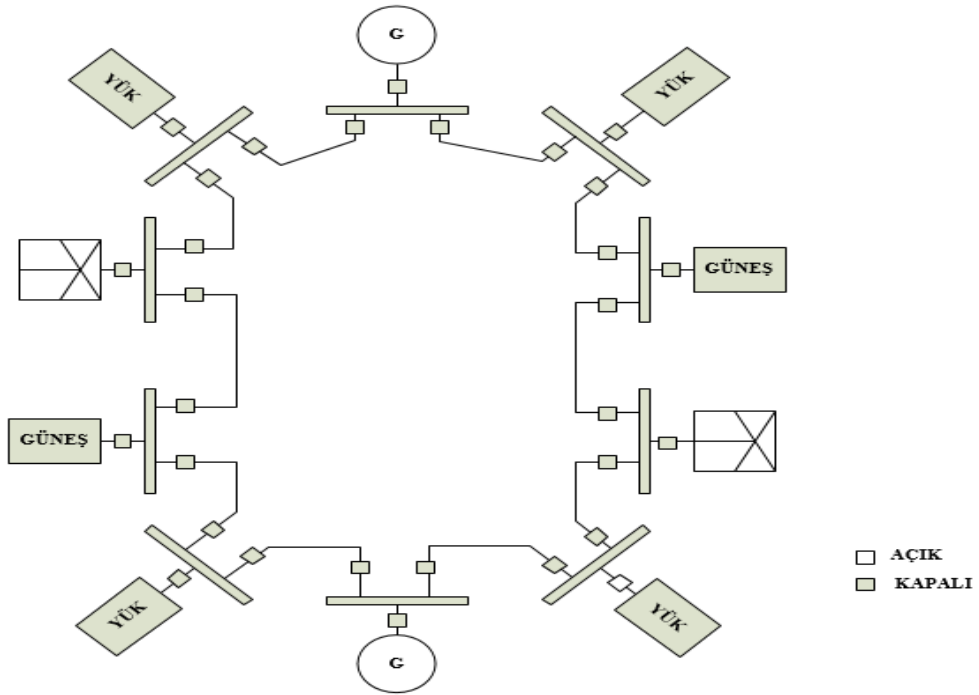
Radyal şebekelere planlama açısından bakıldığında çok sınırlı bir büyüme esnekliğine sahip olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, yük ekleme veya yeni nesil entegrasyonun, başlangıçta kullanılan kabloların ve diğer bileşenlerin dışında yeni kabloların ya da diğer bileşenlerin kurulmasını gerektirmesidir. Bu nedenle entegrasyonlar ekstra maliyetler getirebileceklerdir.

Radyal şebekelerde tüketiciler tek bir besleyiciye ve dağıtıcıya bağımlıdır. Sistemdeki herhangi bir arıza, dağıtıcıya bağlı olan tüm tüketicilere yapılan güç beslemelerinde kesintiye neden olacaktır [45].

2.2.2. Halka şebeke özellikleri

Halka şebekedeki tüm düğümler bir veya daha fazla dağıtım transformatörüne ya da yük merkezine hizmet eden bir alan boyunca veya çevresinde bir döngü yapıları oluşturacak ve aynı alt istasyona geri dönecek şekilde birbirine bağlanırlar [46]. Bir halka şebekede, yardımcı program halkanın herhangi bir yönünde güç sağlayabilir. Bu nedenle arıza, halka şebeke üzerindeki yüklerin çoğuna hizmet vermeden önce izole edilebilmektedir [47].

Halka şebeke, elektrik akımının birden fazla yönde aktığı yerleşim alanlarında yaygın olarak kullanılır. Bu durum daha iyi gerilim kararlılığı ve daha düşük güç kayıpları sunmaktadır. Ancak arızalara karşı korumayı daha zor hale getirmektedir. Arıza toleranslı kapasiteye sahip halka mimarisi, yenilenebilir enerji kaynakları ve EV şarj istasyonları ile de kullanılabilir [48]. Örnek halka şebeke görünümü Şekil 2.4'te yer almaktadır.



Şekil 2.4. Halka şebeke örnek görünümü [49]

Halka şebeke, düğümleri birbirine birleştirerek kapalı bir döngü oluşturduğundan en organize şebeke olarak bilinmektedir. Bu nedenle, halka şebeke içinde birkaç koruma bölgesi uygulanabilir. Koruma bölgeleri hem pozitif hem de negatif halka veri yoluna uygulanabilir. Halka şebeke yapısı radyal şebekeye göre daha iyi bir performans oranına sahiptir. Performans, şebekede bulunan ek aygıtlardan etkilenmemektedir. Bir besleyicinin arıza veya bakım altında olması durumunda ona bağlı diğer besleyiciler tarafından hala enerji verilir. [50]. Bu durum bir besleyici çalışmazken bile müşterilere verilen kaynağın bozulmadığını göstermektedir. Halka sistemindeki farklı bölümlerde herhangi bir arıza olması durumunda bölümleri izole etmek için farklı uygun noktalardan da arıza giderme işlemleri yapılabilmektedir.

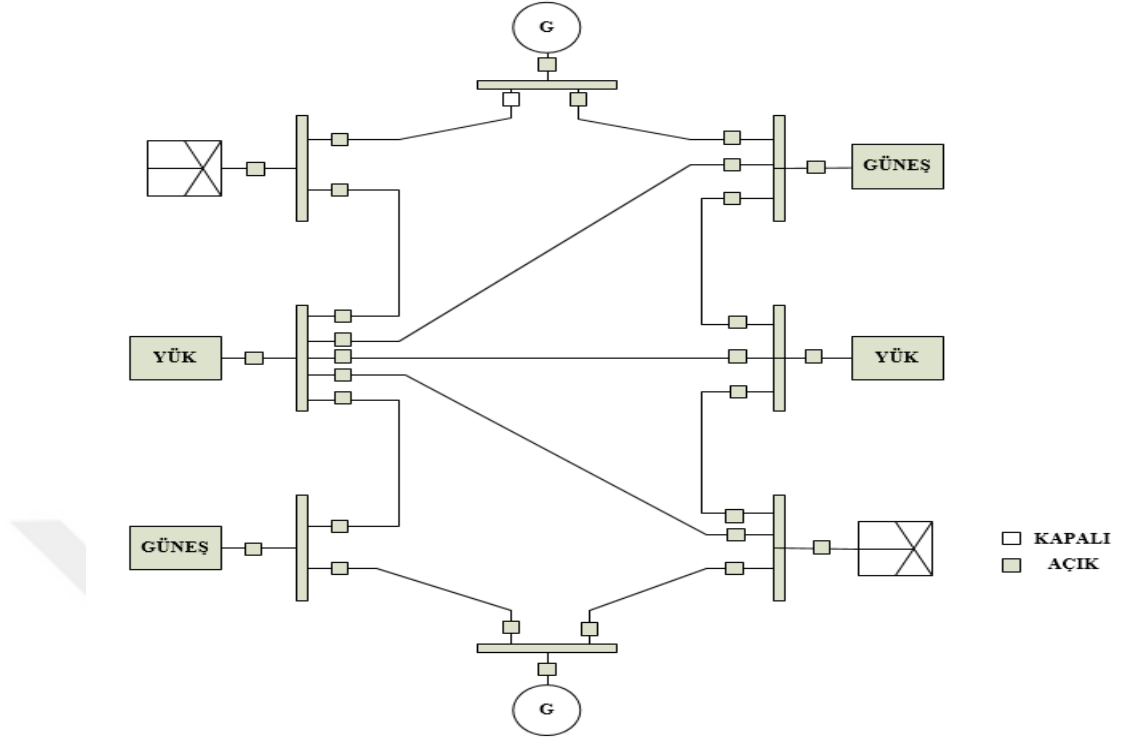
Bu yapının en büyük dezavantajı, şebekenin diğer bileşenlerini ağa bağlayan kablolarla oldukça bağımlı olmasıdır. Karmaşıklık açısından, bir döngü besleyici sistemi radyal bir sistemden biraz daha karmaşıktır. Ayrıca döngü sisteminin kapasitesini ve maliyetini karşılamada büyük bir dezavantaja sahiptir [43].

2.2.3. Ağ şebeke özellikleri

Elektrik şebekesi, radyal ve halka yapıları dışında ağ mimarisinde de organize edilebilir. Ağ yapısı genel olarak yüksek veya orta gerilim şebekelerinde kullanılır. Bu nedenle dağıtım sistemleri üç fazın dengelenmesini sağlar ve güç çıkışının momenti üç faz arasında eşit olarak yayılır. Böylece daha tutarlı bir güç çıkışı elde edilir.

Bir ağ şebeke radyal şebeke yapısına benzemektedir ancak ana hatlara ek olarak kullanılmayan başka hatlarda içermektedir. Bu hatlar ana hattaki arızalar sırasında gücü yeniden yönlendirmek amacıyla yedekleme olarak düzenlenmiştir [51]. Halka ve radyal şebekelere kıyasla ağ şebeke, düğümler arasında birçok alternatif bağlantı içerdiğinden en karmaşık konfigürasyona sahip şebeke olarak bilinmektedir. Bu durum şebekenin çalışmasını ve korunmasını önemli ölçüde zorlaştırmaktadır [52].

Ağ şebekelerin kullanım avantajlarının arasında ilk olarak dengeli gerilim profili ve yüksek güvenlik gelmektedir. Ayrıca ağ şebekeler daha yüksek bir kısa devre akım değerine sahip olmaktadır [53]. Şekil 2.5'te ağ şebeke örnek görünümü yer almaktadır.

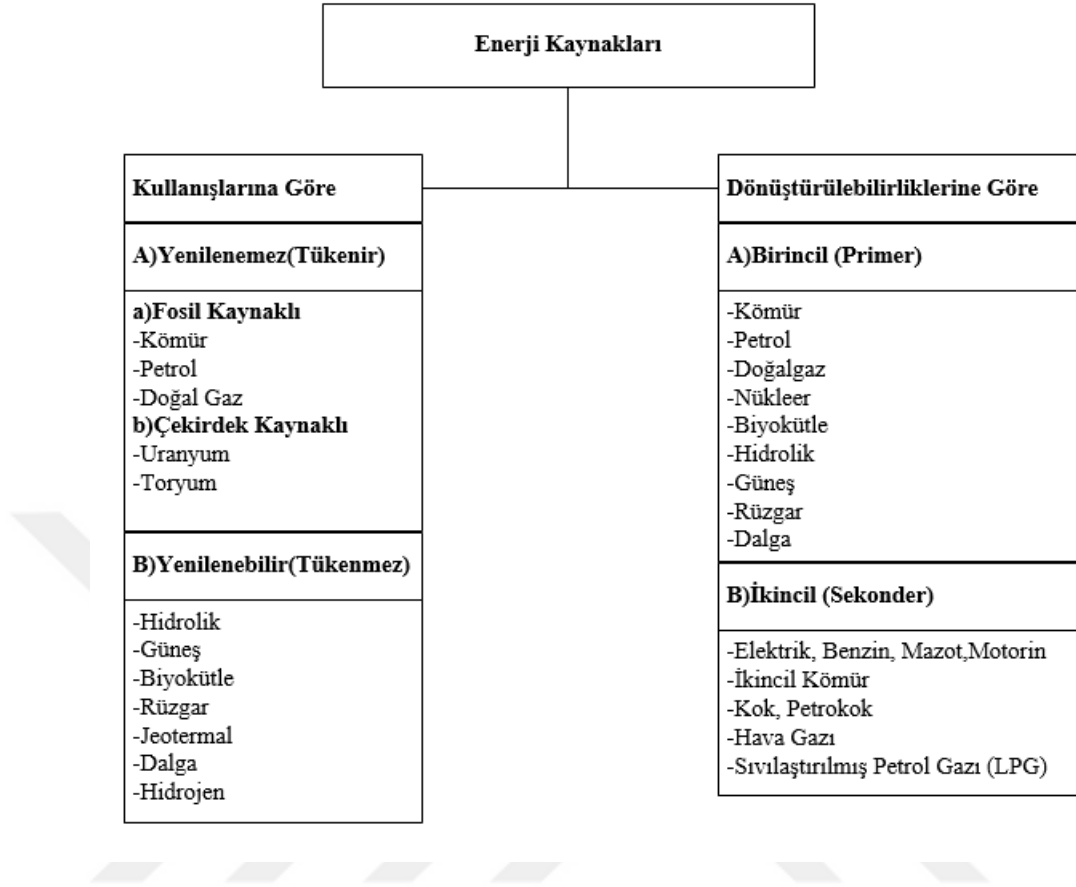


Şekil 2.5. Ağ şebeke örnek görünümü [49]

2.3 Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Sürekli olarak gelişen ve artan enerji ihtiyaçlarından dolayı dünya içerisinde var olan sınırlı enerji kaynaklarının planlı şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. Bu sınırlı kaynakların yanında sınırsız olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı da hem dünyada hem de ülkemizde hızla artmaktadır. Enerji kaynakları genel olarak aşağıda yer alan Şekil 2.6.'daki gibi sınıflandırılmaktadır.

Kaynak bazında incelendiğinde dünya çapında ilk sırada kömür yer almaktadır. Dünyada kömürle enerji üretme oranı yaklaşık olarak %41 olarak bilinmektedir. Küresel olarak tercih edilen başlıca yenilenebilir enerji kaynağı ise rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisi rüzgâr türbinleri sayesinde elde edilmektedir. Bu enerjinin kaynağı, güneş ışınlarının yeryüzündeki farklı ısınma seviyelerine sebep olmasıdır [55]. Dünya Enerji Konseyi tarafından yapılan son araştırmalara göre yenilenebilir enerji kaynaklarından küresel enerji üretimi 2030 yılında yaklaşık olarak %34 olacaktır [56].



Şekil 2.6. Enerji kaynaklarının sınıflandırılması [54]

Yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik dağıtım sistemine dahil edilmesinin güç sistemi yeterliliği ve güvenliği üzerinde olumlu birçok etkisi vardır. Bu etkiler; tesisin elektrik kesintisi durumunda yük noktalarında sürekli bir güç kaynağı sağlamak için bulunan yenilenebilir enerji kaynaklarının kapasitesine göre değişmektedir. Bu durum, YEK'lerin yüklere hizmet etmesini ve gerekli tüm DÜ kaynakları kontrol yeteneklerini gerektirmektedir [57].

2.3.1 Rüzgâr santralleri

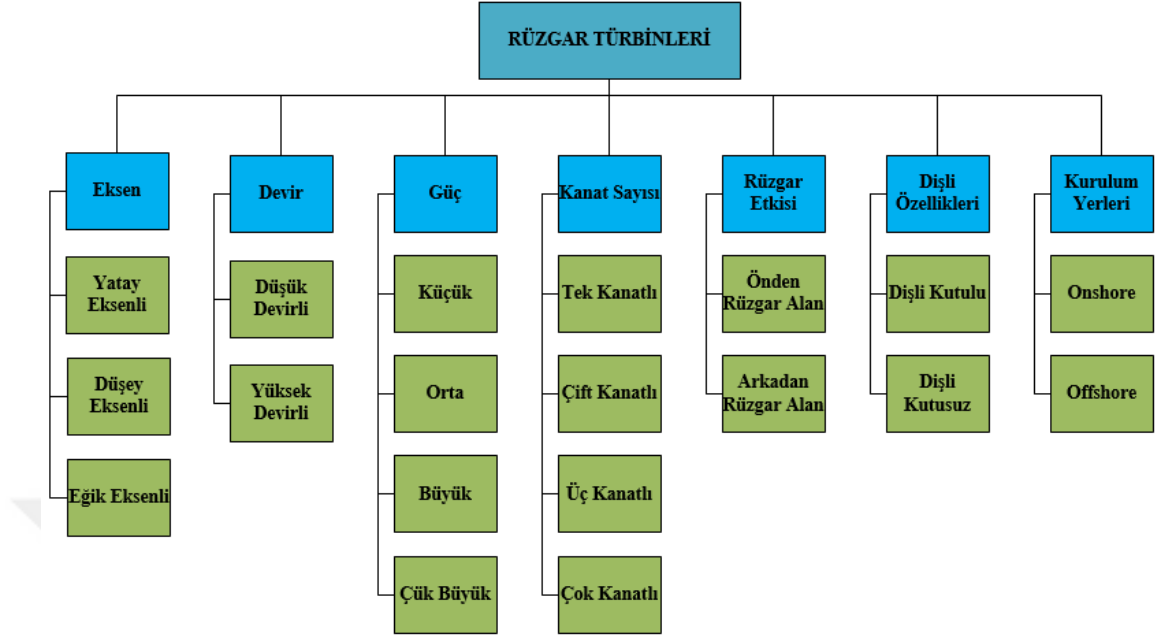
İnsanlık tarihinde yararlanılan ilk enerji türü olan rüzgâr enerjisi günümüzde de önemini giderek arttırmaktadır. Dünyadaki rüzgâr enerjisi potansiyelinden bahsedilirken, yeryüzündeki enerji tüketiminin dört misli kadar enerji üretimi kapasitesine sahip olduğu belirtilmektedir. Aynı zamanda rüzgâr enerjisinin çevre dostu olması tercih edilmesinin en önemli sebeplerindendir. Rüzgâr enerjisinin kullanımında bazı dezavantajlarda

bulunmaktadır. Özellikle gürültü sebebiyle şikâyet edilmektedir. Kuşların ölümüne sebep olması da diğer dezavantajları arasındadır [58].

Rüzgâr türbinleri için ülkemizde en uygun yer olarak Ege ve Marmara kıyıları gösterilmektedir. Bununla birlikte diğer bölgelerimizde enerji potansiyelleri de azımsanamayacak kadar çoktur [59].

Rüzgâr sistemi, rüzgârdaki mevcut gücü belirtilen ana parçalarla elektrik enerjisine dönüştürür: elektrik generatörü, mekanik şaft, kanatlar, rotor, dişli kutusu ve bir elektronik devre arayüzüdür [60]. Rüzgâr sisteminin çıkış gücü, rüzgâr hızının kapasitesine ve rüzgâr türbinlerinin yerden yüksekliğine bağlıdır. Rüzgâr hızı, rüzgâr sisteminin çalışması için mevcut olan kinetik enerji miktarı ile orantılıdır. Bir rüzgâr sistemi, iyi rüzgâr kaynaklarına sahip bir sahaya kurulursa, optimum maliyetle elektrik üretebilmektedir. Bu durum, güç sistemi planlayıcılarının rüzgâr sistemini daha iyi bulmak için fizibilite çalışmaları ve çevresel etki değerlendirmesi yapmaları gerektiği anlamına gelmektedir [61]. Rüzgâr sistemleri, geleneksel enerji santrallerine göre: sıfır sera gazı emisyonu, düşük etkin maliyet, düşük kurulum maliyeti, sistem bileşenlerinin uzun ömrü, sıfır yakıt maliyeti, düşük işletme ve bakım maliyetleri ve şebekeye olası reaktif güç aktarımı gibi birçok avantaja sahiptir. Bu faydalar rüzgâr enerjisinin şebekeye entegrasyonunu teşvik etmiştir [62].

Rüzgâr türbinleri çeşitli bakımlardan sınıflandırılmaktadırlar ve Şekil 2.7' de bu sınıflandırma görülmektedir. Bu sınıflandırmalarda dönme eksenleri, kanat sayıları ve konumları yer almaktadır [63].



Şekil 2.7. Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması [63]

Rüzgâr türbinleri hakkında bilinmesi gereken bir diğer özellik ise rüzgârın yönünü değiştirmesidir. Bu nedenle rüzgârın tamamından faydalanılamaz. Rüzgâr türbinine giren rüzgârın hızı ile rüzgârın çıkış arasında hız farkı bulunmaktadır. Türbinler rüzgârı kinetik enerjiye çevirdikleri için türbine giriş hızı çıkış hızından her zaman daha büyük olacaktır. Rüzgâr türbininin mekanik gücünün denklemi aşağıdaki gibidir [64].

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \vartheta^3 \cdot \pi \cdot r^2 \quad (2.1)$$

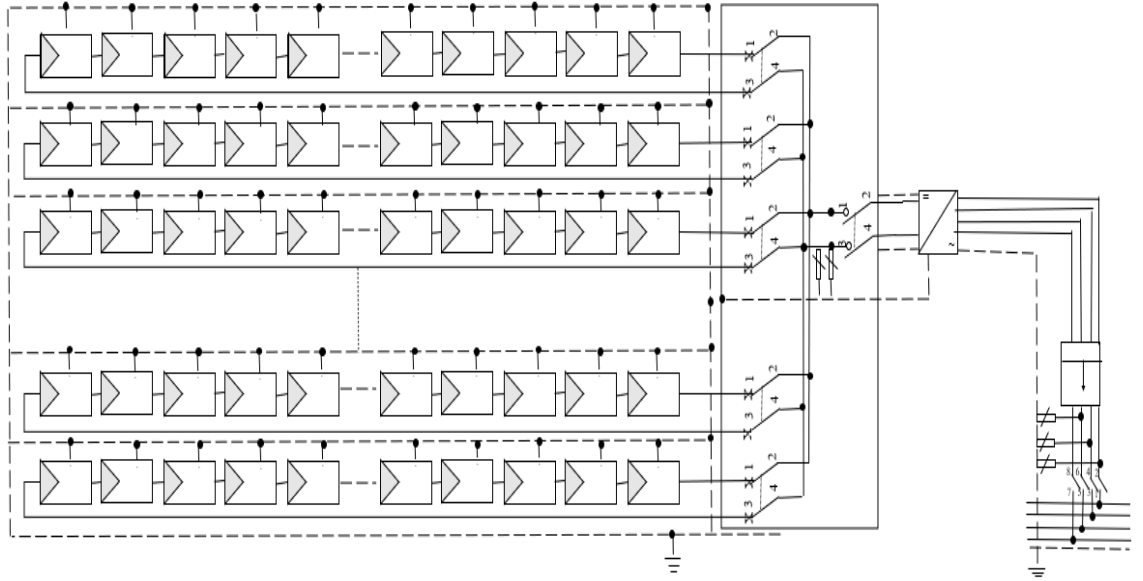
Denklem 2.1'e bakıldığında P, gücü temsil etmektedir(watt). ρ , havanın yoğunluğudur(kg/m^3). ϑ Rüzgâr hızını göstermekte iken(m/s), r kanat yarıçapını ifade etmektedir(m) [64].

Rüzgâr türbinlerinin seçimleri yapılırken gerekli hesaplamaların oldukça iyi yapılması gerekmektedir. Entegre edilecek olan rüzgâr türbinlerinin temel amacı verimliliği arttırmak ve şebeke için olumlu katkı sağlamaktır. Buna göre ihtiyaç duyulan rüzgâr türbinlerinin kanat sayıları ya da rüzgâr alma şekilleri özellikle analiz edilmelidir. Bununla birlikte maliyetlerde göz önüne alınarak seçim yapılması son derece önemlidir. Sonuç olarak rüzgâr hızına ve kullanım amacına göre seçilecek rüzgâr türbinleri ile birlikte son derece yüksek bir verim alınabilecektir [65].

2.3.2 Güneş enerji sistemi

Güneş enerjisi, çevre ve maliyet konusunda insanların yanında olan bir diğer enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en yüksek potansiyele sahip olan güneş enerjisini doğru şekilde kullanabilmek oldukça önemlidir. İlerleyen yıllarda güneş enerjisinden daha çok yararlanılabilmesi için maliyetlerin düşürülmesi konusunda başarılı olunursa, diğer enerji kaynaklarına ihtiyaç kalmadan güneş enerjisi tek başına dünyanın bütün enerji tüketimini karşılayabilecektir [66]. Güneş enerjisini kullanarak elektrik enerjisi üretiminde kullanılan güneş panellerinde yarı iletken malzemeler yer almaktadır [67].

Şekil 2.8’de bir güneş enerji sistemine ait tek hat şeması verilmiştir. Sistem içerisinde gerekli olan tüm donanımlar şekilde yer almaktadır. Bu donanımların belki de en önemlisi ve güneş enerji sisteminin merkezi olarak nitelendirilen eviriciler şebeke ile paralel olarak çalışmaktadır.



Şekil 2.8. Fotovoltaik sistemi tek hat şema görünümü [68]

Şebeke içerisinde gelen gerilim ve frekans düzeylerine göre kendi gerilim ve frekansını ayarlarlar ve böylelikle bağlandıkları elektrik hattına güneş enerji panellerinden gelen enerjiyi iletebilmektedirler. Güneş enerji sisteminde yer alan diğer donanımlardan biri ise devre kesicilerdir. Güneş enerjisi sisteminde üretilen enerji değişimi hızlı olabileceği için bu sistem içerisinde yer alan diğer donanımlarında hızlı değişime ayak uydurabilmesi

gerekmektedir. Bu nedenle güneş sistemlerinde yer alan devre kesici üniteler de hızlı tip devre kesicilerden seçilmelidir.

Ülkemizde güneş enerjisinin kaynağını bulma konusunda herhangi bir sıkıntı yaşanmamaktadır. Elektrik üretiminde kullanılan güneş enerjisi için kullanılan yöntemler farklılık gösterebilmektedir. Fotovoltaik sistemlerin kullanılması her türlü hava koşullarında elektrik üretiminin sağlanmasına yardımcı olmaktadır. Diğer taraftan yoğunlaştırıcı sistemlerin kullanılması sonucu elektrik üretilebilmesi için direkt olarak güneş ışınlarına ihtiyaç vardır. Türkiye'nin bölgelerine göre kurulacak sistemler bu şekilde farklılık göstermektedir. Güneş enerjisi ile enerji üretiminin avantajları ve dezavantajları bulunmaktadır. Bu enerji türünü kullanmanın avantajları [66]:

- Oldukça fazla ve tükenmez bir kaynağa sahiptir.
- Çevreye zararlı herhangi bir atık bulunmamaktadır.
- Ekonomik zorluklardan etkilenmeyecek bir enerji kaynağıdır.
- İşletme giderleri diğer enerji kaynaklarının işletme giderlerinden çok daha düşüktür.

Güneş enerjisinin avantajlarının yanında bazı dezavantajları da bulunmaktadır [66]:

- Güneş enerjisi için yapılan yatırım maliyetlerinin geri dönüş süresi, çok yüksek yatırım gerektirmesinden dolayı uzun olmaktadır.
- Uygun yer seçimi için detaylı fizibilite yapılması gerekmektedir.
- Enerji ihtiyacının daha fazla olduğu kış mevsiminde güneş enerjisinden istenilen miktarda verim alınmamaktadır.

Güneş enerjisi ile ilgili çalışmalar 1970'li yıllardan sonra başlamış ve hızlanmıştır. Güneş enerjisi son zamanlarda oldukça farklı alanlarda kullanılmaktadır. Birçok ev ve iş yerlerinin sıcaklıklarının ayarlanmasında, tarımsal alanlarda, sanayilerde, ulaşımda, iletişimde ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır [69].

BÖLÜM 3

SİSTEM MODELLEMESİ VE ANALİZLER

Tezin asıl amacı yukarıda da bahsedildiği gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtım şebekesine olan yararlarının gösterilmesi açısından rüzgâr türbinlerinin mevcut bir dağıtım şebekesine entegrasyonudur. Benzetim çalışmasında kullanılacak olan “Power World” programı özellikle şebeke tasarımları için geliştirilmiş olup, sistem için gerekli tüm hesaplamaları otomatik olarak yapabilmektedir. Bu nedenle seçilen Power World programı içerisinde temsili bir dağıtım şebekesi tasarlanmıştır. Bu tasarım yapılırken gelecek yıllardaki tahmini yük talepleri temel alınmıştır. Gelecekte ortaya çıkacak olan yük taleplerinin ve nüfus miktarlarının hesaplaması yapılmıştır.

3.1 Sistem Tasarımı

Tasarım gereği şebeke içerisinde 12 ilçe yer almaktadır. İstatistiksel veriler kullanılarak ilçe bazında ortalama bir enerji ihtiyacı hesabı yapıp toplam ihtiyaçlar ortaya çıkarılmıştır. Tüketici sayıları hesaplandıktan ve ilçelerdeki toplam yük miktarı ortaya çıkarıldıktan sonra Power World programı ile sistem çalıştırılıp aksaklıklar incelenmiştir. Buradan elde edilen sonuç, benzetim programında yük ile gösterilen ilçelerdeki nüfusun enerji ihtiyacını göstermektedir. Fabrikalar bu benzetim için gözlem dışı bırakılmış ve toplam tüketim verilerine dahil edilmemiştir. Tasarlanan radyal şebekenin dağıtım hatlarında “Cardinal” iletkeni kullanılmaktadır. “Cardinal” iletkeninin kesiti 547 mm^2 'dir. Cardinal iletkeninin direnç ve reaktans değerleri her dağıtım hattına tanımlanmıştır. Cardinal iletkeninin direnç ve reaktans değerleri sırası ile $0,0597\Omega/\text{km}$ ve $0,00567\Omega/\text{km}$ 'dir. Radyal şebekede 12 adet yük bulunmaktadır. Her ilçenin ihtiyaçları doğrultusunda bu yükler Power World programına tanıtılmıştır. Tasarlanan şebeke 12 barayla oluşturulmuş ve şebekenin tüm ihtiyacı ana generatörden karşılanmaya çalışılmıştır.

Tasarlanan şebekenin toplam kurulu gücü 501 MW 'tır. Şebeke içerisinde sadece İlçe 7 barasına bağlı olan termik santral bulunmaktadır. Bu çalışmanın amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının radyal şebekeye olan etkileri üzerinde durmaktadır. Bu nedenle İlçe 7'de bu büyüklükte bir santral olduğu varsayılmıştır. Tüm şebekenin enerji ihtiyacı

buradan karşılanmaktadır. Ardından rüzgâr türbinleri devreye alınarak şebekenin enerji ihtiyacı rüzgâr enerjisi ile desteklenmektedir. Şebekede rüzgâr türbinlerinin devreye alınmasından önce ve sonra kısa devre akım değerlerine bakıldığında Tablo 3.1'deki değerler elde edilmiştir.

İlk analizde sistemin tüm ihtiyacı tek generatörden karşılanmıştır. İkinci durumda ise gerekli görülen yerlere rüzgâr türbinleri eklenerek ana generatörün ürettiği enerjideki değişimler izlenmiştir. Bununla birlikte dağıtım hatlarındaki kayıplara, yük akış yönlerine ve yüklenme oranlarına dikkat edilmiştir.

Öngörü olarak, rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile sistemdeki enerji hatlarının yüklenmelerinin düzeleceğini beklenmiştir. Sonuç olarak alternatif enerji kaynaklarının sistemlere sağladıkları yararlar analiz edilecektir. Ayrıca güç sistemlerinde dağıtım hatlarında meydana gelen kayıpları elimine ettiği, dağıtım hatlarındaki yüklenmeye ve güç sistemlerinin kararlılıklarının sağlanmasında olumlu etkileri olduğu gösterilmeye çalışılmıştır.

Tablo 3.1. Türbinlerin devreye alınmasından önce ve sonra kısa devre akım değerleri

Bara	ÖNCE			SONRA		
	Faz-Faz(A)	Faz-Toprak(A)	3 Faz(A)	Faz-Faz(A)	Faz-Toprak(A)	3 Faz(A)
İlçe 1	8151	3747	9412	9536	8008	11011
İlçe 2	8185	3847	9451	9463	7977	10927
İlçe 3	7982	3917	9217	9225	7978	10653
İlçe 4	7933	3971	9160	9105	7922	10513
İlçe 5	7493	3820	8652	8831	7903	10197
İlçe 6	7389	3681	8532	8563	7374	9888
İlçe 7	2008	947	2319	2298	1969	2653
İlçe 8	6671	3635	7703	7762	6960	8963
İlçe 9	7846	3946	9059	9007	7851	10400
İlçe 10	7266	3734	8390	8387	7323	9684
İlçe 11	6836	3648	7894	7900	6969	9122
İlçe 12	7887	3923	9107	9138	7993	10552

3.2 Yük Hesabı

Dağıtım şebekesi tasarımlarında ihtiyaç duyulan yüklerin hesabı için bir takım matematiksel işlemler bulunmaktadır. Öncelikle bu tezde yük türlerinden “Toplu Yükleri” göz ardı edilmiştir. Simülasyon çalışması için “Yayılı Yükler” yani evler, apartmanlar, daireler temel alınmıştır.

Dağıtım şebekelerinin tasarımında gelecekteki nüfus artışı da göz önüne alınmalıdır ve bu nedenle tasarım yapılırken ileriki 20 yılın ihtiyacını karşılayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Buna göre nüfus hesabı yaparken [70];

$$S = S_0 \cdot e^{mx} \quad (3.1)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Bu bağıntıda;

- S = Hesaplanan yıla göre nüfus
- S_0 = Geçmiş yıla ait nüfus
- e = logaritma tabanı
- x = iki sayım arasında bulunan yıl
- m = iki sayım arasında meydana gelen nüfus artış oranı

$$m = \frac{1}{x} \cdot \ln\left(\frac{S}{S_0}\right) \quad (3.2)$$

“ m ” parametresinin nasıl bulunacağı (3.2)’de yer alan formülde gösterilmektedir. Bu hesaplamalar sonrasında ortaya çıkacak yükler ile Power World programına girişleri yapılmıştır. Diğer taraftan EMO Ankara şubesinin yaptığı hesaplamalara göre günlük kişi başına gerekli güç ihtiyacı Tablo 3.2.’de verilmiştir.

Tablo 3.2. Güç ihtiyacı çizelgesi [70]

Doğal Nüfus Artışına Göre Güç İhtiyacı	
Yıl	Günlük Kişi Başına Güç(W/kişi)
2010	129
2015	173
2020	231
2025	310
2030	415

3.3 Tüm İlçeler için Nüfus Hesaplaması

İlçeler ve benzetim yapılacak model için gerekli yk hesabından önce ilçelerde 2025 yılında ne kadarlık bir nüfus bulunacağının cevabı aranmıştır. Çalışma içerisinde yer alacak ilçeler;

- İlçe 1
- İlçe 2
- İlçe 3
- İlçe 4
- İlçe 5
- İlçe 6
- İlçe 7
- İlçe 8
- İlçe 9
- İlçe 10
- İlçe 11
- İlçe 12

olarak belirlenmiştir. Bu ilçeler için 2025 yılı nüfus tahminleri yapılmıştır. Bu tahminler sonucunda elde edilen nüfusun ne kadar yük talebi olacağı hesaplanmıştır. İlk olarak Tablo 3.3.'te geçmiş yılların nüfus varsayımları ve 2025 yılı nüfus tahmini yer almaktadır.

Yapılan hesaplama sonucunda ilçelerin yk ihtiyaçları da bireysel yk talebinden yola çıkılarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.3. 2025 Yılı nüfus tahminleri

Yıl/İlçe	İlçe 1	İlçe 2	İlçe 3	İlçe 4	İlçe 5	İlçe 6	İlçe 7	İlçe 8	İlçe 9	İlçe 10	İlçe 11	İlçe 12
2007	425092	365614	75675	65695	37834	35106	30898	28697	20489	17658	17491	11905
2008	434980	365153	81399	65452	38198	34819	31099	28652	21433	17471	18844	12723
2009	452990	366676	87825	65544	38223	33704	30340	27944	22349	17002	18138	12598
2010	476855	367048	99850	64836	38267	32227	28983	27130	22657	16950	16436	12529
2011	492013	369272	107561	64908	37882	30971	27743	26539	23771	16756	15892	12480
2012	509309	372507	113372	64381	36914	29955	27045	25496	24127	16324	15324	12381
2013	520319	377051	119810	63994	36776	29120	26559	24996	24315	16218	14977	12376
2014	537035	384203	128414	64550	36578	27944	25293	24131	24405	15864	14521	12290
2015	548028	388364	137933	64072	36378	26812	24198	23347	24309	15779	14106	12484
2016	554549	393300	144803	64422	36077	25950	23658	22818	25614	15854	13936	12482
2018	555671	391661	157695	65322	36331	31497	26911	22808	26353	17525	16938	12426
2025	669800	411591	255894	64747	35228	27280	23353	19424	31119	16832	15468	12824

3.4 Nüfus Bilgileriyle İhtiyaç Duyulan Yüklerin Belirlenmesi

Yukarıdaki Tablo 3.3.'te yer alan nüfus bilgileri ile kişi başına ihtiyaç duyulan günlük güç miktarları esas alınarak yıllara göre ilçelerin MW cinsinden yük ihtiyaçları hesaplanmıştır. Tablo 3.4'te bu hesaplamalara örnek olarak İlçe 5'in güç hesabı verilmektedir. Çalışma için sadece 2025 yılı güç ihtiyacı yeterli olacaktır fakat hesaplamalar 2040 yılına kadar yapılmıştır.

Excel içerisine yerleştirilen formüller sonucunda İlçe 5 için 2040 yılına kadar MW ihtiyacı hesaplanmıştır. Tez için gerekli 12 ilçe için aynı hesaplamalar yapılmıştır. Bunun sonucunda 2025 yılı için ihtiyaç duyulan toplam MW ilçeler bazında belirlenmiş olmaktadır.

Tablo 3.4. İlçe 5'in yük hesaplama örneği

İstenen Yıl	Nüfus	İhtiyaç Duyulan W/kişi	İhtiyaç Duyulan Toplam MW
2018	36331	223,24	8,11
2020	36012	251,6	9,06
2025	35228	322,5	11,36
2030	34461	393,4	13,56
2035	33710	464,3	15,65
2040	32976	535,2	17,65

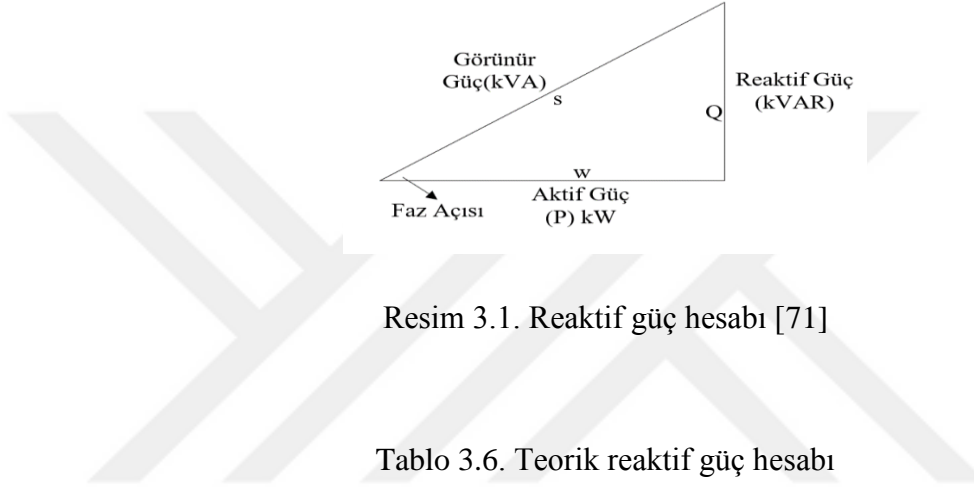
Tablo 3.5.'te 2025 yılı için ilçelerin nüfus değerlerine göre aktif güç değerleri yer almaktadır. Tablo 3.5'e göre en çok enerji ihtiyacı olan ilçe 201 MW ile İlçe 1'dir. Ardından İlçe 2, ikinci büyük ilçe olma özelliği ile 133 MW enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Bu ihtiyaçlar belirlendikten sonra teorik reaktif güç belirleme yoluna gidilmiştir. Reaktif güçlerin belirlenmesinin ardından verilerin Power World programına girişi yapılmıştır.

Tablo 3.5. İlçeler bazında güç ihtiyaçları

İlçe	2025 yılı Nüfus	Aktif Güç (MW)
İlçe 1	669800	201
İlçe 2	411591	133
İlçe 3	255894	83
İlçe 4	64747	21
İlçe 5	35228	12
İlçe 6	27280	9
İlçe 7	23353	8
İlçe 8	19424	7
İlçe 9	31119	11
İlçe 10	16832	6
İlçe 11	15468	5
İlçe 12	12824	5

3.5 Reaktif Güç Hesabı

PW programına verilerin girilmesi için ihtiyaç duyulan verilerin arasında reaktif güçte yer almaktadır. Bu nedenle reaktif güç için teorik hesaplama yoluna gidilmiştir. Bu hesaplar sonucunda Tablo 3.6.'da yer alan reaktif güç değerleri ortaya çıkmıştır. Bu tabloda yer alan reaktif güç değerleri ise yine aşağıda yer alan Resim 3.1.'deki bağıntılar ile bulunmuştur. Tablo 3.7'de ise ilçeler arası dağıtım hattı uzunlukları verilmiştir.



Resim 3.1. Reaktif güç hesabı [71]

Tablo 3.6. Teorik reaktif güç hesabı

Yıl/İlçe	Aktif Güç(MW)	Reaktif Güç(Mvar)
İlçe 1	201	59
İlçe 2	132,74	50
İlçe 3	82,53	40
İlçe 4	20,88	10
İlçe 5	11,36	6
İlçe 6	8,8	4
İlçe 7	7,53	4
İlçe 8	6,26	3
İlçe 9	10,04	5
İlçe 10	5,43	3
İlçe 11	4,99	2
İlçe 12	4,14	2

Tablo 3.7. İletim hatlarının uzunlukları

Nereden(No)	Nereden(İsim)	Nereye(No)	Nereye(İsim)	Uzaklık(km)
6	İlçe 6	2	İlçe 2	35,5
4	İlçe 4	3	İlçe 3	27,4
12	İlçe 12	2	İlçe 2	30,6
12	İlçe 12	5	İlçe 5	27,4
9	İlçe 9	4	İlçe 4	40,3
2	İlçe 2	11	İlçe 11	32,3
1	İlçe 1	6	İlçe 6	48,4
7	İlçe 7	1	İlçe 1	79,0
7	İlçe 7	2	İlçe 2	72,6
7	İlçe 7	3	İlçe 3	77,4
7	İlçe 7	4	İlçe 4	56,5
7	İlçe 7	9	İlçe 9	61,3
7	İlçe 7	12	İlçe 12	53,2
3	İlçe 3	5	İlçe 5	35,5
8	İlçe 8	11	İlçe 11	46,8
5	İlçe 5	8	İlçe 8	37,1
10	İlçe 10	1	İlçe 1	58,1
10	İlçe 10	9	İlçe 9	45,2

3.6 Power World Programı

Power World programı yüksek gerilimli sistemlerin çalışmasını simülasyon haline getiren ve son güncellemeleri ile 250000 bara kullanımına izin veren görsel bir sistemdir. Sistem çalışırken bile yüklere anında müdahale edilebilir ve değişimler anlık olarak görülebilir. İçinde barındırmış olduğu görseller ve grafikler sayesinde çözüm noktası bulunması hakkında kullanıcılara yardımcı olmaktadır. Daha birçok özelliği bulunan bu programa elde edilen bilgilerin girilmesi ile ilgili görseller ilerleyen bölümlerde verilmiştir

3.6.1 Bara veri girişi

Tasarlanan sistemde 12 adet bara bulunmaktadır. Bu baralardan bir tanesi tasarım içerisindeki konumu gereği (İlçe 7) “denge barası” olarak alınmıştır. “Denge barası” olarak isimlendirilen baranın sistem içindeki görevi; şebekede bulunan aktif ve reaktif güçlerin dengelenmesini sağlamaktır. Diğer baraların da sisteme dâhil edilme durumu

aynı şekilde yapılmaktadır. Aşağıdaki Resim 3.2.'de İlçe 7'ye ait bara için verilerin girişi görülmektedir.

Bus Options

Bus Number: 7 Find By Number Find ...

Bus Name: İlçe 7 Find By Name

Nominal Voltage: 154,0000 kV

Labels ...: no labels

	Number	Name
Area	1	1
Balancing Authority	1	1
Zone	1	1
Owner	1	1
Substation		

Bus Information: Display Attached Devices Geography Custom

Bus Voltage: Voltage (p.u.): 1,0000 Angle (degrees): 0,000 Bus Voltage Regulator Devices

System Slack Bus

Resim 3.2. İlçe 7 denge barası bilgileri

Resim 3.2.'de İlçe 7 için 154 kV bara bilgileri görülmektedir. Programın içerisine girildikten sonra “Draw” sekmesine basıp “Network” alanına girildiğinde baralar ile birlikte sistem için gerekli diğer elemanlarında görülmesi mümkündür. Bu tasarımda referans bara İlçe 7 olmuştur. Referans olan bara için her zaman gerilim değeri 1(p.u), gerilim açısı ise 0 derece olacak şekilde alınmaktadır [72]. PW bara çizimi ve diğer tüm elemanların çizimi sırasında display seçeneği ile elemanın yönünü ve büyüklüğünü kullanıcıya ayarlama fırsatı da vermektedir.

3.6.2 Yüklerin veri girişi

Yapılan tasarımda 12 adet yük bulunmaktadır. Bu yüklerin girişi için program içerisinden yük seçeneğini seçip girişler yapılmıştır. Aktif ve reaktif güç değerlerinin programa girişi Resim 3.3.'te verilmiştir. 21 MW'lık bir güç ihtiyacı bulunan İlçe 4'e teorik olarak hesaplanmış 10 Mvar'lık bir reaktif güç girişi de yapılmıştır. Diğer tüm ilçeler içinde aynı işlemler tekrar edilmiştir. Resim 3.3.'te yer alan giriş kutucuğu içerisinde yükün görünüm özellikleri de ayarlanabilmektedir.

Resim 3.3. Yüklerin veri girişi

3.6.3 Dağıtım hatlarının veri girişi

Üçüncü bölümün başlarında da ifade edildiği gibi dağıtım hatlarında “Cardinal” iletkeni kullanımına karar verildiği belirtilmiştir. Bu iletkenin uzunluk değeri, 1km için direnç ve reaktans değerlerinin sisteme tanıtılması Resim 3.4.’te gösterilmiştir. Cardinal iletkeni için “R” ve “X” değerleri girişleri tüm baralar arası hatlar için aynı şekilde yapılmıştır.

Resim 3.4.’te İlçe 7 ve İlçe 1 arasındaki enerji hattının veri girişi örneği verilmiştir. İletim hatları için veri girişleri tamamlandıktan sonra sisteme ait genel bilgiler ve tasarımın genel görünümü aşağıdaki gibi olmuştur.

Branch Options

Line: From Bus: 7, To Bus: 1, Circuit: 1

Name: İlçe 7, İlçe 1

Area Name: 1 (1), 1 (1)

Nominal kV: 154,0, 34,50

Labels ...: no labels

Find By Numbers, Find By Names, Find ...

From End Metered

Default Owner (Same as From Bus)

Display Parameters Fault Info Owner, Area, Zone, Sub Custom Stability

Status: Open, Closed

Branch Device Type: Line

Allow Consolidation

Length: 79,00

Calculate Impedances >

Normal Status: Open, Closed

Per Unit Impedance Parameters:

Series Resistance (R): 0,059700

Series Reactance (X): 0,005760

Shunt Charging (B): 0,000000

Shunt Conductance (G): 0,000000

Has Line Shunts

Line Shunts

MVA Limits:

Limit A	280,000
Limit B	0,000
Limit C	0,000
Limit D	0,000
Limit E	0,000
Limit F	0,000
Limit G	0,000
Limit H	0,000
Limit I	0,000
Limit J	0,000
Limit K	0,000

Convert Line to Transformer

D-FACTS Devices on the Line Has D-FACTS

Resim 3.4. Enerji hatlarının veri girişi

İlçe 7'ye ait barada bir adet generatör bağlı bulunmaktadır. Bu generatörün aktif gücüne yönelik herhangi bir değer girilebilir. Sistemin çalışması sırasında gerekli olan enerji ihtiyacı buradan karşılanacaktır. Diğer baralar için ilk etapta herhangi bir enerji kaynağı kullanılmamıştır. Sistem çalıştırılmadan önce baraların görünümü Resim 3.5.'teki gibi olmaktadır. Resim 3.5'te ilçelere ait yüklerin dağılımını ve gerilim değerlerini görmek mümkündür. Örnek verilecek olursa; İlçe 1'de aktif güç değeri 201 MW iken reaktif güç değeri 59 Mvar ve gerilim değeri 34,5 kV olarak görülmektedir. Diğer taraftan İlçe 2'de aktif güç değeri 133 MW ve reaktif güç değeri 50 Mvar ve gerilim değeri 34,5 kV'tur. Resim 3.5'te diğer ilçelerinde aktif ve reaktif güç değerleri bu şekilde verilmektedir.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)	Load MW	Load Mvar
1	1	İlçe 1	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	201,00	59,00
2	2	İlçe 2	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	133,00	50,00
3	3	İlçe 3	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	83,00	40,00
4	4	İlçe 4	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	21,00	10,00
5	5	İlçe 5	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	12,00	6,00
6	6	İlçe 6	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	9,00	4,00
7	7	İlçe 7	1	154,00	1,00000	154,000	0,00	8,00	4,00
8	8	İlçe 8	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	7,00	3,00
9	9	İlçe 9	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	11,00	5,00
10	10	İlçe 10	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	6,00	3,00
11	11	İlçe 11	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	5,00	2,00
12	12	İlçe 12	1	34,50	1,00000	34,500	0,00	5,00	2,00

Resim 3.5. Baraların genel görünümü

Tasarlanan sistem henüz çalışmadığı için açılarda değerler sıfır olarak görülmektedir. Sistem çalışmaya başladıktan sonra oluşan değerler, analiz sonuçları kısmında verilecektir. Sistem rüzgâr türbinleri aktif olmadan önce çalıştırılıp sonuçlar kaydedilecektir. Ardından rüzgâr türbinleri devreye alınarak sistem içerisindeki iyileşmeler gösterilecektir. Bu iyileşmeler genel olarak sistem içerisinde var olan kayıplar üzerinde durularak belirtilecektir. Bununla beraber akım yönündeki değişimler de analiz edilecektir.

Verilen bu bilgiler ışığında tasarlanan sistem, rüzgâr türbinleri olmadan çalıştırılacaktır. Tasarlanan sistemin çalıştırılmadan önceki yük değerleri ve ilçeler arası dağıtım yolları Resim 3.6.'da verilmiştir. Bu sistem çalıştırılıp sonuçlar alındıktan sonra 5 farklı senaryo ile rüzgâr türbinleri belirlenen noktalara yerleştirilip devreye alınacaktır.

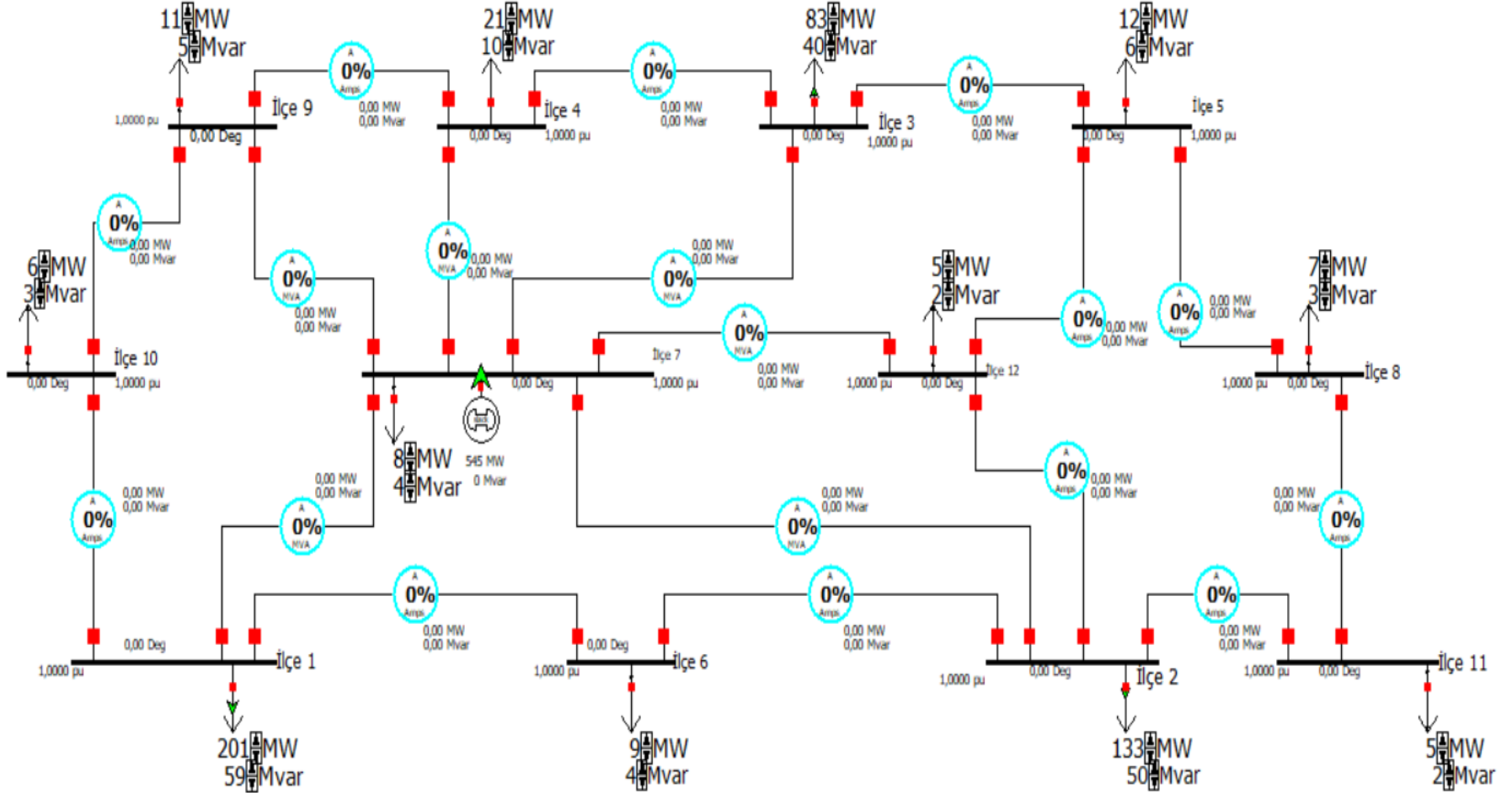
3.7 Senaryolar

Sisteme 50'şer MW gücünde ve iki farklı noktadan rüzgâr türbinleri entegre edilecektir. Bu nedenle en iyi katkıyı hangi iki noktanın sağlayacağı gözlemlenecektir. Rüzgâr enerji santrallerinin kurulumu için dikkat edilen ilk husus şebeke içindeki yüklerin, ana generatöre olan uzaklıklarıdır. Sadece İlçe 7'de bulunan ana generatör, tüm şebekenin güç talebini karşılamaya çalışmaktadır. İletim hatlarında yaşanan kayıpların sebeplerinden biri olan uzaklık etkeni göz önüne alındığında, ana generatöre en uzak konumda bulunan noktalara rüzgâr enerji santrallerinin kurulması ve şebekeye entegre edilmesi uygun görülmüştür. En uzak noktaların da kendi aralarında ikili seçimi yapılırken yine birbirlerine olan mesafeleri dikkate alınmış ve sonuç olarak şebekeye entegre edilecek olan rüzgâr türbinlerinin yerleştirilecekleri 5 farklı ikili noktalar:

- İlçe 9 – İlçe 11
- İlçe 4 – İlçe 2
- İlçe 3 – İlçe 6
- İlçe 5 – İlçe 1
- İlçe 10 – İlçe 12 olarak belirlenmiştir.

Bu noktalar içerisinde sisteme en çok katkı sağladığı düşünülen nokta, rüzgâr türbinlerinin sisteme dâhil edileceği nokta olarak belirlenecektir.





Resim 3.6. Tasarlanan sistemin çalışmadan önceki görünümü

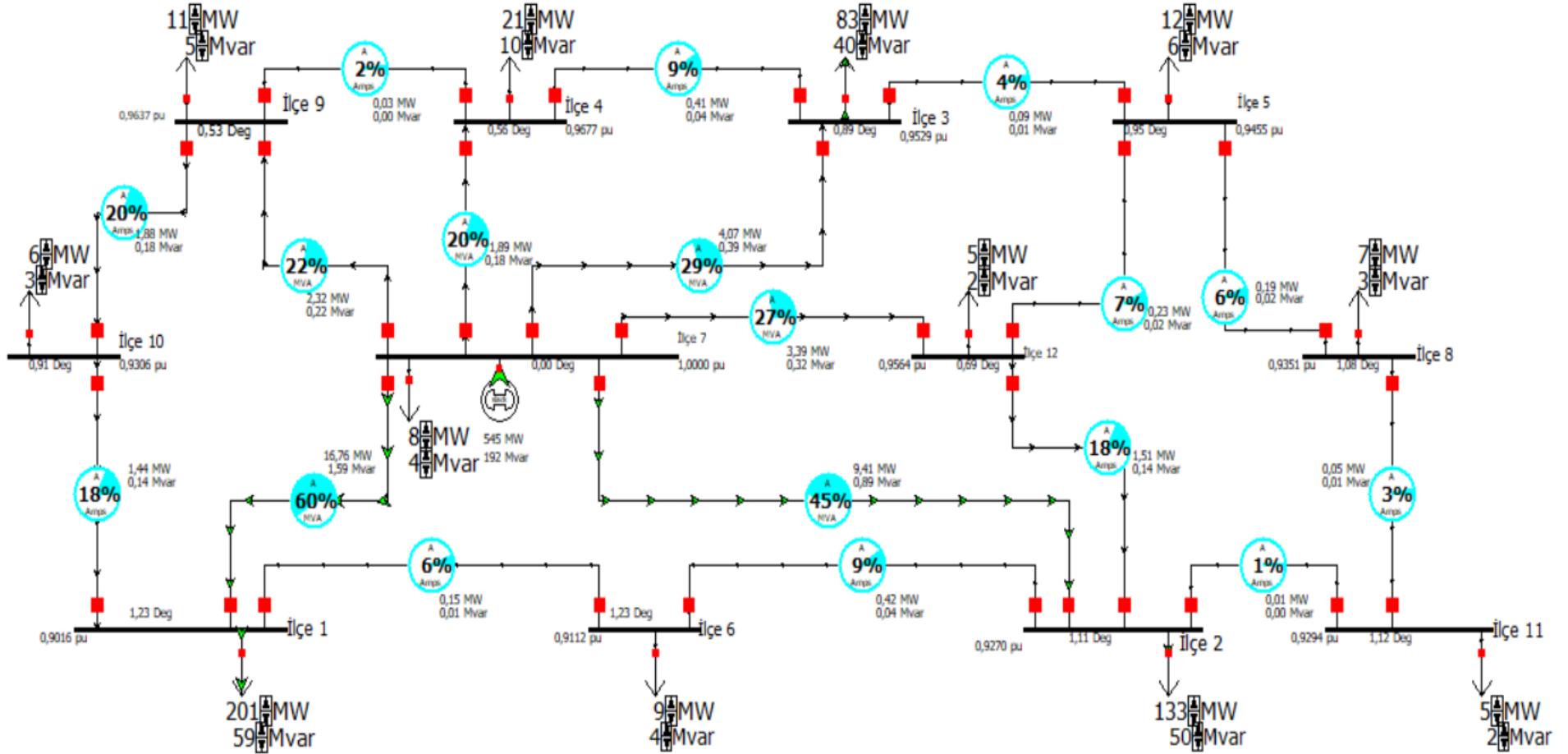
3.8 Sistemin Çalıştırılması

Tasarlanan sistem çalıştırılmıştır ve ilk olarak enerji hatlarında meydana gelen MW ve Mvar kayıpları incelenmiştir. Sistemin DÜ kaynakları entegre edilmeden önce çalışma görünümü Resim 3.7’de ve sistem içerisinde yer alan kayıplar da Tablo 3.8.’de gösterilmektedir.

Tablo 3.8. İlk defa çalıştırılan sistem içindeki MW ve Mvar kayıpları

Nereden(No)	Nereden(İsim)	Nereye(No)	Nereye(İsim)	MW Kayıp	Mvar Kayıp
6	İlçe 6	2	İlçe 2	0,42	0,04
4	İlçe 4	3	İlçe 3	0,41	0,04
12	İlçe 12	2	İlçe 2	1,51	0,14
12	İlçe 12	5	İlçe 5	0,23	0,02
9	İlçe 9	4	İlçe 4	0,03	0
2	İlçe 2	11	İlçe 11	0,01	0
1	İlçe 1	6	İlçe 6	0,15	0,01
7	İlçe 7	1	İlçe 1	16,76	1,59
7	İlçe 7	2	İlçe 2	9,41	0,89
7	İlçe 7	3	İlçe 3	4,07	0,39
7	İlçe 7	4	İlçe 4	1,89	0,18
7	İlçe 7	9	İlçe 9	2,32	0,22
7	İlçe 7	12	İlçe 12	3,39	0,32
3	İlçe 3	5	İlçe 5	0,09	0,01
8	İlçe 8	11	İlçe 11	0,05	0,01
5	İlçe 5	8	İlçe 8	0,19	0,02
10	İlçe 10	1	İlçe 1	1,44	0,14
10	İlçe 10	9	İlçe 9	1,88	0,18
			Toplam	44,25	4,2

Ayrıca Resim 3.7.’de enerji hatlarındaki yönler açıkça görülmektedir. Sistemin tüm yükünü İlçe 7’de bulunan generatör karşılamaktadır. İlk olarak generatör 545MW’lık bir enerji vermektedir. Bununla birlikte ihtiyaç duyulan 192 Mvar da bu generatörden karşılanmaktadır.



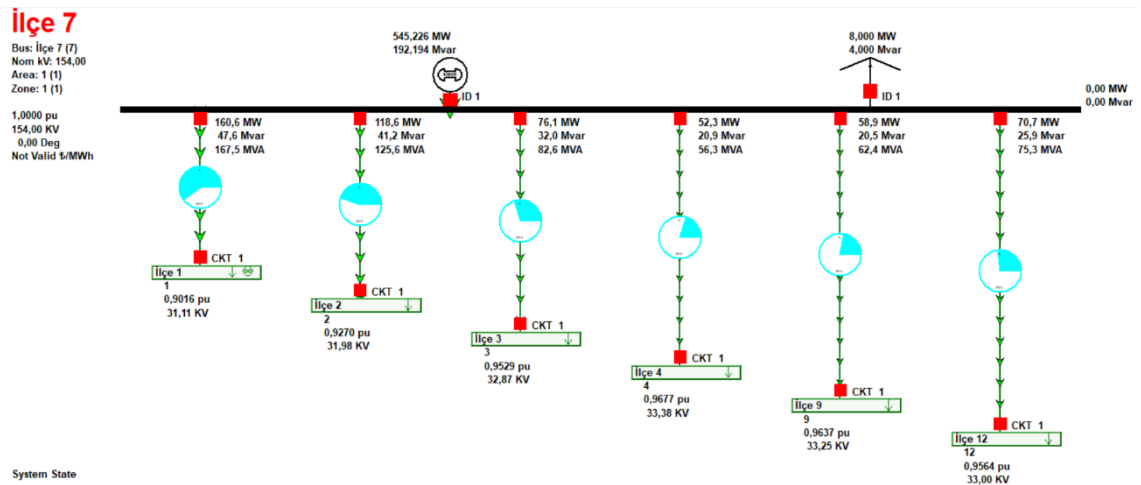
Resim 3.7. Tasarlanan sistemin ilk defa çalıştırıldıktan sonraki görünümü

Tablo 3.8.'de yer alan sistem kayıp bilgilerine göre 44,25 MW'lık bir kayıp olduğu görülmektedir. Enerjinin çok kıymetli ve masraflı olduğu bir ülkede bu kayıp ciddi anlamda hem sistemi hem de ülkemizi zarara uğratmaktadır. En çok kayıp İlçe 7- İlçe 1, İlçe 7 – İlçe 2 ve İlçe 7 – İlçe 3 ilçeleri arasında gerçekleşmektedir. Bu nedenle çalışmanın geriye kalan kısımlarında rüzgâr türbinlerine şebekeye entegrasyonu sağlanıp sistemin geliştirilmesine çalışılacaktır.

Sistemin çalıştırılmasının ardından baralardaki gerilimler ve açılar otomatik olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlar Resim 3.8.'de görülmektedir. Aynı zamanda Denge barası olan İlçe 7'nin rüzgar türbinleri entegre edilmeden önceki sistemin çalışması durumunda bu baraya bağlı olan ana jeneratörün ürettiği aktif ve reaktif güç, denge barasına bağlı olan baraların aktif güç, reaktif güç ve akım taşıma kapasiteleri Resim 3.9.'da belirtilmiştir.

	Number	Name	Area Name	Nom kV	PU Volt	Volt (kV)	Angle (Deg)
1	1	İlçe 1	1	34,50	0,90161	31,106	1,23
2	2	İlçe 2	1	34,50	0,92703	31,982	1,11
3	3	İlçe 3	1	34,50	0,95287	32,874	0,89
4	4	İlçe 4	1	34,50	0,96766	33,384	0,56
5	5	İlçe 5	1	34,50	0,94547	32,619	0,95
6	6	İlçe 6	1	34,50	0,91125	31,438	1,23
7	7	İlçe 7	1	154,00	1,00000	154,000	0,00
8	8	İlçe 8	1	34,50	0,93511	32,261	1,08
9	9	İlçe 9	1	34,50	0,96370	33,248	0,53
10	10	İlçe 10	1	34,50	0,93062	32,107	0,91
11	11	İlçe 11	1	34,50	0,92940	32,064	1,12
12	12	İlçe 12	1	34,50	0,95639	32,995	0,69

Resim 3.8. Sistemin ilk defa çalışmasının ardından baraların durumu



Resim 3.9. Sistemin ilk defa çalışmasının ardından denge barası durumu

İlçe 7'ye bağlı 6 ayrı dağıtım hattının olduğu Resim 3.9'da görülmektedir. Bu dağıtım hatlarının kullanım oranları da talep edilen yük miktarına göre değişmektedir. Hem kayıpları azaltmak adına hem de dağıtım hatlarının kullanım oranını düşürmek ekonomik olarak büyük önem taşımaktadır.

3.9 Rüzgâr Türbinlerinin Devreye Alınması

3.9.1 İlçe 9-İlçe 11 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması

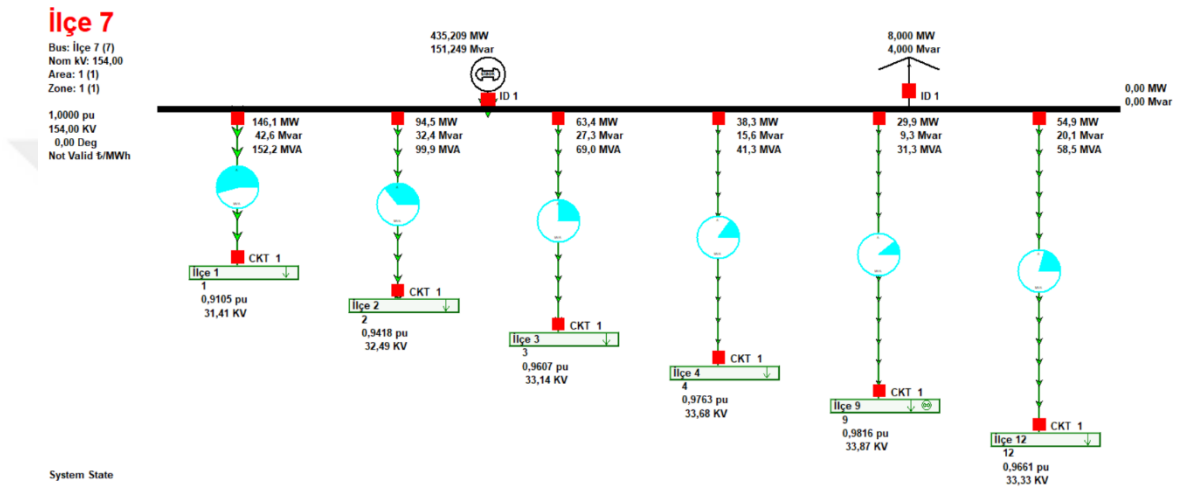
Tasarlanan sisteme ilk olarak İlçe 9- İlçe 11 üzerinden rüzgâr türbinleri eklenecektir. Eklenecek olan rüzgâr türbinleri her iki nokta içinde 50 MW gücünde olacaktır. Toplamda 100 MW güç kaynağı entegre edilecektir. Resim 3.10.'da entegre edilecek generatörün tipi ve gücü ile hangi baraya entegrasyonu yapılacak ise o baranın bilgileri verilmiştir. Yer alan işlemin aynısı İlçe 11 içinde yapılmıştır. Ardından sistem çalıştırılmıştır.

Resim 3.10. İlçe 9 üzerine rüzgâr türbini eklenmesi

Rüzgâr türbinlerinin eklenmesinden sonra sistemdeki kayıplar, generatörün ürettiği aktif ve reaktif güç Resim 3.11.'de gösterilmektedir. Rüzgâr türbinlerinin hatlarda yaşanan kayıplara etkisi açıkça görülmektedir.

Case Totals (for in-service devices only)		
	MW	Mvar
Load	501,0	188,0
Generation	535,2	191,2
Shunts	0,0	0,0
Losses	34,2	3,2

Resim 3.11. İlçe 9- İlçe 11 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar



Resim 3.12. İlçe 9-İlçe 11 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra denge barası

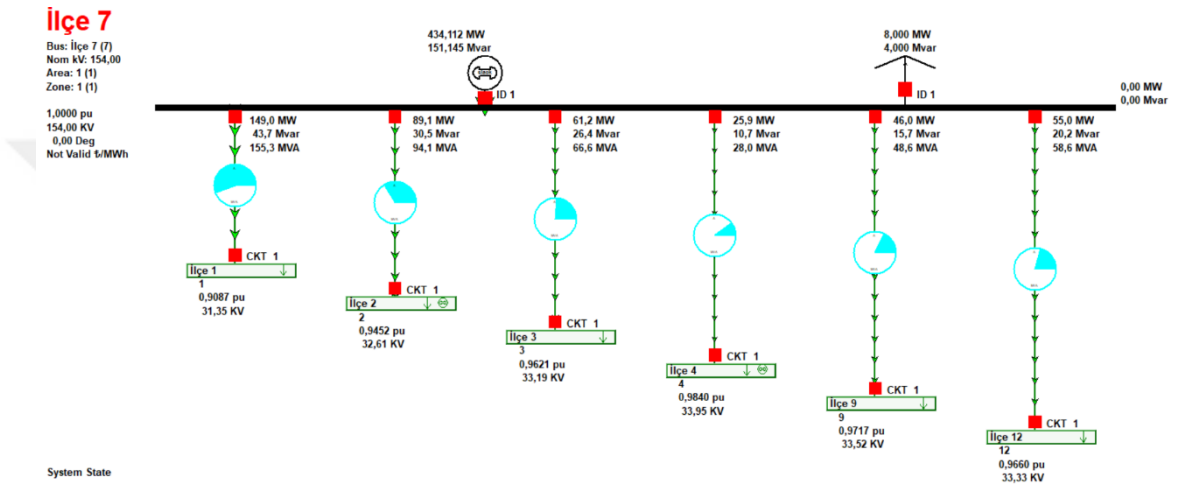
Resim 3.12’te görüldüğü gibi ilk durumda sistemin ihtiyacının tamamını İlçe 7 karşılar. Rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra İlçe 7’den talep edilen güç azalmış ve ürettiği enerji 435 MW’a düşmüştür. Denge barası için yük akış yönünde herhangi bir değişim olmamıştır. Sistem genelindeki yük akış yönlerinde ise değişimler meydana gelmiştir. Diğer senaryolara göre rüzgâr türbinleri de eklendikten sonra dördüncü bölümde tüm karşılaştırmalar yapılacaktır.

3.9.2 İlçe 4-İlçe 2 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması

İlçe 9- İlçe 11 üzerine rüzgâr türbinleri eklenirken yapılan işlemlerin aynısı İlçe 4- İlçe 2 için de yapılmıştır. Ardından yaşanan enerji kayıpları ve Denge barası durumu aşağıda verilmiştir.

Case Totals (for in-service devices only)		
	MW	Mvar
Load	501,0	188,0
Generation	534,1	191,1
Shunts	0,0	0,0
Losses	33,1	3,1

Resim 3.13. İlçe 4- İlçe 2 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar



Resim 3.14. İlçe 4- İlçe 2 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra denge barası

Rüzgâr türbinlerinin eklenmesinden sonra sistemdeki kayıplar, generatörün ürettiği aktif ve reaktif güç Resim 3.13. ve rüzgar türbinleri devreye alındıktan sonra denge barası ve denge barasına bağlı baraların durumu Resim 3.14.'te verilmiştir. Denge barası konumunda olan İlçe 7 için üretilen enerji 434 MW'a gerilemiştir. Sistemin tamamında yaşanan kayıplar ise 33,1 MW'a kadar düşmüştür. Sistemde yer alan dağıtım hatlarının akım yönlerinde ise önemli bir değişim olmamıştır.

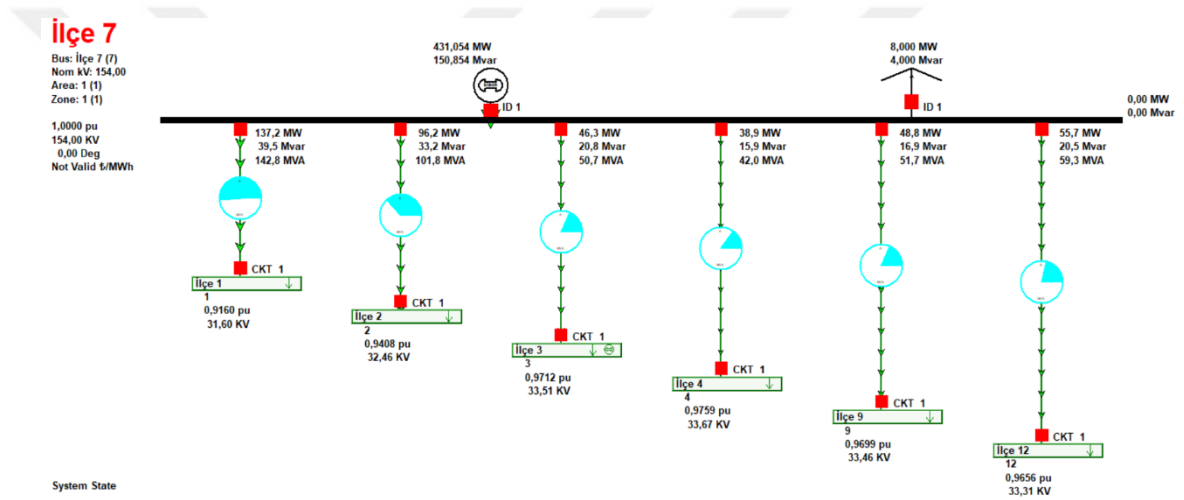
3.9.3 İlçe 3-İlçe 6 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması

Senaryolardan üçüncüsü olan İlçe 3-İlçe 6 üzerine yerleştirilen rüzgâr türbinlerinin sisteme olan etkileri incelenmiştir. Sistem çalıştırıldıktan sonra göze çarpan ilk sonuç ana generatörün ürettiği gücün biraz daha düşmüş olmasıdır. 431 MW'lık bir enerji üretmesi denge barası için yeterli olmaktadır. Bununla beraber dağıtım hatlarında yaşanan kayıplar 30,1 MW olarak hesaplanmıştır. Yaşanan toplam 30,1 MW 2,9 Mvar enerji kayıpları Sonuçlar aşağıdaki Resim 3.15'te ve denge barasına bağlı baraların aktif güçleri, reaktif

güçleri, akım taşıma kapasiteleri ve ana jeneratörün ürettiği aktif ve reaktif güç değerleri 3.16’da verilmektedir.

Case Totals (for in-service devices only)		
	MW	Mvar
Load	501,0	188,0
Generation	531,1	190,9
Shunts	0,0	0,0
Losses	30,1	2,9

Resim 3.15. İlçe 3- İlçe 6 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar



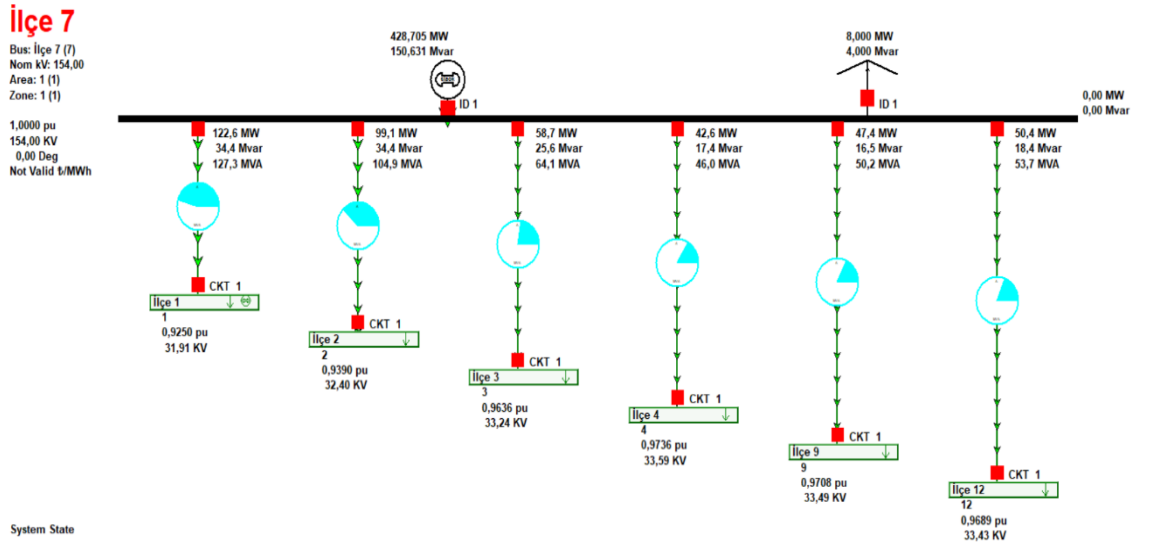
Resim 3.16. İlçe 3- İlçe 6 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra Denge bara

3.9.4 İlçe 5-İlçe 1 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması

Dördüncü senaryoda İlçe 5 – İlçe 1 üzerine rüzgâr türbinlerinin eklenmesi bulunmaktadır. Bu senaryonun uygulanması ile ana generatörden talep edilen güç 428,7 MW olarak belirlenmiştir. Ayrıca sistemin dağıtım hatlarında yaşanan kayıp 27,7 MW’tır. Hesaplanan kayıplar Resim 3.17’de ve denge barasına bağlı baraların aktif güçleri, reaktif güçleri ve akım taşıma kapasiteleri Resim 3.18’de verilmiştir.

Case Totals (for in-service devices only)		
	MW	Mvar
Load	501,0	188,0
Generation	528,7	190,6
Shunts	0,0	0,0
Losses	27,7	2,6

Resim 3.17. İlçe 5- İlçe 1 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar



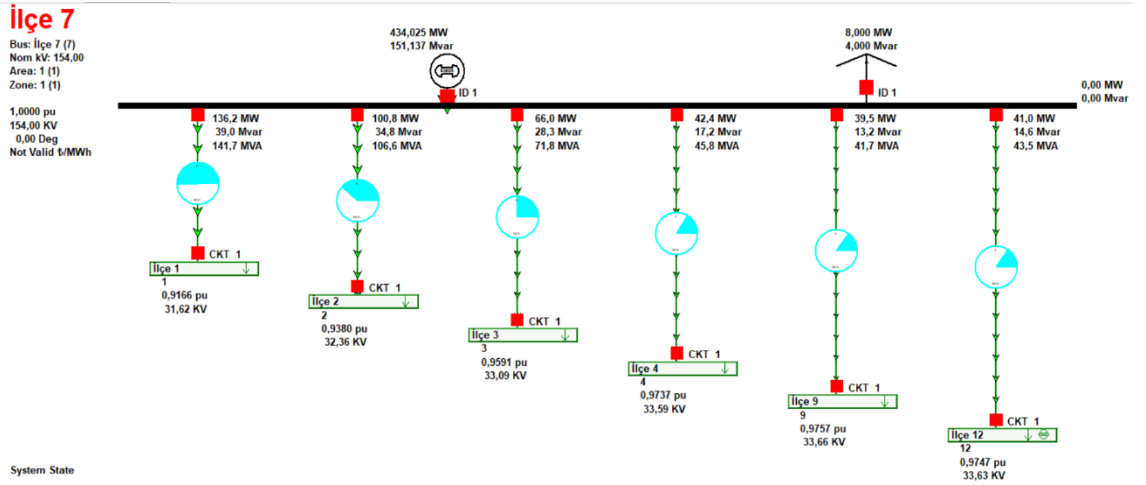
Resim 3.18. İlçe 5- İlçe 1 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra Denge bara

3.9.5 İlçe 10-İlçe 12 noktalarında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması

Çalışma içerisindeki son senaryo ise İlçe 10- İlçe 12 üzerine rüzgâr türbinlerinin eklenmesidir. Bu senaryo için sonuçlar ise ana generatör için 434 MW olarak hesaplanmıştır. İletim hatlarının kayıpları ise 33 MW'dır. Hesaplanan kayıplar Resim 3.19. ve denge barasına bağlı baraların değerleri Resim 3.20 de verilmiştir.

Case Totals (for in-service devices only)		
	MW	Mvar
Load	501,0	188,0
Generation	534,0	191,1
Shunts	0,0	0,0
Losses	33,0	3,1

Resim 3.19. İlçe 10-İlçe 12 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra yaşanan kayıplar



Resim 3.20. İlçe 10-İlçe 12 rüzgâr türbinleri devreye alındıktan sonra Denge bara

Yapılan tüm bu çalışmalar analiz sonuçlarında verilecektir. Özellikle dağıtım hatlarında yaşanan kayıpları en çok azaltan senaryo tercih edilme sebebi olacaktır. Rüzgâr türbinleri hangi noktalara eklenirse eklensin mutlaka sisteme faydaları olmuştur fakat bu çalışmada faydaların en iyisini bulma çabası yer almaktadır.

BÖLÜM 4

ANALİZ SONUÇLARI

Üçüncü bölümde yapılan tüm analizler sonucunda en iyi senaryonun hangisi olduğuna karar verilmesi gerekmektedir. Bunun için öncelikli olarak enerji hatlarında yaşanan kayıplara eksi yönde en çok katkı yapan senaryo bulunacaktır. Ardından baraların gerilim değerleri de incelenecektir. Sistem içerisindeki dağıtım hatlarındaki akım yönleri de değerlendirme içinde bulundurulacaktır.

4.1 Dağıtım Hatlarında Meydana Gelen Kayıpların Karşılaştırılması

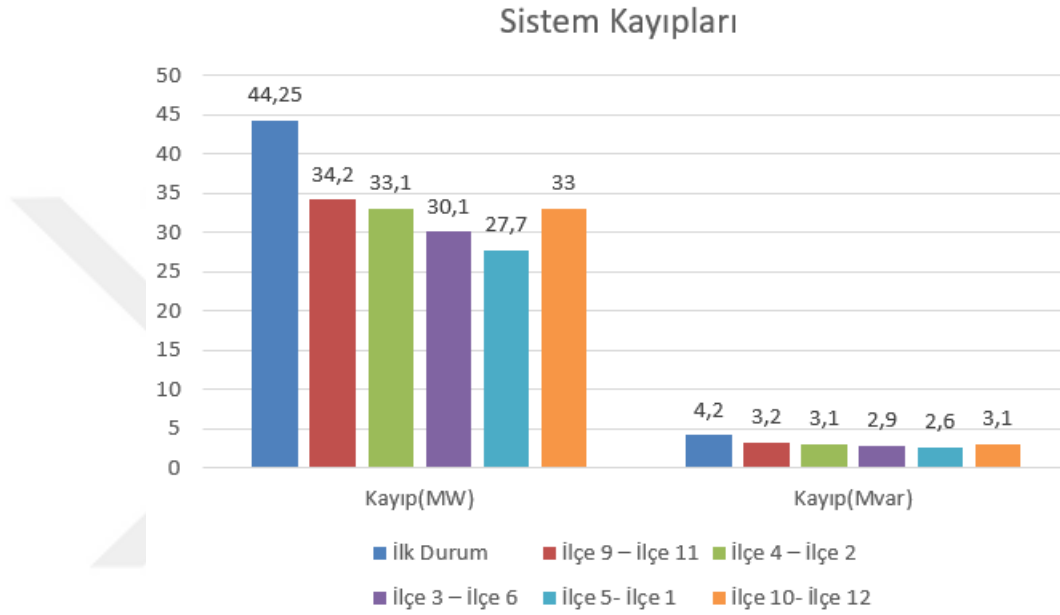
Dağıtım hatlarında yaşanan kayıplara baktığımızda ilk durumda, rüzgâr türbinleri hiçbir şekilde dâhil edilmediğinde, kaybın en çok yaşandığı sistem olarak ön plana çıkmaktadır. Rüzgâr türbinlerinin yerleşim noktaları fark etmeksizin sisteme olumlu katkı yaptığı da yine yapılan analizler sonucunda ortaya çıkmaktadır. Daha anlaşılır olması için sistem kayıpları Tablo 4.1. ve Şekil 4.1. de bu ayrıntılar verilmektedir.

Tablo 4.1. Sistem içerisinde yaşanan kayıplar

NOKTALAR	Kayıp(MW)	Kayıp(Mvar)
İlk Durum	44,25	4,2
İlçe 9 – İlçe 11	34,2	3,2
İlçe 4 – İlçe 2	33,1	3,1
İlçe 3 – İlçe 6	30,1	2,9
İlçe 5- İlçe 1	27,7	2,6
İlçe 10- İlçe 12	33	3,1

Tablo 4.1.'de görüldüğü gibi ilk durumda yaşanan kayıp 44,25 MW iken türbinlerin eklenmesi ile kayıplar ilk duruma göre sürekli olarak azalmıştır. Türbinler eklendikten sonra kendi aralarında kıyaslanması sonucu ise türbinlerin entegrasyonu için en uygun noktaların İlçe 5 – İlçe 1 noktaları olduğu anlaşılmaktadır. İlçe 5 – İlçe 1 noktalarına 50'şer MW gücünde rüzgâr türbinlerinin entegrasyonu sonucunda dağıtım hatlarının yüklenme oranları azalmıştır. Rüzgâr santralleri, seçilen iki farklı noktadan toplamda 100

MW gücü sisteme dâhil etmektedir. Dağıtım hatlarındaki kullanım oranının düşmesi sayesinde yaşanan kayıplar da en aza inmiştir. Bu nokta da sistemin dağıtım hatlarındaki kayıpların toplamı 27,7 MW'a kadar düşmektedir. Sonuç olarak tasarıma en uygun ve yararlı noktanın İlçe 5 – İlçe 1 olduğu görülmektedir.



Şekil 4.1. Sistem içerisinde yaşanan kayıplar

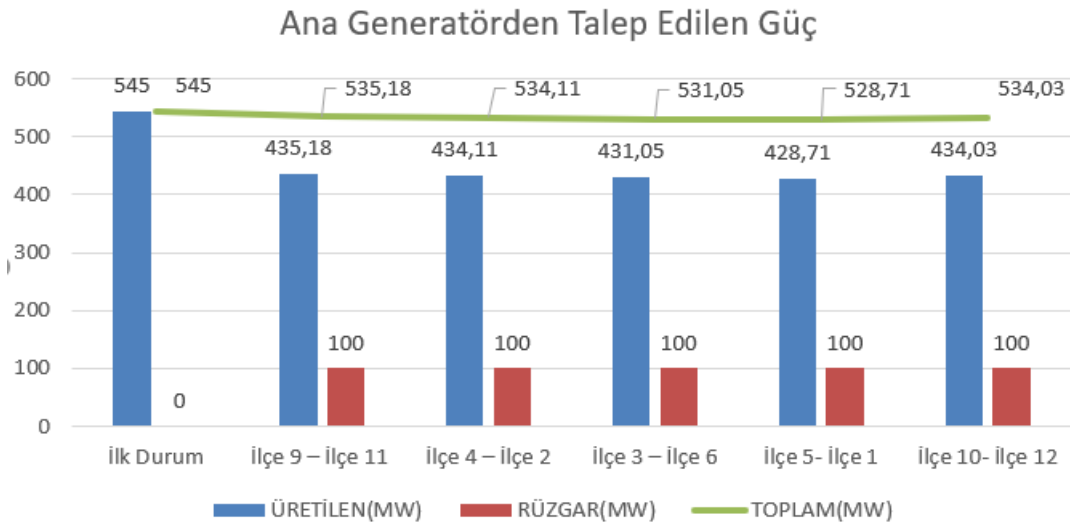
Rüzgâr türbinlerinin ya da daha geniş bir ifade ile yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme sağlamış olduğu en büyük fayda, sistem kayıplarını azaltmasıdır. Şekil 4.1.'de verilmiş olan senaryolara göre ve dağıtık üretim entegre edilmeden önceki sistem kayıplarının yer aldığı değerler ile bu durum açık bir şekilde görülmektedir.

Sistemdeki kayıpların ne kadar azaldığını “denge barası” ile bağlantılı generatörün ürettiği güce bakarak anlamak da mümkündür. Sistemde yaşanan kayıplardan dolayı generatör, ihtiyaçtan daha fazla güç üretmek zorunda kalmaktadır. Bu nedenle rüzgâr türbinleri eklendikten sonra ana generatörün üretimini en çok düşüren nokta rüzgâr türbinleri için en uygun yer olarak belirlenebilir. Buradan yola çıkılacak olursa ilk durumda generatörden talep edilen güç 545 MW iken rüzgâr türbinleri devreye alındığı zaman ana generatörden talep edilen güçte, rüzgâr türbinlerinin toplam MW gücünden daha fazla düşüş yaşanmaktadır. İlçe 5 - İlçe 1 noktası bu açıdan incelendiğinde ana

generatörden talep edilen güç miktarı 428,71 MW olarak bulunmaktadır. Aşağıda yer alan Tablo 4.2. ve Şekil.4.2’de ana generatörden talep edilen güç değerleri detaylı şekilde görülmektedir.

Tablo 4.2. Ana generatörden talep edilen güç miktarı

NOKTALAR	ÜRETİLEN(MW)	RÜZGÂR(MW)	TOPLAM(MW)
İlk Durum	545	0	545
İlçe 9 – İlçe 11	435,18	100	535,18
İlçe 4 – İlçe 2	434,11	100	534,11
İlçe 3 – İlçe 6	431,05	100	531,05
İlçe 5- İlçe 1	428,71	100	528,71
İlçe 10- İlçe 12	434,03	100	534,03



Şekil 4.2. Ana generatörden talep edilen güç miktarı

Şekil 4.2.’de “üretilen” olarak gösterilen veriler ana generatörün ürettiği güç(MW) değerini göstermektedir. İlçe 5- İlçe 1 noktalarına eklenen rüzgâr türbinlerinin ardından ana generatörden talep edilen güç 428,71 MW olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak İlçe 5- İlçe 1 noktaları sistem için kayıpların en aza indirilmesi için seçilecek en uygun yer olarak belirlenmiştir. Bu seçimden sonra hatlarda rüzgâr türbinleri devreye alınmadan önceki kayıplar ile türbinler devreye alındıktan sonraki kayıpların kıyaslanmasına gidilmiştir.

4.2 Türbinler Devreye Alındıktan Sonra Kayıp Değişimlerinin Karşılaştırılması

Tablo 4.3'e bakıldığında dağıtım hatlarında türbinler devreye alınmadan önce toplamda 44,25 MW kayıp varken, türbinler İlçe 5- İlçe 1 noktalarında devreye alındıktan sonra dağıtım hatlarındaki toplam kayıp 27,7 MW olmaktadır. Aradaki fark ise 16,55 MW'tır. Bu iyileşme yüzde olarak %37,4'e denk gelmektedir. Yaklaşık olarak %38'lik bir iyileşmenin hem enerji hatlarının ömrüne hem de ekonomik olarak yatırımcılara ve ülkemize büyük bir katkısı olacağını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar dikkatle incelendiğinde, türbinler devreye alınmadan önce İlçe 2-İlçe 11 dağıtım hattı aktif olarak kullanılmazken, türbinler devreye alınınca kullanılmaya başlamıştır. Bu nedenle üzerinden geçen akım artmıştır. Hatlarda yaşanan kayıpların analizi yapıldığında bu noktalarda kaybın arttığı gibi bir görünüm ortaya çıkmaktadır. Bunun gibi birkaç dağıtım hattı daha bulunmaktadır. Bunlar dışında aktif olarak kullanılan dağıtım hatlarının kayıplarında ciddi oranda düşüşler meydana gelmiştir.

Tablo 4.3, rüzgâr türbinleri için en uygun yer olan İlçe 5- İlçe 1 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından önceki ve devreye alındıktan sonraki verilerine dayanmaktadır. Türbinlerin devreye alınmasına 13 enerji hattı olumlu tepki vermiştir. Diğer hatlarda kaybın artması gibi bir görüntü bulunmaktadır fakat bu durum sitem üzerindeki kayıpların genel olarak azaltılması ile kıyaslandığında dikkate alınmamaktadır.

Tablo 4.3. Rüzgâr türbinlerinin eklenmeden önceki ve eklendikten sonra enerji hatlarında yaşanan kayıplar

Nereden	Nereye	ÖNCE		SONRA		Değişim (MW)
		MW Kayıp	MVAR Kayıp	MW Kayıp	MVAR Kayıp	
İlçe 1	İlçe 6	0,15	0,01	0,03	0	-%80,0
İlçe 7	İlçe 1	16,76	1,59	9,67	0,92	-%42,3
İlçe 10	İlçe 1	1,44	0,14	0,74	0,07	-%48,6
İlçe 6	İlçe 2	0,42	0,04	0,17	0,02	-%59,5
İlçe 7	İlçe 2	9,41	0,89	6,56	0,62	-%30,3
İlçe 2	İlçe 11	0,01	0	0,08	0,01	+%700,0
İlçe 12	İlçe 2	1,51	0,14	1,57	0,15	+%4,0
İlçe 4	İlçe 3	0,41	0,04	0,2	0,02	-%51,2
İlçe 3	İlçe 5	0,09	0,01	0,11	0,01	+%22,2
İlçe 7	İlçe 3	4,07	0,39	2,45	0,23	-%39,8
İlçe 7	İlçe 4	1,89	0,18	1,26	0,12	-%33,3
İlçe 9	İlçe 4	0,03	0	0,01	0	-%66,7
İlçe 5	İlçe 8	0,19	0,02	0,38	0,04	+%100,0
İlçe 12	İlçe 5	0,23	0,02	0,01	0	-%95,7
İlçe 7	İlçe 9	2,32	0,22	1,5	0,14	-%35,3
İlçe 7	İlçe 12	3,39	0,32	1,72	0,16	-%49,3
İlçe 8	İlçe 11	0,05	0,01	0,18	0,02	+%260,0
İlçe 10	İlçe 9	1,88	0,18	1,06	0,1	-%43,6
	Toplam	44,25	4,2	27,7	2,63	

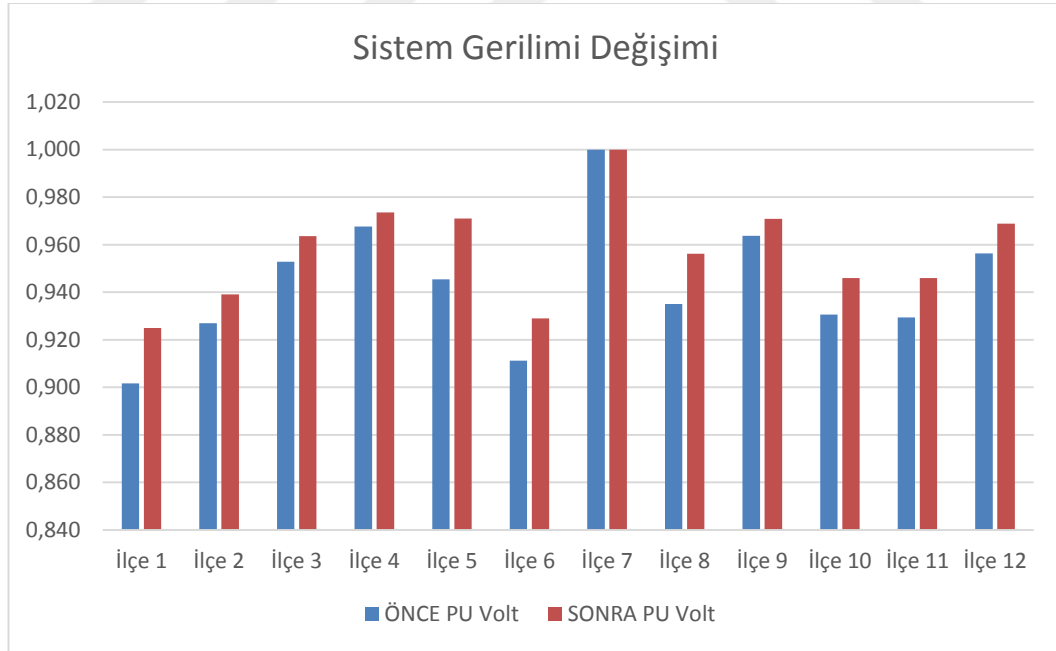
4.3 Rüzgâr Türbinlerinin Sistem Gerilimi Üzerine Etkisi

İletim hatlarındaki kullanım oranlarının azalması sayesinde tasarlanan sistem, sürekli olarak artan yük ihtiyaçları karşısında uzun süre kullanılabilir olacaktır. Dolayısı ile yenilenebilir enerji kaynaklarının maliyet konusunda bir faydası daha ortaya çıkmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının açıkça görüldüğü bir diğer etki alanı ise sistem gerilimindeki değişimlerdir. Tablo 4.4. ve Şekil 4.3.'te türbinlerin devreye alınmasından önce ve devreye alınmasından sonra sistem gerilimlerinin durumu verilmiştir. Tablo 4.4.'te ve Şekil 4.3.'te rüzgâr türbinleri İlçe 5-İlçe 1 noktalarında devreye alındıktan sonra gerilimlerde istenen düzeylere biraz daha ulaşıldığı görülmektedir. Bu sonuçlar ile yenilenebilir enerji kaynaklarının faydaları da bir kez daha açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Değişim olmayan tek bara İlçe 7'de yer almaktadır. Bu bara, “denge barası” olarak seçilmesinden dolayı p.u değeri sürekli olarak 1 olmaktadır.

Türbinler sisteme analiz edilen hangi bara üzerinden dâhil edilirse edilsin, sistem gerilimi üzerinde genel olarak olumlu etkide bulunmuştur.

Tablo 4.4. Türbinlerin devreye alınmasından önce ve sonra PU volt

Bara	ÖNCE	SONRA	ÖNCE	SONRA
	PU Volt	PU Volt	Deg	Deg
İlçe 1	0,902	0,925	1,23	0,84
İlçe 2	0,927	0,939	1,11	0,91
İlçe 3	0,953	0,964	0,89	0,71
İlçe 4	0,968	0,974	0,56	0,47
İlçe 5	0,945	0,971	0,95	0,51
İlçe 6	0,911	0,929	1,23	0,94
İlçe 7	1,000	1,000	0	0
İlçe 8	0,935	0,956	1,08	0,72
İlçe 9	0,964	0,971	0,53	0,42
İlçe 10	0,931	0,946	0,91	0,67
İlçe 11	0,929	0,946	1,12	0,84
İlçe 12	0,956	0,969	0,69	0,48



Şekil 4.3. Türbinlerin aktiflik durumuna göre PU volt değerleri

4.4 Kısa Devre Arıza Analizi

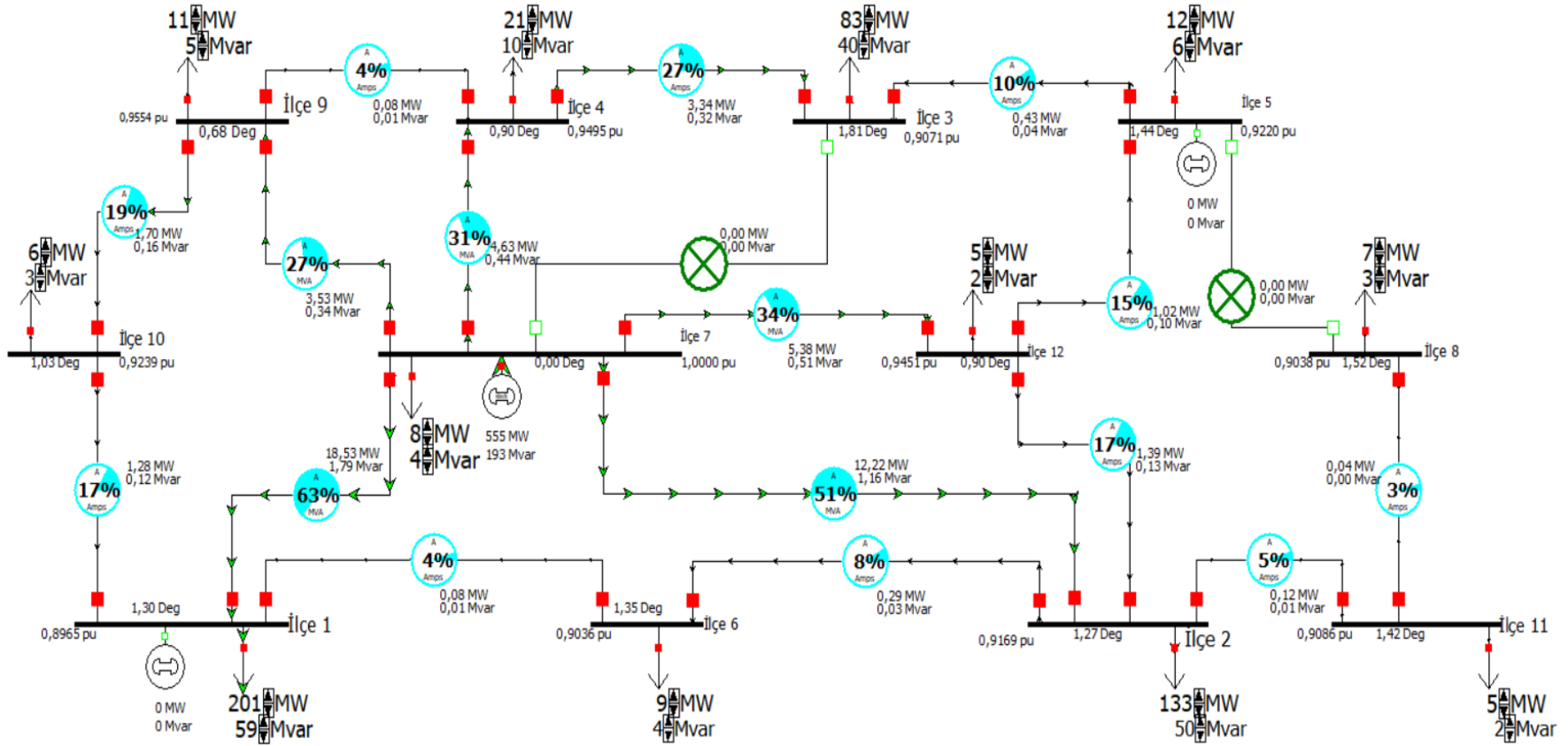
Kısadevre arıza hesaplamaları hat üzerinde olası arıza durumunda akacak olan akımın genliği ve yönünün belirlenmesini sağlamaktadır. Arıza akımı arızanın cinsine ve oluştuğu yere bağlıdır. DÜ'lerin sistem üzerinde varlığı arıza akımının genliğine ve akış yönüne etki edecektir. Bu etki DÜ'lerin büyüklüğüne, türüne ve bağlandığı noktaya göre değişmektedir.

Resim 4.1 incelendiğinde ana jeneratör ile bağlantısı olan bir dağıtım hattında ve dağıtık üretimin bağlı olduğu bir dağıtım hattında arıza olduğu varsayılmıştır. Kısa devre arıza analizi yapılmadan önce dağıtık üretim kaynaklarının şebeke ile bağlantısı kesilmiş ve kısa devre akım analizleri yapılmıştır.

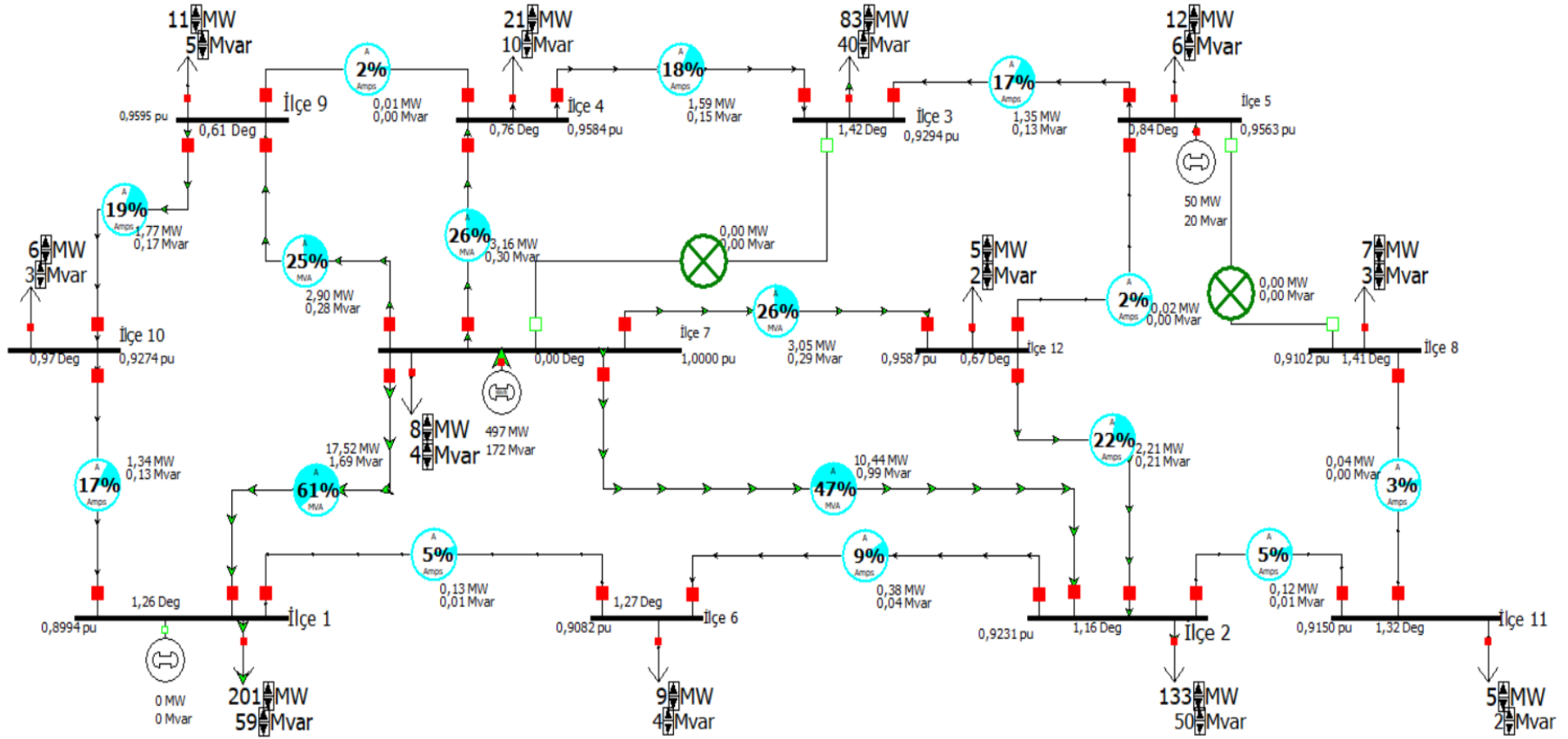
Resim 4.2'de ise İlçe 5'te bulunan rüzgâr türbinlerinin şebekeye dahil edilmesi sağlanmış ve ardından tekrar kısa devre akım analizi yapılmıştır. Bu analiz sonucunda kısa devre akımlarının arttığı görülmüştür. Resim 4.3'te ise İlçe 5 ve İlçe 1'de bulunan rüzgâr türbinleri birlikte aktif hale getirilmiştir.

Böylece DÜ'lerin sistem bara gerilimleri ve kısadevre arıza akımlarına etkisi incelenmiştir.

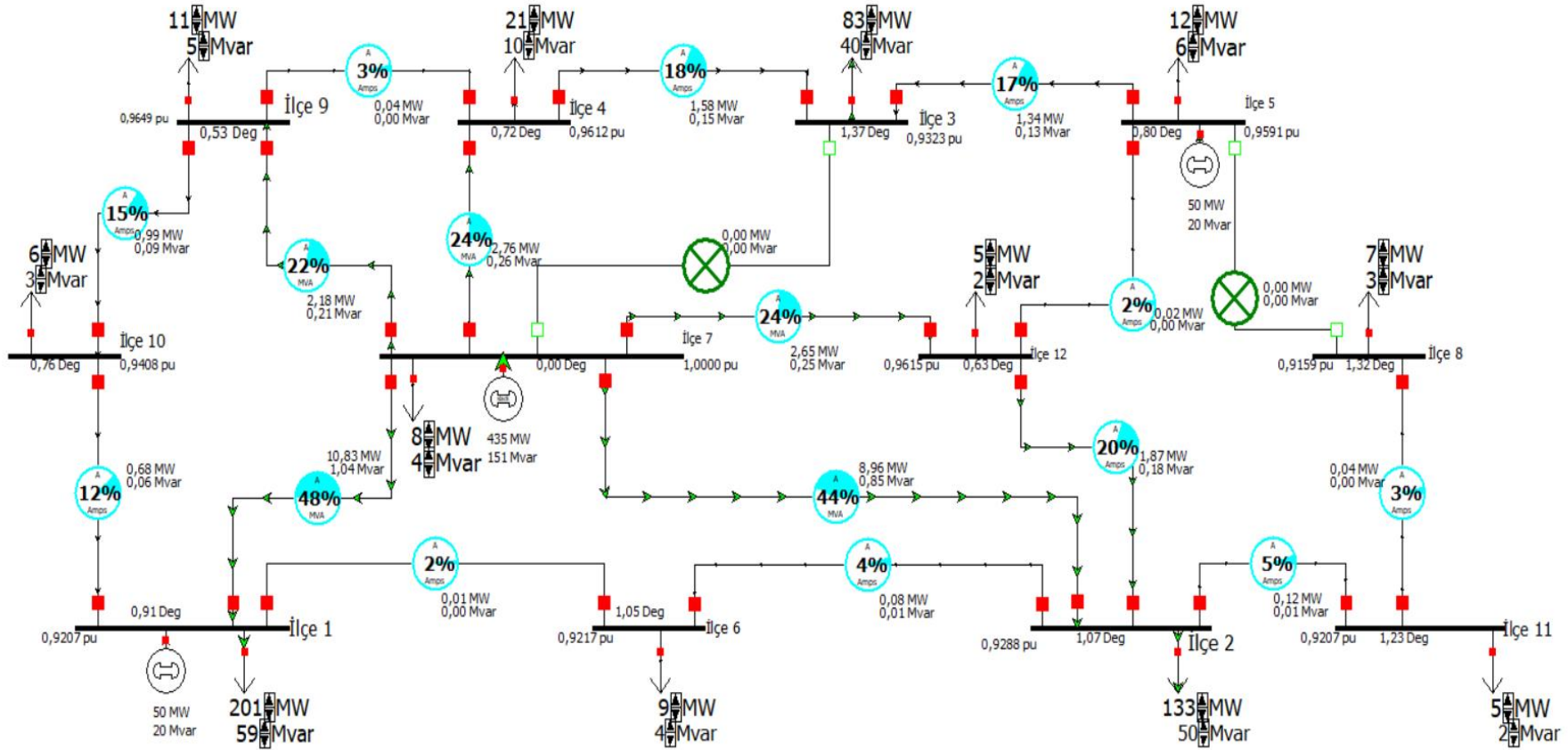
Tablo 4.5 incelendiğinde, DÜ'lerin kısa devre akımlarını arttırdıkları açıkça görülmektedir. Ayrıca güçlü sistemlerde DÜ'lerin bara gerilimlerine olan etkileri de oldukça fazladır ve nominal değerlerin üstüne çıkmasına sebep olabilmektedir. Sonuç olarak DÜ'lerin şebeke içerisinde bulunması arıza akımlarının artmasına sebep olmaktadır ve bu durumda şebekelere röle koordinasyonu yapılırken DÜ'lerin varlığı göz önünde bulundurulmalıdır.



Resim 4.1. Arıza durumunda şebekenin rüzgâr türbinleri olmadan çalıştırılması



Resim 4.2. Arıza durumunda şebekenin İlçe 5'te yer alan rüzgâr türbinleri ile çalıştırılması



Resim 4.3. Arıza durumunda şebekenin İlçe 5 ve İlçe 1’de yer alan rüzgâr türbinleri ile çalıştırılması

Tablo 4.5. Kısa devre akım analizi sonuçları

Bara	“DÜ” YOK			1 RÜZGAR TÜRBİNİ AKTİF			2 RÜZGAR TÜRBİNİ AKTİF		
	Faz-Faz(A)	Faz-Toprak(A)	3 Faz(A)	Faz-Faz(A)	Faz-Toprak(A)	3 Faz(A)	Faz-Faz(A)	Faz-Toprak(A)	3 Faz(A)
İlçe 1	8267	3742	9546	8808	5952	10171	9585	7974	11067
İlçe 2	8245	3815	9521	8837	6147	10204	9428	7839	10886
İlçe 3	7141	3606	8245	7807	5903	9015	8278	7179	9559
İlçe 4	7953	3902	9184	8556	6273	9879	9099	7857	10507
İlçe 5	7025	3649	8112	7833	6201	9045	8307	7490	9592
İlçe 6	7464	3664	8619	7956	5681	9187	8567	7293	9892
İlçe 7	2038	950	2353	2173	1538	2509	2308	1967	2665
İlçe 8	4841	3035	5590	5101	4042	5890	5357	4589	6186
İlçe 9	7955	3930	9186	8501	6203	9817	9073	7848	10476
İlçe 10	7356	3724	8494	7829	5712	9041	8430	7305	9734
İlçe 11	6129	3425	7077	6511	4976	7519	6894	5929	7960
İlçe 12	7970	3891	9203	8644	6380	9981	9193	7988	10615

BÖLÜM 5

SONUÇ

Bu çalışmada yenilenebilir enerji kaynaklarının (dağıtık üretim) şebekeye entegre edilmesi durumunda sağlayacağı faydaların somut örneklerle verilmesi için çalışılmıştır. Bunun için bir sistem tasarlanmış ve belirli senaryolar ile rüzgâr türbinlerinin sisteme entegrasyonu sağlanmıştır. Amaç olarak, sistem içerisinde yer alan kayıpların yaratmış olduğu maliyetlerden ve yenilenebilir enerji kaynaklarının dışında kalan enerji kaynaklarının çevreye verdiği zararlardan bir nebze olsun uzak durabilmektir.

Çalışma içerisinde 5 farklı senaryo denenmiştir. Bu senaryolar, elle yapılan çözümlere nispeten daha kolay bir şekilde “Power World” programı üzerinden yapılmıştır. “Power World” programının kullanımı ile yapılan analizlerin doğruluğundan daha çok emin olunmuştur. Yaşanan hat kayıpları, kısa devre akım analizleri ve gerilim profilleri ile ilgili bilgilere ulaşılmıştır. Rüzgâr türbinleri, istenilen baralara entegre edilerek sonuçlar incelenmiştir.

Türbinler aktif olmadan önce sistemde var olan kayıp 44,25 MW’tır. Bu kayıp türbinlerin aktif olmasıyla birlikte 27,7 MW’a kadar düşmüştür. Tasarlanan sisteme entegre edilen rüzgâr türbinleri sayesinde sistem içerisinde yer alan kayıpların yaklaşık olarak %38 oranında azaldığı görülmüştür. Aynı zamanda sistem gerilimlerindeki olumlu değişimler türbinlerin sistem içerisinde aktif olması ile hemen kendisini göstermektedir. İletim hatları üzerindeki yüklerin oranını da düşüren dağıtık üretim kaynakları, bu sayede şebekelerin daha uzun ömürlü olmalarını da sağlamaktadır. Maliyet konusunda da yatırımcıların kısa sürede geri dönüş almalarını sağlayan yenilenebilir enerji kaynaklarının daha çok kullanılması ve değerlendirilmesi gerekmektedir.

Maliyetler açısından rüzgâr türbinlerinin faydaları incelendiğinde; Termik santrallerde enerji üretim maliyeti ortalama 6 cent/kWh’tir [73]. Bu durumda tasarlanan şebekede termik santralin 1 yıl boyunca çalışmasının maliyeti 286452000 \$ olarak hesaplanmıştır. Rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile termik santralden talep edilen güç 428,71 MW’a düşmüştür. Diğer taraftan toplamda 100 MW’lık bir rüzgâr enerjisi üretime destek vermektedir. Termik santral ile rüzgâr türbinlerinin birlikte çalışmasının yıllık maliyeti

234089976 \$ olarak bulunmuştur. Bu hesaplama yapılırken rüzgâr enerjisinin üretim maliyeti ortalama olarak 1 cent/kWh olarak alınmıştır [74]. Bu hesaplamalar ışığında rüzgâr türbinlerinin devreye alınması ile yıllık olarak 52362024 \$ gibi bir maliyet ortadan kaybolmaktadır. Maliyetteki azalan miktar ise rüzgâr türbinlerinin kurulum maliyetini yaklaşık olarak 3 yıl 4 ay gibi kısa bir sürede karşılamaktadır. 100 MW'lık rüzgâr enerjisinin toplam kurulum maliyeti 175000000 \$ olarak belirtilmiştir [74].

Gerçek hayatta da sistem tasarımları, üstünde durulması gereken önemli bir konudur ve güç akış analizleri ileride yapılacak olan girişimlerin, yatırımların ve uzun dönem planlamaların odak noktası olmaktadır. Doğru planlama adına hesaplamalar büyük özenle yapılmalıdır. Tez için “Power World” programının tercih edilme sebepleri de burada devreye girmektedir. Görsel bir program olması sebebiyle yapılan hatalar ya da oluşan aksaklıklar açıkça görülebilmektedir. Bu sayede yaşanabilecek olumsuzluklar en aza inmektedir.

Sonuç olarak güç akış analizleri, dağıtım hatlarında yaşanan kayıplar ve DÜ'lerin önemi üzerinde duran çalışmalara destek olacak bir tez ortaya çıkmıştır. İleride yapılacak çalışmalar için yol göstermesi adına daha farklı senaryoların denenebileceği söylenebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Eras-Almeida, A. A., Egado-Aguilera, M. A., “Hybrid renewable mini-grids on non-interconnected small islands: Review of case studies”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 116, 109417, 2019.
- [2] Li, J., Liu, F., Li, Z., Shao, C., Liu, X., “Grid-side flexibility of power systems in integrating large-scale renewable generations: A critical review on concepts, formulations and solution approaches”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 93, 272-284, 2018.
- [3] Deng, X., Lv, T., “Power system planning with increasing variable renewable energy: A review of optimization models”, *Journal of Cleaner Production*, 246, 118962, 2020.
- [4] Dagoumas, A. S., Koltsaklis, N. E., “Review of models for integrating renewable energy in the generation expansion planning”, *Applied Energy*, 242, 1573-1587, 2019.
- [5] Tran, T. T., Smith, A. D., “Evaluation of renewable energy technologies and their potential for technical integration and cost-effective use within the US energy sector”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 1372-1388, 2017.
- [6] Fernández-Guillamón, A., Gómez-Lázaro, E., Muljadi, E., Molina-García, Á., “Power systems with high renewable energy sources: A review of inertia and frequency control strategies over time”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 115, 109369, 2019.
- [7] Mararakanye, N., Bekker, B., “Renewable energy integration impacts within the context of generator type, penetration level and grid characteristics”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 108, 441-451, 2019.
- [8] Luz, T., Moura, P., de Almeida, A., “Multi-objective power generation expansion planning with high penetration of renewable”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, 2637-2643, 2018.
- [9] Bozalakov, D. V., Laveyne, J., Desmet, J., Vandeveld, L., “Overvoltage and voltage unbalance mitigation in areas with high penetration of renewable energy resources by using the modified three-phase damping control strategy”, *Electric Power Systems Research*, 168, 283-294, 2019.

- [10] Haque, M. H., "Voltage profile and loss assessment of distribution systems with fixed speed wind generators" *IEEE*, s. 210-215, 2014.
- [11] Guerriche, K. R., Bouktir, T., "Maximum loading point in distribution system with renewable resources penetration." *2014 International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*. IEEE, s. 481-486, 2014.
- [12] Shrivastava, C., Gupta, M., & Koshti, A. "Review of forward & backward sweep method for load flow analysis of radial distribution system". *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 4(6), 5595-5599, 2015.
- [13] Dharageshwari, K., Nayanatara, C., "Multiobjective optimal placement of multiple distributed generations in IEEE 33 bus radial system using simulated annealing." *2015 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2015]*, IEEE, s. 1-7, 2015.
- [14] Wazir, A., Arbab, N., "Analysis and optimization of IEEE 33 bus radial distributed system using optimization algorithm", (*JETAE*) *J. Emerg. Trends Appl. Eng*, 1(2), 2518-4059, 2016.
- [15] Majidi, M., "Optimal distributed generation allocation and sizing in radial distribution networks by cuckoo search algorithm", *İstanbul Technical University Graduate School of Science Engineering and Technology*, M.Sc. Thesis, İstanbul, 2017.
- [16] Parasher, R., Maidu, A., "Load flow analysis of radial distribution network using linear data structure", *arXiv preprint arXiv:1403.4702*, 2014.
- [17] Akdeniz, E., Kaypmaz, A., Yağmur, E., "Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi", *Elektrik Mühendisleri Odası*, 2006.
- [18] İçel, Y., Baran, B., Kaygusuz, A., Bektaş, Ö., "Yenilenebilir Kaynakları İçeren Güç Sistemlerinin PowerWorld Programı ile Analizi", *Otomatik Kontrol Ulusal Toplantısı TOK2013*, s.26-28, 2013.

- [19] Karaarslan, K., “Dağıtılmış üretim kaynaklarının elektrik dağıtım sistemlerine etkileri”, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü MS thesis*, Kocaeli, 2010.
- [20] Geidl, M., “Protection of power systems with distributed generation: State of the art”, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, *EEH Power Systems Laboratory*, Zurich, 2005.
- [21] Uyar, M., Gençoğlu, M. T., Yıldırım, S., “Değişken hızlı rüzgâr türbinleri için generatör sistemleri”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, Mersin, 2-5, 2005.
- [22] Dulău, L. I., Abrudean, M., Bică, D., “Effects of distributed generation on electric power systems”, *Procedia Technology*, 12(2014), s. 683-685, 2014.
- [23] Uzal, H., Zonturlu, A., Karatepe, E., “Enerji iletim ve dağıtım hatlarının matlab ve powerworld simulator ile güç akışı analizi “, *Ege Üniversitesi Elektrik- Elektronik Mühendisliği Bölümü*, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2011.
- [24] Parihar, S. S., Malik, N., “Load flow analysis of radial distribution system with DG and composite load model”, *International Conference on Power Energy, Environment and Intelligent Control (PEEIC), IEEE*, s. 295-300, 2018.
- [25] Narayan, K. S., Kumar, A., “Energy savings in radial distribution systems with intermittent wind power and probabilistic load demands”, *Energy Procedia*, 90, s. 137-144, 2016.
- [26] Prakash, K., Lallu, A., Islam, F. R., Mamun, K. A., “Review of power system distribution network architecture”, *In 2016 3rd Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWC on CSE) IEEE*, s. 124-130, 2016.
- [28] Liu, W., Li, N., Jiang, Z., Chen, Z., Wang, S., Han, J., Zhang, X. ve Liu, C., “Smart Micro-grid System with Wind/PV/Battery”, *Energy Procedia*, 152, s. 1212-1217, 2018.
- [29] Myles, P., Miller, J., Knudsen, S., Grabowski, T., “430.01. 03 electric power system asset optimization”, *Morgantown, WV: National Energy Technology Laboratory*, 20, 2011.

- [30] Lasseter B., “Microgrids [distributed power generation]”, *Power Eng. Soc. Winter Meet, IEEE*, 1(C), s. 146–149, 2001.
- [31] Yıldırım, B., “Mikro şebekelerin güç sistemi kararlılığına etkilerinin incelenmesi”, *Elektrik Elektronik Mühendisliği Elektrik Tesisleri Programı Doktora Tezi*, Elazığ, 2017.
- [32] Elektrik Mühendisleri Odası, “Dağıtılmış enerji kaynakları içeren şebeke tasarım önerisi”, [http:// www.emo.org.tr/ekler/1ab1c9e23198a83_ek.pdf](http://www.emo.org.tr/ekler/1ab1c9e23198a83_ek.pdf)
- [33] Barker, P., Johnson, B., Maitra, A., Herman, D., “Investigation of the technical and economic feasibility of micro-grid-based power systems”, *EPRI*, Palo Alto, CA, 1003973, 2001.
- [34] Kenward, A., Raja, U., “Blackout: Extreme weather climate change and power outages”, *Climate central*, 10, s. 1-23, 2014.
- [35] Sullivan, J. E., Kamensky, D., “How cyber-attacks in Ukraine show the vulnerability of the US power grid”, *The Electricity Journal*, 30(3), s. 30-35, 2017.
- [36] Güven, D., “Verimliliği düşmüş bataryaların hizmet sektöründe kullanımı: akıllı tesis uygulaması”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Enerji Bilim ve Teknoloji Programı MS thesis*, İstanbul, 2019.
- [37] Bebic, J., “Power system planning: emerging practices suitable for evaluating the impact of high-penetration photovoltaics (No. NREL/SR-581-42297)”, *National Renewable Energy Lab.(NREL)*, Golden, CO (United States), 2008.
- [38] Kumar, A., Khan, M. Z. U., Hussain, D. M. A., “Microgrids Technology: A Review Paper”, *Gyancity Journal of Electronics and Computer Science*, 3(1), s. 11-20, 2018.
- [39] Hartono, B. S., Setiabudy, R., “Review of microgrid technology”, *In 2013 international conference on QiR, IEEE*, s. 127-132, 2013.
- [40] Glover, S., Neely, J., White, F., Foster, P., Wasynczuk, O., Pekarek, S., “Secure scalable distributed network test bed at sandia national laboratories”, *IEEE International Conference on Cyber Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems (CYBER)*, s. 23-27, 2007.

- [41] Hossain, E., Kabalci, E., Bayindir, R., Perez, R., “A comprehensive study on distributed network technology”, *International Journal of Renewable Energy Research*, 4(4). 1094- 1107, 2014.
- [42] Kruegle, H., “CCTV surveillance”, Elsevier *Butterworth Heinemann*, Amsterdam, s. 572, 2007.
- [43] Willis, H., “Power distribution planning reference book”, New York: M. Dekker, 2004.
- [44] MEB, “Enerji İletim ve Dağıtım Şebekeleri”, <http://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1EnerjiUretimiIletimiVeDagitimi/unite10.pdf>
- [45] Isermann, R., “Fault-diagnosis systems: An introduction from fault detection to fault tolerance”, *Springer*, Heidelberg, s. 232-245, 2006.
- [46] Mehta, V., Mehta, R., “Principles of power system”, *S.Chand*, New Delhi, 2005.
- [47] Sortomme, E., Venkata, S. S., Mitra, J., “Distributed network protection using communication-assisted digital relays,” *IEEE Trans. Power Del.*”, 25(4), s. 2789-2796, Oct. 2010.
- [48] Reed, G. F., Grainger, B. M., Sparacino, A. R., Kerestes, R. J., Korytowski, M. J., “Advancements in Medium Voltage DC Architecture Development with Applications for Powering Electric Vehicle Charging Stations”, *IEEE Energy tech.*, s. 1-8, 2012.
- [49] Islam, F. R., Prakash, K., Mamun, K. A., Lallu, A., Pota, H. R., “Aromatic network: A novel structure for power distribution system”, *IEEE Access*, 5, s. 25236-25257, 2017.
- [50] Kishorbha, T. M., Mangroliya, D. G. P., “Recent Trades in Distribution System”, *International Journal of Advance Engineering and Research Development*, 2(3), s. 211-217, 2015.
- [51] The Electrical Grid, <http://www.energygroove.net/technologies/electrical-grid/>, 2016.
- [52] Sochinskayaa, M., “Distributed networks: experiences, barriers and success factors”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, s. 5-30, 2014.

- [53] Cristian, N., Ahmed, A., Dakyo, B., "Impact Analysis of Distributed Generation on Mesh and Radial distribution network. Overview and State of the art", *ResearchGate*, 2013.
- [54] Koç, E., Şenel, M. C., "Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme”, *Mühendis ve Makina*, 54(639), s. 32-44, 2013
- [55] Koç, A., Yağlı, H., Koç, Y., Uğurlu, İ., "Dünyada ve türkiye’de enerji görünümünün genel değerlendirilmesi”, *Mühendis ve Makina*, 59(692), s. 86-114, 2018.
- [56] Salvatore, J., "World energy perspective: cost of energy Technologies”, *World Energy Council*, 48, 2013.
- [57] Lasseter, R. H., "Smart distribution: coupled micro grids”, *Proc. IEEE*, 99(6), s. 1074-1082, 2011.
- [58] Çukurçayır, M. A., SAĞIR, H., "Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları”, *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 20, s. 257-278, 2008.
- [59] Yılmaz, M., "Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi”, *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 4(2), s. 33-54, 2012.
- [60] Mahadanaarachchi, V. P., Ramakuma, R., "Impact of distributed generation on distance protection performance-a review”, *Proc. IEEE Conf. Power and Energy Society General Meeting –Conversion and Delivery of Electrical Energy*, Pittsburgh, USA, pp. 1-7, 2017.
- [61] Prasad, R. D., Bansal, R. C., Sauturaga, M. "Some of the design and methodology considerations in wind resource assessment”, *IET-Renewable Power Generation*, 3(1), s. 53-64, 2009.
- [62] Gidwani, L., Tiwari, H., Bansal, R. C., "Improving power quality of wind energy conversion system with unconventional power electronic interface”, *Int. J. Electrical Power and Energy Systems*, 44(1), s. 445-453, 2013.
- [63] Elibüyük, U., Üçgül, İ., "Rüzgâr türbinleri, çeşitleri ve rüzgâr enerjisi depolama yöntemleri”, *SDÜ Yekarum e-Dergi*, 2(3), 2014.

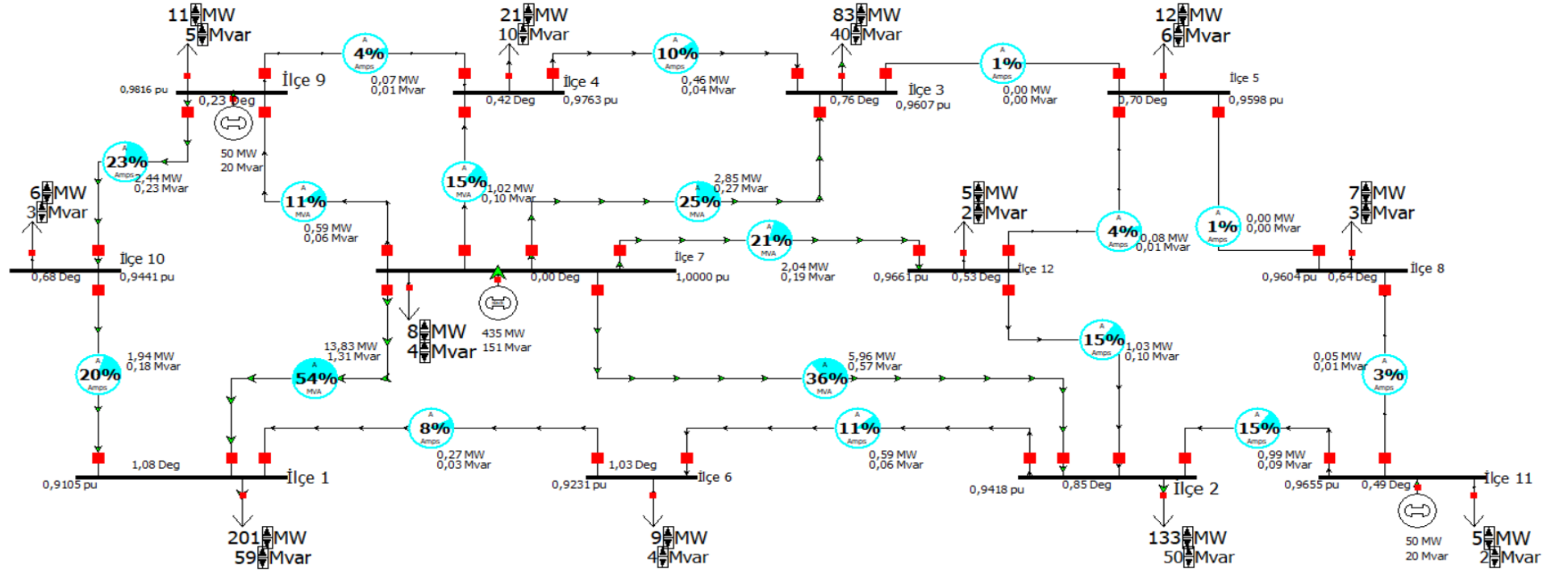
- [64] Ağçay, M., Attay, F., “Türkiye’nin elektrik enerjisi arz talep dengesinin tespiti, üretim projeksiyonuna yönelik rüzgâr elektrik santrali tasarımı RES’in kurulum maliyetlerinin ve üretim parametrelerinin analizinin matlab&simulink ile yazılan programda yapılması”, *Yıldız Teknik Üniversitesi Elektronik Mühendisliği Bitirme Tezi*, 2007.
- [65] Nurbay, N., Çınar, A., “Rüzgâr türbinlerinin çeşitleri ve birbirleriyle karşılaştırılması”, *III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, s. 19-21, 2005.
- [66] Eldem, Mehmet Oktay, Mayıs, TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni, s. 7-10, 2017.
- [67] Özcan, H., “Bir hibrid enerji sisteminin modellenmesi ve analizi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, MS thesis*, İstanbul, 2009.
- [68] Girgin, M. H., “Bir fotovoltaik güneş enerjisi santralının fizibilitesi, Karaman bölgesinde 5 mw’lık güneş enerjisi santrali için enerji üretim değerlendirme ve ekonomik analizi”, *İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, MS thesis*, İstanbul, 2011
- [69] Varınca, B. K., Gönüllü, M.T., “Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeli ve bu potansiyelin kullanım derecesi, yöntemi ve yaygınlığı üzerine bir araştırma”, *I.Ulusal Güneş ve Hidrojen Enerjisi Kongresi*, s. 270-275, Eskişehir, 2006.
- [70] Elektrik Mühendisleri Odası, “Dağıtım şebekeleri proje hazırlama”, http://www.emo.org.tr/ekler/31bef974be23b27_ek.pdf
- [71] Elektrik Tesisat Mühendisleri Derneği, “Reaktif güç nedir ve neden önemlidir”, <https://etmd.org.tr/reaktif-guc-nedir-ve-neden-onemlidir/>
- [72] Özkan, M., “Van m8 dağıtım merkezinin modellenmesi ve power world programı ile simülasyonu “, *Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü, Yüksek Lisans Tezi*, Van, 2019.
- [73] Kaya, K., Koç, E., “Enerji üretim santralleri maliyet analizi”, *Mühendis ve Makina*, 56(660), s. 61-68, 2015.

[74] Ertuğrul Ö. M., Kurt, M. B., “Yenilenebilir enerji kaynakları maliyet analizi ve sürdürülebilir yek uygulamaları”, *V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, s. 37-41, Diyarbakır, 2009.

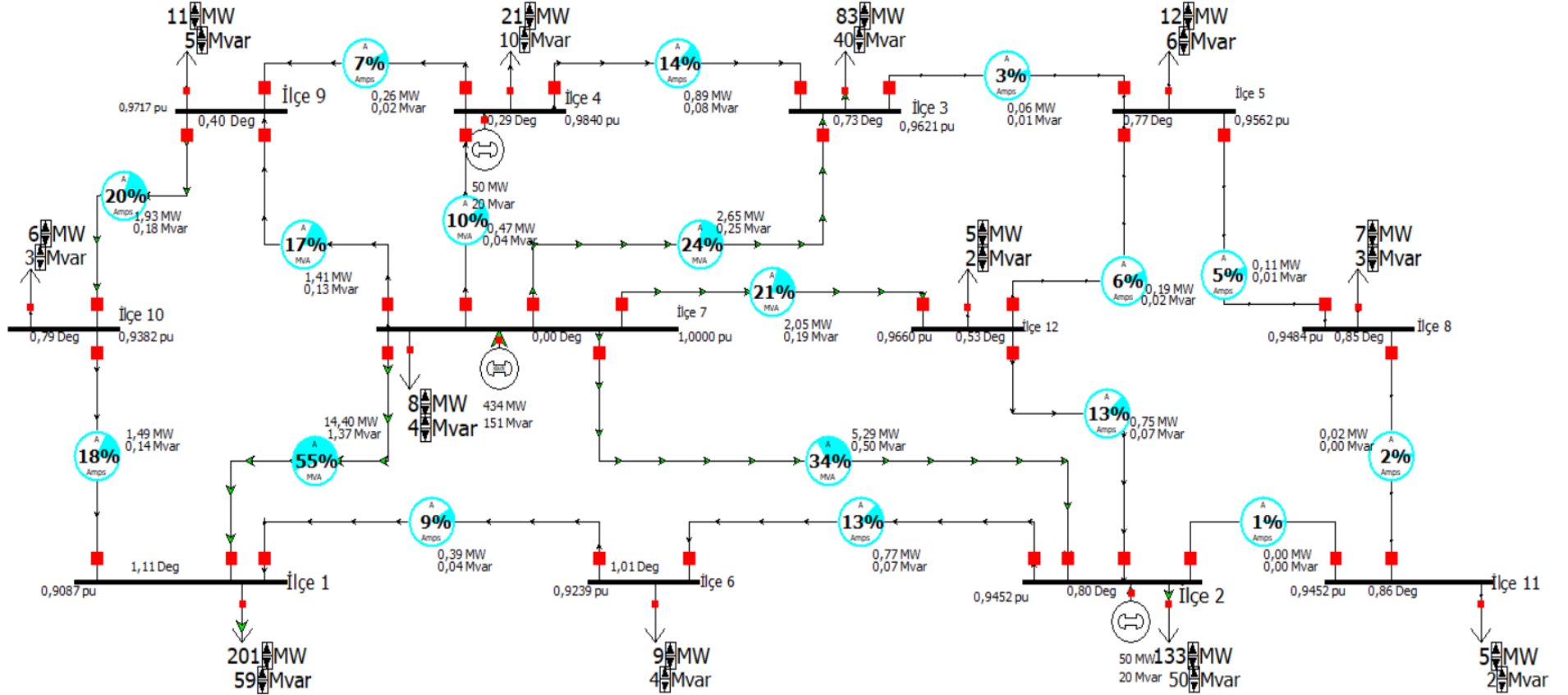


EKLER

EK-1

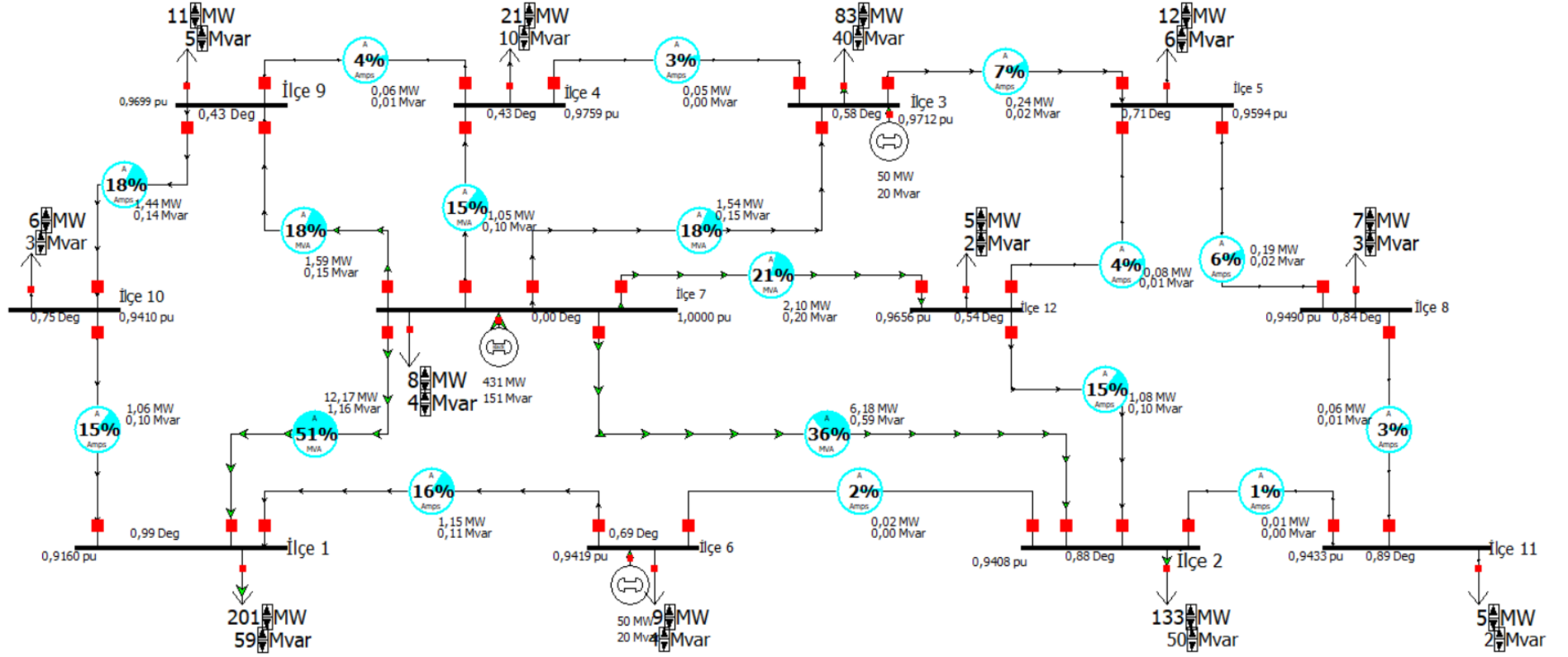


Resim 1.1. İlçe 9-İlçe 11 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü



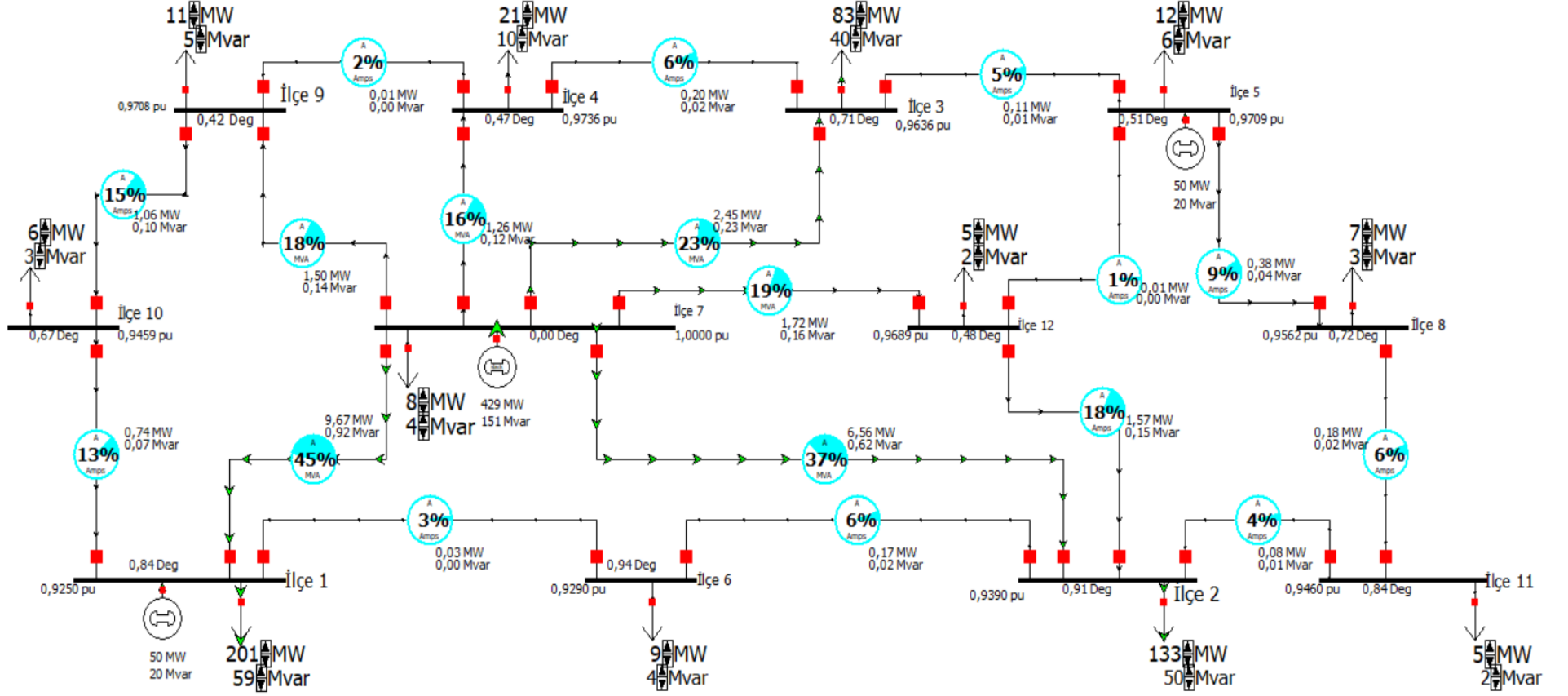
Resim 2.1. İlçe 4-İlçe 2 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü

EK-3



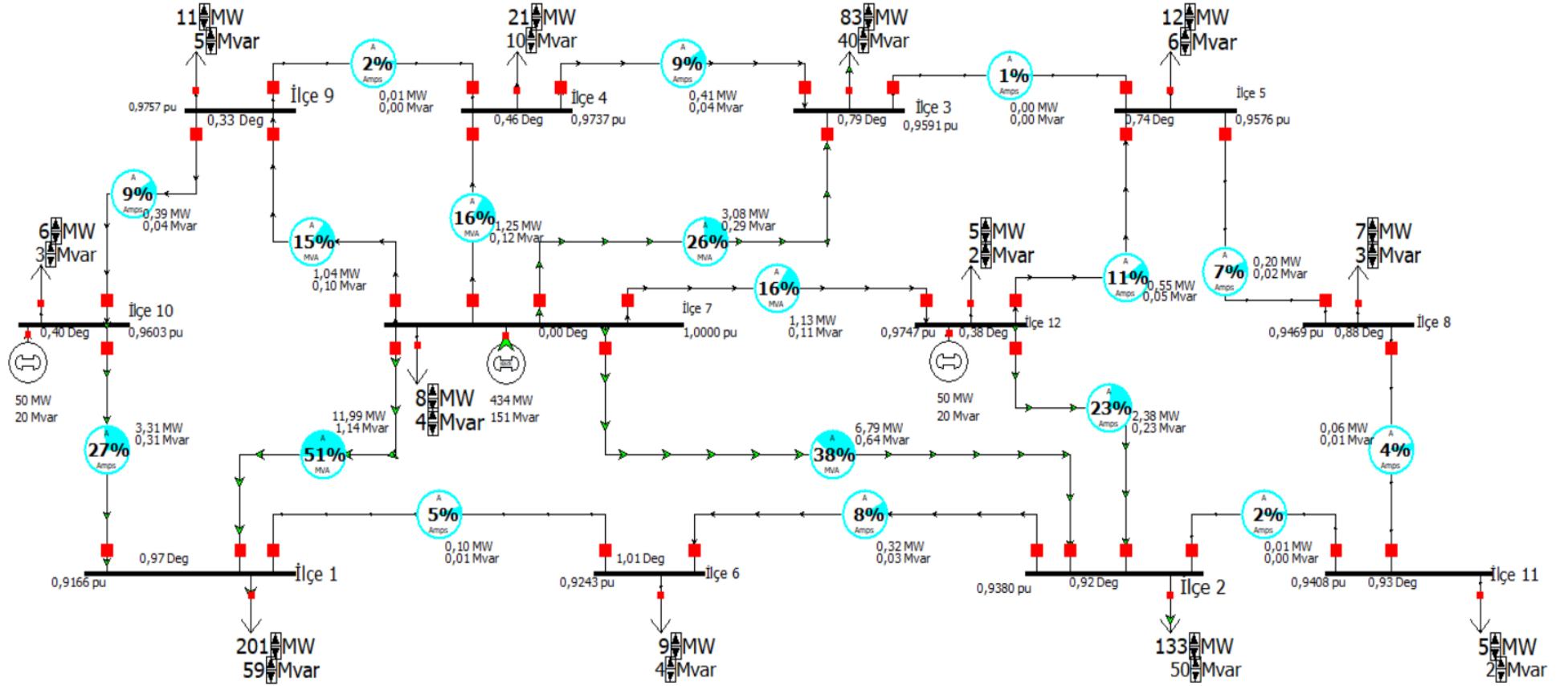
Resim 3.1. İlçe 3-İlçe 6 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü

EK-4



Resim 4.1. İlçe 5-İlçe 1 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü

EK-5



Resim 5.1. İlçe 10-İlçe 12 noktalarında türbinlerin devreye alınmasından sonra sistemin genel görünümü