

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

**DAĞITIK ÜRETİMLİ ŞEBEKELERDE ADALAŞMA TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fedai ZORLU**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı**

**TEMMUZ 2023**



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

**DAĞITIK ÜRETİMLİ ŞEBEKELERDE ADALAŞMA TESPİTİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Fedai ZORLU**

**Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Elektrik Mühendisliği Bilim Dalı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU**

**TEMMUZ 2023**



Fedai ZORLU tarafından hazırlanan “Dağıtık Üretimli Şebekelerde Adalaşma Tespiti” adlı tez çalışması 14.07.2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

### **Tez Jürisi**

**Jüri Başkanı :** **Prof. Dr. Cenk YAVUZ** .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** **Prof. Dr. Ertan YANIKOĞLU** (Danışman) .....  
Sakarya Üniversitesi

**Jüri Üyesi :** **Dr. Öğr. Üyesi Ersagun Kürşat YAYLACI** .....  
Karabük Üniversitesi



## **ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ**

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

14/07/2023

Fedai ZORLU





*Sevgili kızım Gülce Betül'e ithafen*



## **TEŞEKKÜR**

Tez çalıŐmalarımın tamamlanabilmesi, benim için çok değerli birkaç kiŐinin ilgileri, destek ve katkılarıyla mümkün olabilmiŐtir. Öncelikle çalıŐmalarımın tamamlanabilmesi için katkılarından dolayı Yüksek Elektrik Elektronik Mühendisi Fatih Abanoz'a, yüksek lisans eğitimim dahil tüm eğitim hayatımda boyunca beni teŐvik eden babam Keramettin Zorlu'ya, yüksek lisans öğrenimim süresince, desteğini hiçbir zaman benden esirgemeyen, sınırsız sabrı ve hoŐgörüsüyle, sürekli eğiten, öğreten ve yönlendiren danıŐmanım Sayın Prof. Dr. Ertan YANIKOğLU'na teŐekkürlerimi sunarım.

Fedai ZORLU



## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

<b>ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ</b> .....	<b>v</b>
<b>TEŞEKKÜR</b> .....	<b>ix</b>
<b>İÇİNDEKİLER</b> .....	<b>xi</b>
<b>KISALTMALAR</b> .....	<b>xiii</b>
<b>SİMGELER</b> .....	<b>xv</b>
<b>TABLO LİSTESİ</b> .....	<b>xvii</b>
<b>ŞEKİL LİSTESİ</b> .....	<b>xix</b>
<b>ÖZET</b> .....	<b>xix</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>xxiii</b>
<b>1. GİRİŞ</b> .....	<b>1</b>
1.1. Dağıtık Üretim .....	1
1.2. Dağıtık Üretim Çeşitleri .....	2
1.3. Dağıtık Üretimin Sağladığı Faydalar .....	5
1.4. Dağıtık Üretimde Teknik Zorluklar .....	7
1.5. Adalaşma .....	9
1.6. Dağıtık Üretim için Adalaşma Koruması .....	10
<b>2. ADALAŞMA TESPİT YÖNTEMLERİ</b> .....	<b>11</b>
2.1. Endirekt Teknikler .....	11
2.1.1. Güç hattı sinyalizasyon şeması yöntemi .....	111
2.1.2. Transfer açma şeması yöntemi .....	133
2.2. Bölgesel (Lokal) Teknik ve Yöntemler .....	144
2.2.1. Pasif algılama yöntemleri .....	144
2.2.1.1. Çıkış gücündeki değişim oranı .....	155
2.2.1.2. Frekansın değişim oranı .....	155
2.2.1.3. Frekansın güç üzerinde ki değişim oranı .....	166
2.2.1.4. Gerilim dengesizliği .....	166
2.2.1.5. Harmonik bozulma .....	166
2.2.2. Aktif algılama yöntemleri .....	166
2.2.2.1. Reaktif güç verme hatası tespiti .....	166
2.2.2.2. Faz (veya frekans) kaydırma yöntemleri .....	177
2.2.3. Hibrit algılama yöntemleri .....	177
2.2.3.1. Pozitif geri besleme ve gerilim dengesizliğine dayalı teknik .....	177
2.2.3.2. Gerilim ve reaktif güç kaymasına dayalı teknik .....	18
<b>3. ADALAŞMA TESPİTİNDE KULLANILAN RÖLELER</b> .....	<b>19</b>
3.1. ROCOF Rölesi .....	19
3.2. Vektör Dalgalanma Rölesi .....	200
<b>4. SİSTEM ÇALIŞMASI ve SİMÜLASYON ÇIKTILARI</b> .....	<b>233</b>
4.1. Çalışma Motivasyonu .....	233
4.2. Sistem Modeli .....	233
4.3. İncelenen Senaryolar .....	27
4.4. Simülasyon Sonuçları .....	27

4.4.1. CB8 kesicisinin açma durumu.....	29
4.4.2. Şebeke gerilimin değişim durumu.....	333
<b>5. TARTIŞMA ve SONUÇ.....</b>	<b>39</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>41</b>

## KISALTMALAR

<b>ABD</b>	: Amerika Birleşik Devletleri
<b>DÜ</b>	: Dağıtık Üretim
<b>DC</b>	: Direct Current
<b>kVA</b>	: Kilovolt amper
<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>CO<sub>2</sub></b>	: Karbondioksit
<b>kV</b>	: Kilovolt
<b>SCADA</b>	: Supervisory Control and Data Acquisition
<b>DÜJ</b>	: Dağıtık Üretim Jenaratörü
<b>PGB</b>	: Pozitif Geri Besleme
<b>GD</b>	: Gerilim Dengesizliği
<b>Hz</b>	: Hertz
<b>IEC</b>	: International Electrotechnical Commission
<b>IEEE</b>	: Institute of Electrical and Electronics Engineers
<b>ROCOF</b>	: Rate of change of frequency
<b>MW</b>	: Megawatt
<b>MVA<sub>r</sub></b>	: Mega Volt Amper Reaktif
<b>MVA</b>	: Mega Volt Amper
<b>m</b>	: metre
<b>H</b>	: Atalet momenti
<b>G</b>	: Nominal üretim kapasitesi
<b>P<sub>mek</sub></b>	: Mekaniksel Güç
<b>P<sub>elk</sub></b>	: Elektriksel Güç
<b>ANSI</b>	: Amerikan Ulusal Standartlar Enstitüsü
<b>m/s</b>	: metre / saniye
<b>P<sub>sys</sub></b>	: Kayıp Şebeke Gücü
<b>HES</b>	: Hidroelektrik Santrali
<b>RES</b>	: Rüzgar Enerji Santrali
<b>GES</b>	: Güneş Enerji Santrali





## SİMGELER

<b>pu</b>	: per-unit
<b>R</b>	: Direnç
<b>X<sub>C</sub></b>	: Kapasitif reaktans
<b>X<sub>L</sub></b>	: Endüktif reaktans
<b>Z</b>	: Empedans
<b>ω</b>	: Açısal frekans
<b>C</b>	: Kondansatör
<b>L</b>	: Yük
<b>I</b>	: Akım
<b>E<sub>I</sub></b>	: İç Gerilim
<b>f</b>	: frekans
<b>t</b>	: zaman



## TABLO LİSTESİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
<b>Tablo 1.1.</b> Dağıtık üretimdeki teknik zorluklar .....	8
<b>Tablo 4.1.</b> Sistem parametreleri.....	26



## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Dağıtılmış üretim teknolojileri .....	3
Şekil 1.2. Adalaşma .....	9
Şekil 2.1. Adalaşma tespit teknikleri .....	11
Şekil 2.2. Dağıtık üretimde güç hattı sinyalizasyon şeması.....	12
Şekil 2.3. Dağıtık üretimde çoklu güç hattı sinyalizasyon şeması.....	13
Şekil 2.4. Dağıtık üretimde çoklu güç hattı sinyalizasyon şeması.....	14
Şekil 3.1.Şebeke ile paralel çalışan ROCOF rölesi entegre edilmiş senkron jeneratörün eşdeğer devresi.....	20
Şekil 3.2. Şebeke ile paralel çalışan vektör dalgalanma rölesi entegre edilmiş senkron jeneratörün eşdeğer devresi.....	20
Şekil 3.3. Dahili ve terminal gerilim fazörleri .....	21
Şekil 3.4.Vektör dalgalanma rölesi kesici ile kesicinin açık ve kapalı halinin karşılatırılması.....	22
Şekil 3.5. Vektör dalgalanma grafiği .....	22
Şekil 4.1. Kullanılan sistem modelinin tek hat diyagramı .....	24
Şekil 4.2. Sub2A-N tek hat görünümü.....	25
Şekil 4.3. Sub3 tek hat görünümü.....	25
Şekil 4.4. DC sistem tek hat görünümü .....	26
Şekil 4.5. Rüzgar türbini hatve kontrol değerleri.....	28
Şekil 4.6. CB8 açtığı durumda Sub3 bara gerilim grafiği .....	30
Şekil 4.7. CB8 açtığı durumda Sub3 bara frekans grafiği .....	30
Şekil 4.8. CB8 açtığı durumda rüzgar türbini hatve açısı grafiği .....	32
Şekil 4.9. CB8 açtığı durumda rüzgar türbini mekanik güç grafiği.....	32
Şekil 4.10. CB8 açtığı durumda rüzgar türbini elektriksel güç grafiği.....	33
Şekil 4.11. CB8 açtığı durumda rüzgar türbini reaktif güç grafiği .....	33
Şekil 4.12. Şebeke gerilimi değiştiği durumda Sub3 gerilim grafiği.....	34
Şekil 4.13. Şebeke gerilimi değiştiği durumda Sub3 frekans grafiği .....	34
Şekil 4.14. Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini hatve açısı grafiği.....	35
Şekil 4.15. Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini mekanik güç grafiği ..	36
Şekil 4.16. Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini reaktif güç grafiği .....	36
Şekil 4.17. Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini elektriksel güç grafiği	37



## DAĞITIK ÜRETİMLİ ŞEBEKELERDE ADALAŞMA TESPİTİ

### ÖZET

Yakıt hücreleri, rüzgar türbinleri, fotovoltaik enerji gibi yeni teknolojilerdeki ilerlemeler ile birlikte güç elektroniğindeki yenilikler, müşterilerin daha iyi güç kalitesi ve güvenilirlik için talepleri, enerji endüstrisini dağıtık tesisler için değiştirmeye zorlamaktadır. Dolayısıyla dağıtık üretim (DÜ) son zamanlarda piyasa deregülasyonları ve çevresel kaygılar nedeniyle enerji endüstrisinde büyük bir ivme kazanmıştır. Dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye entegrasyonu bazı teknik zorluklar oluşturmaktadır. Adalaşma bu teknik zorluklardan biridir. Adalaşma, dağıtım sisteminin bir kısmının güç sisteminin geri kalanından elektriksel olarak ayrıldığı durumda oluşmak ile birlikte aynı zamanda dağıtık jeneratörler tarafından sistemin geri kalan kısmına enerji verilmeye devam etmesi ile meydana gelir. Bir dağıtık jeneratörü güç dağıtılmış sisteme bağlamak için önemli bir gereklilik, dağıtık üretim sisteminin ada tespitini algılama yeteneğidir. Ada durumunda jeneratörlerin devreye girmemesi, jeneratörler ve bağlı yükler için bir takım sorunlara yol açabilir. Mevcut endüstri uygulaması, adalaşma durumunun ortaya çıkmasından hemen sonra tüm dağıtık jeneratörlerin bağlantısını kesmektir. Genel olarak, dağıtılmış bir jeneratörün bağlantısı, ana beslemenin kesilmesinden sonra 100 ila 300 ms içinde kesilmelidir. Böyle bir hedefe ulaşmak için, her dağıtık üretim kaynağının, vektör dalgalanma rölesi ve frekans değişim oranı rölesi gibi ada oluşturma önleyici cihazlar olarak da adlandırılan bir ada tespit cihazı ile kullanılmalıdır. Bu rölelerin dışında adalaşmayı tespit etmek için bazı yöntem ve teknikler bulunmaktadır. Bu yöntemler bölgesel ve endirekt teknikler olarak iki başlık altında toplanmaktadır.

Bu çalışmada, ETAP programının ANSI standartına göre hazırlanmış örnek devresi üzerinden analiz çıktıları elde edilmiştir. 2.5 MW gücündeki rüzgar türbininin entegre edildiği durumda oluşan bir sistem vaka çalışması ele alınmış ve ada durumunda rüzgar türbininin bağlı olduğu baranın frekans ve gerilim değerlerine bakılarak ada durumunun tespiti konusunda sonuçlara varılmıştır. Ada durumunda rüzgar türbininin hatve açısı, aktif güç, reaktif güç ve mekanik güç değerlerinde değişim kullanılarak ada tespiti konusunda çalışmalar yapılmıştır.

Yapılan incelemeler; normal çalışma, ani yük değişimi, rüzgar türbininin şebekeden kopma durumu gibi ada oluşturma ve olası ada dışı koşullar üzerinde test edilmiştir. Güç dağıtım şebekesinde ada durumunda oluşan durum tespitinde frekans, gerilim ve rüzgar türbininin hatve açısı, mekanik güç, aktif güç ve reaktif güç üzerindeki etkileri üzerinden elde edilen veriler ile sonuca ulaşılmıştır.





## **ISLANDING DETECTION IN DISTRIBUTED GENERATION**

### **SUMMARY**

The integration of renewable energy sources into the electricity transmission and distribution system is increasing. As a result of identifying the problems that will occur in this system integration at the design stage and proceeding with the appropriate engineering approach; the need for backup of renewable energy with conventional generation systems will be reduced and the complex structure that may occur as a result of integration will be overcome. This thesis is an investigation of the problems between a distributed generation facility and the non-DG part of the grid to which it is connected. The problem can be defined as islanding in power systems.

Advances in new technologies such as fuel cells, wind turbines, photovoltaic energy, innovations in power electronics, customer demands for better power quality and reliability are forcing the power industry to change for distributed generation. Therefore, distributed generation (DG) has recently gained great momentum in the power industry due to market deregulations and environmental concerns. . In today's world where energy sustainability is becoming more important for societies, renewable energy sources have become very important and the number of distributed generation plants is increasing day by day. An important reason for the spread of distributed generation power plants is to eliminate the problem and cost of transporting large power plants as a result of transmission lines where the distance between the end consumer is quite high. With the widespread use of distributed generation power plants, the problems experienced in transmission lines and the construction cost of new lines are significantly reduced. Thanks to distributed generation power plants, the power to be sent to the electricity grid during the planning process is reduced and the need for energy transmission lines is eliminated. DG can be designed in line with the load demand of the end consumer. Since it is not high-powered, it provides convenience in terms of plant construction time and the region where the plant will be built. Thanks to its modular design, it can be installed in the desired area. Since it has the flexibility to operate independently from each other, the capacity can be increased in case of an increase in load demand.

The addition of DG to the existing electrical power distribution system may lead to a decrease in the protection reliability, system stability and quality of the power supplied to customers. The integration of distributed generation resources into the grid poses some technical challenges. One of the most important of these is islanding. Islanding is a situation that occurs when the DG system is disconnected from the main distribution network to which it is connected and continues to supply a distribution region. As a result of incorrect operations by the system operators or possible short circuit or malfunction in the distribution network, islanding may occur in a certain region. Islanding occurs when a part of the distribution system is electrically separated from the rest of the power system, while at the same time the rest of the system continues to be energised by distributed generators. An important requirement for connecting a distributed generator to a power distributed system is

the ability of the DG to detect islanding. Failure of generators to switch on in an islanding situation can lead to a number of problems for generators and connected loads. Islanding is generally considered undesirable due to potential damage to existing equipment, grid problems, reduced power reliability and power quality. Current industry practice is to disconnect all distributed generators immediately after the occurrence of an islanding condition. In general, a distributed generator should be disconnected within 100 to 300 ms after disconnection of the main supply. In order to achieve such a goal, each distributed generation source should be equipped with an islanding detection device, also called islanding prevention devices, such as vector surge relay and ROCOF relay.

Apart from these relays, there are some methods and techniques to detect islandisation. These methods are categorised under two headings as local and indirect techniques. The basic philosophy of fairness detection is to monitor the output parameters of the DG and the system parameters and/or to determine whether the fairness situation occurs from the changes in these parameters. Although localised techniques are more reliable than indirect techniques, this method is not economical in terms of application. The regional techniques and methods used for islanding are mainly based on the measurement of system parameters such as voltage, frequency, etc. at the DC site. It is also analysed under two main headings as passive detection techniques and methods and active detection techniques and methods. Passive techniques use the information available on the DG side to determine whether the DG system is isolated from the grid. Passive methods are based on the principle of measuring system parameters such as voltage, frequency, harmonic distortion, etc. These parameters change drastically in the case of islanding. The difference between the islanding state and the grid connected state is due to the difference between the threshold values of the parameters and the current state. In the islanding state, special care must be taken when setting the threshold value to distinguish it from other interference in the system. The advantage of passive techniques is that the application has no influence on the normal operation of the DG system. Active techniques initiate an external perturbation at the output of the inverter. They tend to respond faster and have a smaller undetected region compared to passive approaches.

The system modelled in this study is an example system model prepared according to the ANSI standard in ETAP software. The wind turbine has a type 3 doubly fed inductive generator and the operating mode is selected as voltage control in the ETAP programme. In the study, a 2.5 MW wind turbine integrated system is considered and the frequency and voltage values of the busbar to which the wind turbine is connected in case of islanding are analysed and conclusions are drawn about the detection of the islanding situation. In case of islanding, studies on islanding detection were carried out by using the changes in the pitch angle, active power, reactive power and mechanical power values of the wind turbine.

The analyses were tested on islanding and possible off-island situations such as normal operation, sudden load change, disconnection of the wind turbine from the grid, and the results were reached with the data obtained through the effects of the wind turbine on frequency, voltage and pitch angle, mechanical power, active power and reactive power in the detection of islanding in the power distribution network.

As a result of the analysis outputs, it is seen that voltage or frequency parameters alone will not be sufficient for islanding detection. Voltage is a parameter used for islanding detection. The operation of the wind turbine in type 3 voltage control mode prevented the voltage drop in case of islanding. The fact that the wind turbine is selected as type 3 2.5 MW has been seen to have an improving effect on the system to which it is connected. With this study, the responses of wind turbines in the islanding situation have been clearly seen. The responses of the wind turbine in the islanding situation enable the determination of improvement opportunities for wind turbine manufacturers.



## 1. GİRİŞ

Son yıllarda elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın dünyada ve ülkemizde artması ile yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik hızlanmıştır. Elektrik enerjisine duyulan ihtiyacın artmasıyla paralel olarak yenilebilir enerji kaynaklarının güç sistemlerindeki sayısı oldukça görünür hale gelmiştir.

Elektrik iletim ve elektrik dağıtım sistemine yenilebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu artmaktadır. Bu sistem entegrasyonunda oluşacak problemlerin tasarım aşamasında belirlenmesi ve uygun mühendislik yaklaşımıyla ilerlemesi sonucu; yenilenebilir enerjinin, klasik üretim sistemleri ile yedeklenme ihtiyacı azalacak ve entegrasyon sonucu oluşabilecek karmaşık yapının üstesinden gelinmiş olunacaktır.

Bu tez, dağıtılmış bir üretim tesisi ile bağlı olduğu şebekenin dağıtık üretim tesisinden harici kısmı ile arasında yaşanacak sorunların bir incelemesi niteliğindedir. Problem, güç sistemlerinde ada tespiti olarak tanımlanabilir.

### 1.1. Dağıtık Üretim

DÜ farklı şekillerde isimlendirilebilmektedir. Bunlar; dağıtılmış, gömülü ve katıştırılmış üretimdir. DÜ, dağıtım şebekelerine bağlanmış üretim kaynaklarını genel olarak tanımlanmasında kullanılmakta, iletim hatları seviyesinde bağlanan üretim birimlerini ifade etmek için kullanılmamaktadır.

Dağıtık üretim kapsamına, rüzgar türbinleri, fotovoltaikler, yakıt pilleri, mikrotürbinler, klasik dizel ve doğalgaz generatörleri, gaz ateşlemeli türbinler ve enerji depolama teknolojileri girmektedir [1].

Dağıtık üretimin günümüzde daha çok kullanımı doğalgaz çevrim santrallerinde görülmektedir. Doğalgaz çevrim santralleri genel olarak endüstriyel amaçlar doğrultusunda elektrik üretimi ve meydana gelen ısının kullanılması amacı ile tasarlanmaktadır.

Karbon kaynaklı yakıtların sınırlı olması sonucunda sürdürülebilir ve doğal enerji kaynakları üzerine yapılan çalışmalar artmıştır. Böylece yenilenebilir enerji kaynaklarının önemi son yıllarda hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji yeryüzünde var olan kaynakları ifade etmek ile birlikte sonsuz bir nitelik taşımaktadır. Enerji sürdürülebilirliğinin toplumlar açısından önemi günümüzde artmaktadır. Böylece dağıtık üretim santrallerinin sayısı her geçen gün artmaktadır. Dağıtık üretim santrallerinin yaygınlaşmasının önemli bir sebebi ise büyük enerji santralleri ile son tüketici arasındaki mesafenin oldukça fazla olduğu iletim hatlarının sorun ve maliyetini ortadan kaldırmaktır. Dağıtık üretim santrallerinin yaygınlaşması ile birlikte iletim hatlarında yaşanan sorun ve yeni hatların kurulum maliyeti önemli ölçüde azalmaktadır.

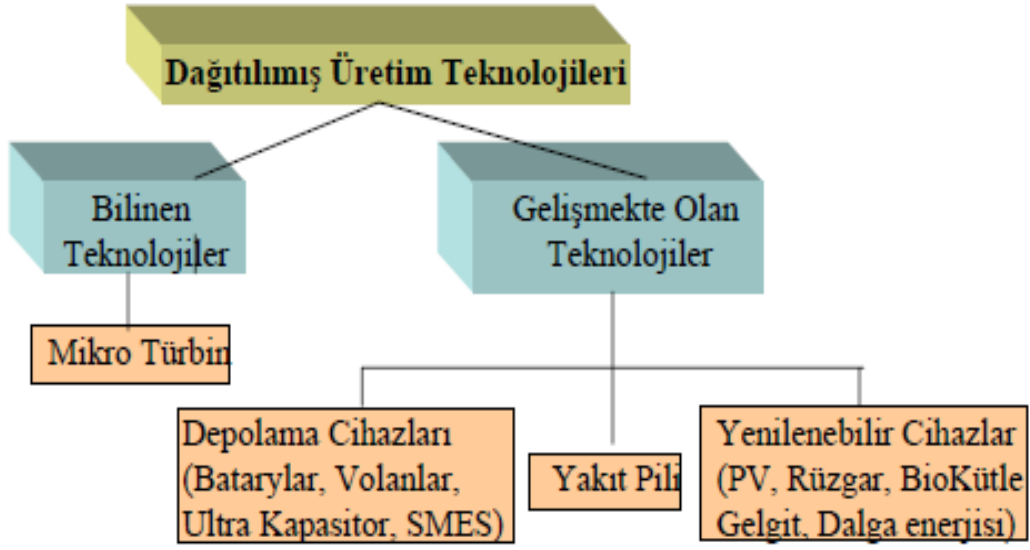
## **1.2. Dağıtık Üretim Çeşitleri**

Dağıtık üretim iki ana başlık altında toplanır. Bunlar; yenilenebilir enerji kaynakları ile hidrokarbon içeren doğal enerji kaynaklarıdır. Dağıtık üretimde hidrokarbon yakıtların kullanılması sonucu oluşan teknolojiler; doğalgaz çevrim santralleri, yakıt pilleri ve kojenerasyon sistemleridir. Sürdürülebilir doğal kaynaklardan oluşan yenilenebilir enerji kaynaklarının dağıtık üretimde şu şekilde sıralanabilir; RES, HES, GES, jeotermal santraller ve biyokütle enerji santralleridir. DÜ’de kullanılan jeneratörler üç temel sınıfa ayrılır. Bunlar; indüksiyon, senkron ve asenkronur. Asenkron jeneratörler, harici uyarma gerektirir ve normal bir indüksiyon motoru gibi çalışmaya başlar. Senkron makinelerden daha az maliyetlidir ve gücü tipik olarak 500 kVA'dan daha azdır.

Asenkron makineler en yaygın olarak rüzgar enerjisi uygulamalarında kullanılmaktadır. Alternatif olarak, senkron jeneratörler bir DC uyarma akımı gerektirir ve bağlantıdan önce yardımcı programla senkronize edilmesi gerekir. Senkron makineler en yaygın olarak içten yanmalı makinelerde, gaz türbinlerinde ve küçük hidro barajlarda kullanılır. Son olarak, asenkron jeneratörler, inverterler gibi transistör anahtarlamalı sistemlerdir.

DÜ teknolojileri genel olarak iki grup altında toplanır. Mikro türbinler yaygın olarak kullanılan bilinen teknolojilerdendir. Yakıt pilleri, RES, GES, biyokütle enerji santralleri ve depolama cihazları mikro türbinlere göre daha yeni teknolojilerdir.

Bu ayırım Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dağıtılmış üretim teknolojileri.

- Mikro türbinler

Çalışma felsefesi olarak bir jeneratör ile bu jeneratörün güç ihtiyacını karşılayan bir türbinden oluşan sistemlerdir. Bu türbin genel olarak hidrokarbon yakıtlar ile su veya artık gazları kullanılarak çalışan düşük kapasitedeki yanma türbinleridir. Mikro türbinler elektrik enerjisi üretimi yanında ısıtma ve soğutma gibi amaçlarla da kullanılabilir. Isıtma için kullanılması kojenarasyon, soğutma için kullanılması ise trijenerasyon olarak adlandırılır. Boyutlarının küçük olması, kurulum yeri açısından avantaj ve esneklik sağlar. Düşük emisyon ve verim açısından yüksektir. Devreye alma ve bakım maliyeti konusunda avantajlıdır.

- Yakıt Pilleri

Kimyasal enerjinin elektrokimyasal işlemler sonrasında elektrik ve ısı enerjisi üretmesi için kullanılan bir teknolojidir. Enerji verimliliği %60 seviyesindedir. Yakıt pillerinin önemli bir özelliği karbon emisyon oranının yok denecek kadar az olmasıdır. Elektrik ve ısı üretimi için de kullanılabilir. Çıkış gerilimi güç dönüştürücü üzerinden bağlı oluşturulmuş devreler ile kontrol edilir.

- Tükenmez Enerji Kaynakları

Yenilebilir enerji kaynakları; RES, GES, HES, jeotermal enerji santralleri, biyokütle enerji santralleri olarak tanımlanabilir. Elektrik şebekesinde yüklere yani son

kullanıcıya yakın bölgelerde küçük güç seviyelerinde kurulabilen RES ve GES'ler çevreye zarar vermeyen değişken bir enerji yapısında olacaktır. RES genel olarak %30'luk bir verim ile çalışırken GES çalışma verimi %15 dolaylarındadır. RES ve GES'lerin şebekeye enjekte edilebilmesi için güç elektroniği tabanlı çeviricilere gereksinim vardır.

Rüzgar enerjisi çok uzun bir süredir kullanılmakta olup rüzgarın mekanik gücünden elektrik enerjisi üretimi şeklinde basit olarak tarif edilebilir. Rüzgarın, türbinin kanatlarını ve kanatlarında jeneratörün milini döndürmesi sonucu enerji üretilir.

Elektriksel güç rüzgar hızı ile doğru orantılıdır. Rüzgarın elektrik enerjisine dönüşümü açısından rüzgar türbinin kanatlarının hızının kontrolü ile sabit bir hız ile sabit bir alternatif akım frekansında elektrik enerjisine dönüşüm sağlanır. Diğer bir husus ise rüzgar hızının bağımsız bir değişken olduğu durumdur. Asenkron jeneratörler milin dönmesi sonucu elektrik enerjisi üretir, bu durumda çalışan RES'lerin şebekeye entegrasyonunda frekans dönüştürücüler kullanılmalıdır.

GES'leri yarı iletken maddelerden yapılmış fotovoltaik panellerin güneşten gelen ışınlar ile doğrudan temas etmesi ile elektrik enerjisine dönüşümünü sağlayan sistemlerdir.

Güneş panelleri iki yada daha fazla yarı iletken malzeme kullanılarak üretilmektedir. Bu panellerin güneş ışığı ile doğrudan temas etmesi ile güneş paneli ışığı emen ardından yarı iletken malzemenin elektronlarında bir uyarılma meydana gelir ve akım taşımak için boş alanlar oluşur böylece elektronların devrede dolaşmasına imkan verecek gerilim meydana gelir.

Bu sistemler güç üretimini artırmak için paralel veya seri bağlı pek çok güneş panelinden oluşmaktadır.

#### - Enerji Depolama Cihazları

Elektrik enerjisinin elektriksel olarak depolanması günümüz teknolojilerinde mümkün olmamakla birlikte alternatif akımın başka bir enerji formuna evrilmesi ile saklama imkanı bulunmuştur. SMES, elektrokimyasal depolanan enerji bataryaları, kinetik enerji olarak depolanan enerji volan ve yük formunda ultra kapasitör olarak depolanma mümkündür. Bu depolama çeşitleri ihtiyaç oranını yüksek olmadığı şartlarda kullanılır. Enerji depolanmasında iki önemli unsur vardır. Bunlar depolanacak enerjinin seviyesi ile enerjinin depolanma sürecindeki hızıdır. Bu



sıralanan depolama yöntemleri yüksek verim, yüksek hız ile dolun ve boşaltma aşamaları gerçekleştirilebilir. Bu sistemler alternatif akım sistemlerine bağlanabilmesi için güç elektroniği tabanlı dönüştürücülere ihtiyaç duyar.

### **1.3. Dağıtık Üretimin Sağladığı Faydalar**

Dağıtık üretim santralleri sayesinde planlama sürecinde elektrik enerji şebekesine gönderilecek güç azalır, enerji iletim hatlarına olan ihtiyaç ortadan kalkar. DÜ'in son tüketicinin yük talebi doğrultusunda tasarımı yapılabilmektedir. Yüksek güçlü olmaması sebebi ile tesis inşa süresi ve tesisin inşa edileceği bölge anlamında kolaylık sağlar. Modüler olarak tasarlanabilmesi sayesinde istenilen bölgeye kurulumu yapılır. Bir birinden bağımsız çalışma esnekliğine sahip olması sebebi ile kapasite yük talebinin artması durumunda arttırılabilir.

DÜ santrallerinin kullanım amaçları;

- Elektrik piyasalarında meydana gelen serbestleştirme politikaları
- Çevresel etkenler
- Enerji güvenilirliği ve güç kalitesi,
- Kojenerasyon
- Enerji üretim giderlerini azaltmak

Dağıtılmış Enerji Sistem Teknolojileri temel olarak;

- Enerji nakil hatları ile trafolarla meydana gelen kayıpları azaltır
- Çevresel faktörlerin tesirini azaltır
- İletim ve dağıtım hatlarındaki karmaşıklığı ortadan kaldırır
- Enerji güvenilirliğini yükseltir
- Güç kalitesini yükseltir
- Alternatif olarak enerji üretimi sağlar

DÜ detaylı olarak analiz edildiğinde ise aşağıda sıralanan avantajları sağlamaktadır.

– Enerji verimliliği: DÜ ile kayıplar önemli ölçüde azalır. İletim hatlarının uzunluğunun oldukça yüksek olması hat kayıplarına sebebiyet vermektedir. Elektrik

enerjisi üretiminde oluşan ve atık olarak kalan ısı enerjisi, puant güç talebinde oluşan kayıplar DÜ yoktur.

–Kullanılan yakıtların çeşitliliği: DÜ sistemleri enerji çeşitliliği konusunda merkezi üretim sistemlerine göre oldukça avantajlıdır. Merkezi üretim sistemleri hidrokarbon ve nükleer enerji için kullanılan yakıtlara bağımlı olmasına karşın dağıtık üretim hidrokarbon yakıtlara ilave olarak jeotermal, biyokütle, rüzgar, güneş ve doğalgaz gibi çeşitliliğe sahiptir.

–Tüketicilerin fiyat riskine karşı korunması: Elektrik birim fiyatlarının serbest piyasa koşullarında belirlenmesinden dolayı fiyat hareketlerindeki sert değişimlere karşı DÜ sistemlerinin sisteme enjekte edilmesi, yük talebini kendi karşılayan tüketicilerin açısından fiyat dalgalanmasındaki riskleri azaltır.

–Esneklik: DÜ sistemleri daha düşük kapasiteli güç üreten sistemler olduğundan ve kurulum süresinin hızlı olmasından dolayı elektrik piyasasında ortaya çıkan fiyat artışlarından yararlanabilirler. Tüketicilerin yükünün artması sonucu puant tüketimin artış göstermesi sebebiyle oluşacak özel elektrik ihtiyacındaki artışın karşılanması, boyutlandırılabilir DÜ sistemleri ile hızlı ve düşük maliyet ile gerçekleştirilebilir. Planlama ve kurulum süreleri uzun seneler sonucu oluşan merkezi güç santrallerindeki ilave risk maliyetleri DÜ sistemlerde yoktur.

– Karbon salımlarının azaltılması: DÜ sistemlerde elektrik üretimi yenilebilir enerji kaynaklarında oldukça düşüktür.

–Bölgesel kalkınma: DÜ sistemleri kuruldukları bölgeye göre yakıt kaynaklarında çeşitlilik göstermek ile birlikte bölgesel yakıtları kullanmaktadır. DÜ sistemlerinin inşaa edildiği bölgelerde yeni iş imkanları oluşmasına vesile olur ve sürdürülebilir kalkınmaya olanak sağlar.

– Sinerji: DÜ sistemleri pek çok alanda sinerji yaratırlar. Güneş enerji sistemlerinin binalarda kullanılması sonucunda geleneksel yapı malzemelerinin yerine güneş panellerine geçerler. Organik atıklardan elektrik üretimi sonucunda ortaya çıkan atık çok değerli bir tarımsal gübredir. Kojenerasyon ile ortaya çıkan ısı enerjisi, ısınma ihtiyacının karşılanmasında; CO<sub>2</sub> ise tarımsal üretimde kullanılabilir.

– Yeni şebeke altayapısına ihtiyaç duyulmaması: Hem gelişmiş ülkelerde hem gelişmekte olan ülkelerde iletim ve dağıtım şebekeleri elektrik talebine karşı yetersiz kalmakta ve yüksek maliyetli yeni yatırımların yapılması gerekmektedir. Dağıtık

elektrik üretimi sayesinde iletim şebekelerinde gerekli olmaktan çıkacak yatırımın büyüklüğü önemli ölçüde azalacaktır. DÜ sistemleri ile birlikte bu maliyetlerin önüne geçilir.

– Arz devamlılığı: Merkezi sistemlerde dağıtım şebekesinde oluşan arızalar, yüksek sayıda tüketicinin etkilenmesine sebebiyet verir. DÜ sistemlerinde ise, sistem arıza durumunda çok daha az sayıda tüketici etkilenir. Ayrıca akıllı şebeke yönetimi sayesinde, sistem arızasında bile diğer sistemlerin yönlendirilerek tüketiciye elektrik enerjisi sağlanması mümkündür.

– Arz güvenliği: Merkezi dağıtım ve iletim sistemlerinin arızalanma olasılıkları, üretim sistemlerine göre daha fazladır. Tüketiciler tarafından ihtiyaç duyulan güvenlik ve güç kalitesini yakalamak, merkezi dağıtım ve iletim sistemlerinde çok yüksek maliyetli yatırımlar gerektirir. Buna karşılık, DÜ sisteminde güvenlik açısından istenen düzeyin sağlanması için düşük maliyetli özel çözümler vardır.

– Sistem genelinde arz ve talebin daha dengeli buluşması: Talep yükünün sayısının çok olduğu ancak buna karşılık arz noktalarının sayısının az olduğu merkezi sistemlere nispeten DÜ sistemlerinde arz noktası sayısı oldukça yüksektir. Bu, talep çeşitliliğinin daha uygun bir şekilde karşılanmasını ve merkezi sistemlere göre daha düşük kapasitede kurulu güce izin verir. Yine akıllı şebeke yönetimi sayesinde, talep noktalarının ihtiyaç duyulduğunda arz noktaları olarak vazife görmeleri mümkündür.

#### **1.4. Dağıtık Üretimde Teknik Zorluklar**

DÜ bir dizi entegrasyon zorluğuyla karşı karşıyadır. Bunlardan en önemlisi ise elektrik dağıtım ve iletim altyapısının tüketicilerden genellikle uzakta olan yüksek güçlü enerji üretim istasyonunun elektrik gücünü çok sayıda küçük tüketiciye ilettiği bir konfigürasyonda tasarlanmış olmasıdır. DÜ sistemleri genellikle düşük voltaj dağıtım sistemine yerel olarak entegre edilen daha küçük sistemlerdir.

Mevcut elektrik güç dağıtım sistemine DÜ'nin eklenmesi, müşterilere sağlanan gücün koruma güvenilirliği, sistem kararlılığı ve kalitesinde bir azalmaya yol açabilir.

Bağlı DÜ miktarına ve şebeke güç sisteminin gücüne bağlı olarak, Tablo 1.1'de özetlenen sorunlar önemli sorunlara dönüşebilir [2].

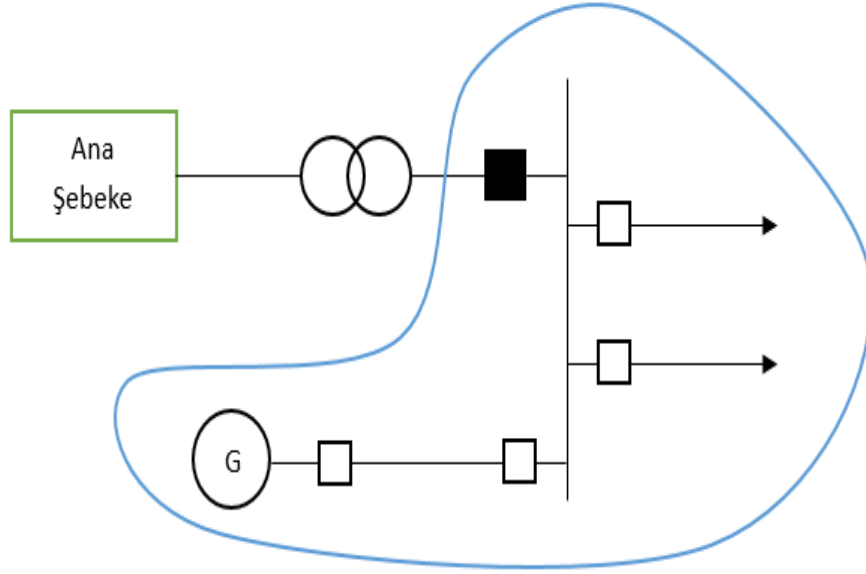
**Tablo 1.1.** Dağıtık üretimdeki teknik zorluklar.

<b>Dağıtık Üretiminde Teknik Zorluklar</b>
1. Gerilim Regülasyonu ve Kayıplar
2. Gerilim Salınımlar
3. Arızalar Sırasında Dağıtık Jenarator Mili Aşırı Tork
4. Harmonik Kontrol ve Harmonik Enjeksiyon
5. Artan Kısa Devre Seviyeleri
6. Topraklama ve Trafo Arayüzü
7. Geçici Kararlılık
8. Mevcut Koruma Planlarının Hassasiyeti
9. Adalaşma

## 1.5. Adalaşma

Adalaşma, DÜ sisteminin bağlı olduğu ana dağıtım şebekesinden kopması sonucunda bir dağıtım bölgesini beslemeye devam etmesi sonucu meydana gelen durumdur. DÜ sistemlerinin entegre olduğu şebekelerde oluşacak risklerden biri de adalaşma durumudur. Sistem operatörleri tarafından yapılacak hatalı işlemler veya dağıtım şebekesinde meydana gelebilecek olası kısa devre veya arıza sonucunda belirli bir bölgeyi kapsayacak şekilde adalaşma durumu meydana gelebilmektedir. Ada durumu yalnızca DÜ sistemlerinin kendi uyarımına sahip olduğu ve ada durumu oluşan bölgedeki yükü karşılayabildiği durumlarda oluşmaktadır.

DÜ sisteminin ada durumunda çalışması normal koşullarda istenen bir durum değildir. Ada durumunda güç kalitesinde yaşanacak bozulmalar sorunlara sebebiyet vermektedir. Tek bir kaynağa bağlı kalındığı durumda gerilim ve frekans kontrolü de zorlaşmaktadır. Ada durumunun oluştuğu şebekenin yapısı şekil 1.2’de verilmiştir.



şekil 1.2. Adalaşma.

Enterkonnekte bir şebekeye bağlanmış sisteminin işaretli bölgesi şebekeden ayrılması ile bir güç adası oluşturmuştur.

Ada durumunun oluşmasının ardından işletme topraklamasının yapıldığı ana şebekenin devreden çıkması sonucunda bir faz-toprak kısa devre arızası yaşanma olasılığı vardır. Bu arıza yaşanma durumunda ise arıza olmayan fazlar aşırı gerilim ile yüklenecektir ve bu durum yalıtım problemleri oluşturabileceğinden ekipman ve

can güvelliği açısından risk oluşturur. DÜ sistemlerinin tasarım aşamasında adalaşma durumunu önlemek için uygun koruma düzenekleri düşünülerek mühendislik çalışması yapılmalıdır.

Bir dağıtım şebekesinde DÜ sisteminin ada durumuna geçmesi ve işletilmeye devam etmesi de mümkündür. Bu seneryonun gerçekleşmesi için DÜ sisteminin bağlı olduğu bölgedeki talep gücün tamamını karşılayabilmesi, gerilim regülasyonunun istenildiği şekilde yapabilmesi ile doğru işletme topklama sistemine sahip olması gerekir. Ada durumunun ortadan kalktığı ve ana şebekeye bağlanıldığı durumda ilgili kesicinin kapıtılabilmesi için adalaşan bölge ile şebekenin senkron çalışabilmesi gerekmektedir. Enerji üretiminin kritik olduğu endüstriyel yapılarda uygulanan bu sistem aynı zamanda dağıtım şebeklerinde de uygulanması mümkündür.

### **1.6. Dağıtık Üretim için Adalaşma Koruması**

Dağıtık üretim, dağıtılmış, gömülü ya da katıştırılmış üretim olarak da isimlendirilmektedir. Dağıtık üretim, genelde dağıtım şebekelerine entegre edilen üretimi ifade etmekte olup, iletim seviyesinden bağlanan üretim birimlerini ifade etmemektedir [3].

Adalaşma olgusu veya güç adaları, bir dağıtım ağı bölgesi veya alanı sağlandığında, dağıtılmış üretim içeren güç dağıtım ağlarında var olan bir elektrik durumudur.

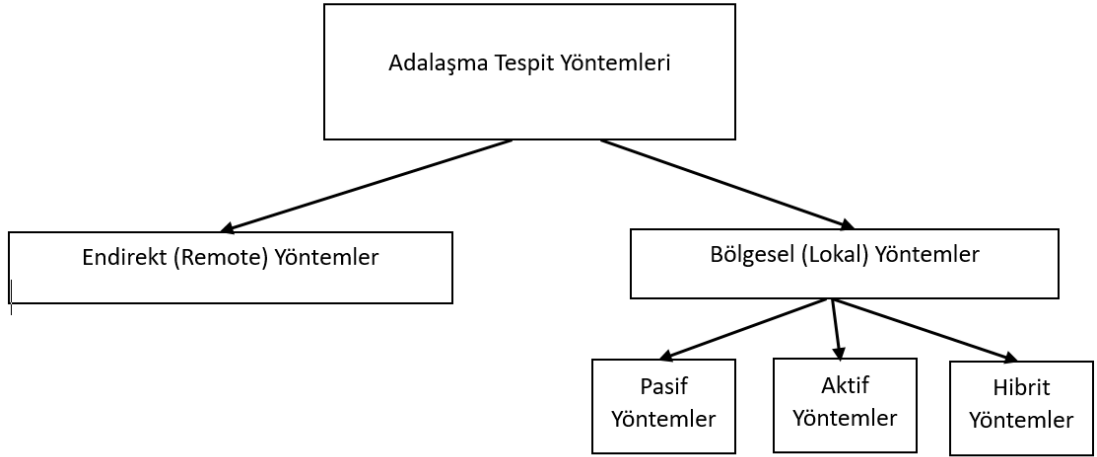
Hem elektrik şebekesi tarafından hemde DÜ herhangi bir nedenle şebeke beslemesinden izole edilir. Böylece DÜ üniteleri izole bölümde sunulan yükün bir kısmını veya tamamını enerjilendirmeye devam eder. Bu, dağıtım sisteminin ada oluşan alanda arz üzerindeki kontrolünü kaybettiğini gösterir. Arz kalitesi ve arz istikrarı bozulmuştur.

Bu tez, 25 kV ve daha düşük güç dağıtım sistemlerini ele alarak, DÜ sistemlerin korunması için yeni bir adalaşma tespit yöntemi sunmaktadır. Geleneksel radyal tabanlı koruma metodolojilerinden farklı olarak kademe dışı izleme tekrar kapamaları, DÜ sistemlerinin planlanmamış adalarının tespiti ile empedans röle koruma bölgeleri gibi tipik koruma konfigürasyonlarının yeniden düşünülmesi gerekir. Adalaşma, mevcut ekipmana potansiyel hasar, şebeke sorunları, güç güvenilirliğinin ve güç kalitesinin azalması nedeniyle genellikle istenmeyen bir durum olarak kabul edilir.

## 2. ADALAŞMA TESPİT YÖNTEMLERİ

Adalaşma durumunun tespit edilmesi konusunda ana felsefe, DÜ çıkış parametreleri ve sistem parametrelerinin izlenerek ve bu parametrelerdeki değişikliklerden bir ada durumunun oluşup oluşmadığına karar verilmesidir.

Adalaşma tespit teknikleri, endirekt ve bölgesel teknikler olarak iki ana başlığa ayrılabilir, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi ayrıca endirekt teknikler pasif, aktif ve hibrit teknikler olarak üç başlık altında toplanır.



Şekil 2.1. Adalaşma tespit teknikleri.

### 2.1. Endirekt Teknikler

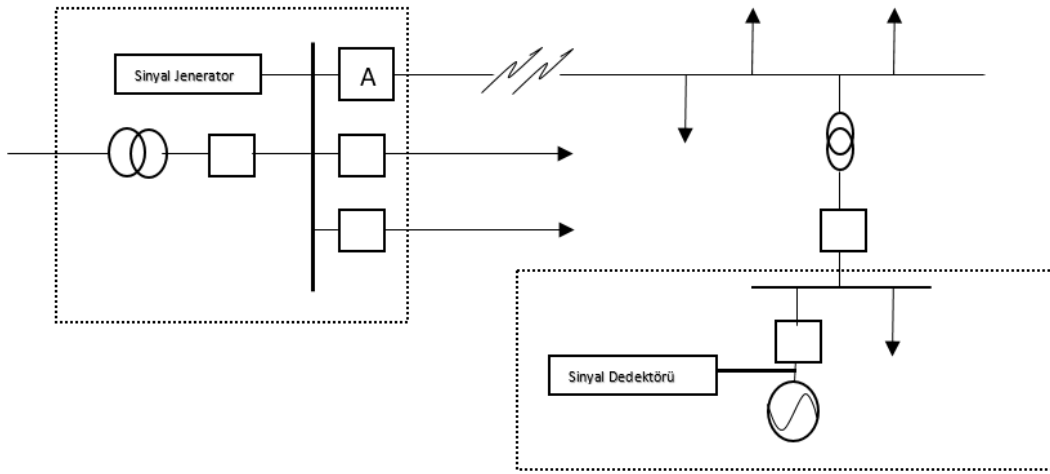
Bu teknik DÜ jeneratörleri ile yardımcı üniteler arasında ki iletişime dayanarak ada durumunu tespit eder.

Bölgesel teknikler; endirekt tekniklere nazaran daha güvenli bir yöntem olmasına karşın bu yöntem uygulama açısından ekonomik değildir.

#### 2.1.1. Güç hattı sinyalizasyon şeması yöntemi

Bu yöntem, güç hatlarında adalaşma bilgisini iletmek için güç hattını bir sinyal taşıyıcısı olarak kullanır. Aparat, Şekil 2.2'de gösterildiği gibi sürekli olarak bir

sinyal yayınladığı ağı bağlı trafo merkezinde bir sinyal oluşturucu içerir. Bir güç sisteminin düşük geçişli filtre yapısı nedeniyle, sinyallerin temel frekansın yakınında veya altında iletilmesi ve otomatik sayaç okuma gibi diğer taşıyıcı teknolojilerle karıştırılmaması gerekir. Her DÜ daha sonra iletilen bu sinyali almak için bir sinyal dedektörü ile donatılır. Normal çalışma koşulları altında, sinyal şu tarafça alınır. DÜ ve sistem bağlı kalır. Ancak, bir adalaşma oluşursa, trafo merkezi kesicisinin açılması nedeniyle iletilen sinyal kesilir ve sinyal DÜ tarafından alınamaz. Bu bir ada durumunu gösterir.

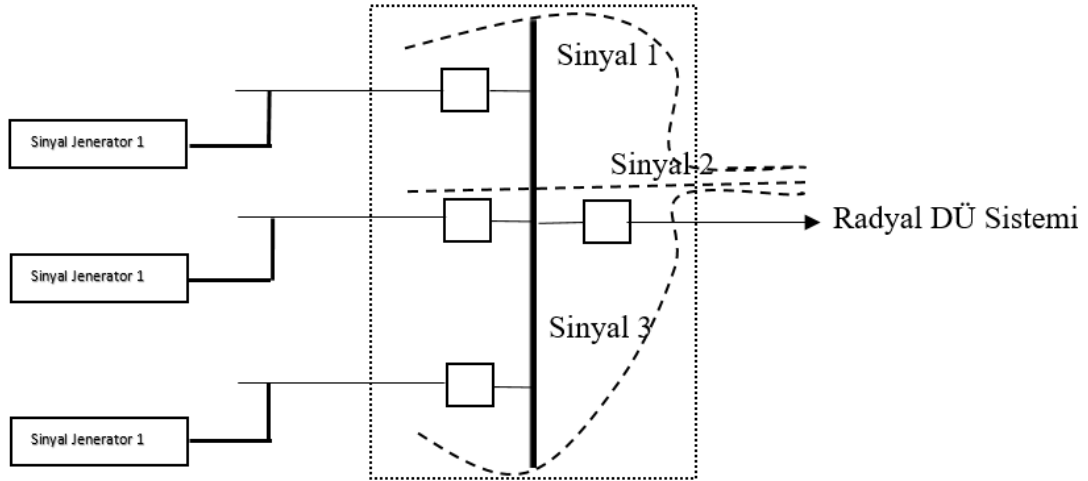


**Şekil 2.2.** Dağıtık üretimde güç hattı sinyalizasyon şeması.

Bu yöntem, kontrol basitliği ve güvenilirliği gibi avantajlara sahiptir. Bir radyal sistemde, ağdaki birçok DÜ'e sürekli olarak bir sinyal iletebilen tek bir verici jeneratör gereklidir. Sinyalin alınmadığı tek durum, ara bağlantı kesicinin açılmış olması durumu veya iletilen sinyali bozan bir hat arızası olmasıdır.

Bu yöntemin birkaç önemli dezavantajı da vardır. Birincisi pratik uygulamadır. Cihazı bir trafo merkezine bağlamak için, yüksek gerilimden alçak gerilime kuplaj trafosu gereklidir. Buda DÜ tesisinin kurulum maliyetlerinde artışa sebebiyet verir. Diğer bir dezavantaj ise, sinyalizasyon yönteminin radyal olmayan bir sistemde uygulanması ve bunun birden çok sinyal üreticisinin kullanılmasıyla sonuçlanmasıdır. Bu senaryo, üç besleyici veri yolunun bir ada veriyoluna bağlandığı Şekil 2.3'te görülebilir. Basit bir radyal sistemin aksine bu sistemin uygulanması, maliyetin üç katına kadar çıkacaktır.



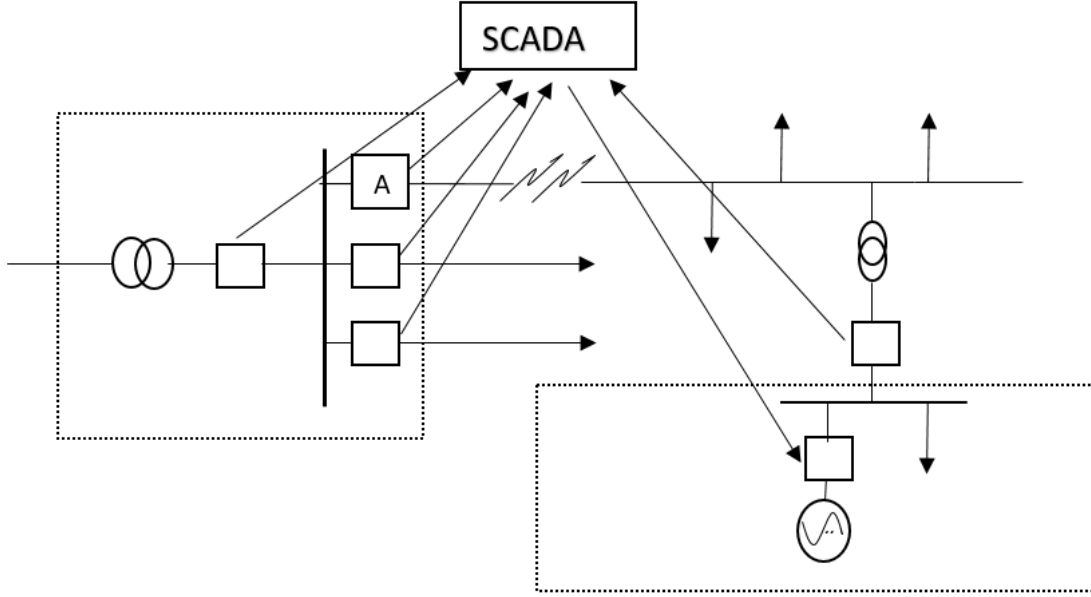


**Şekil 2.3.** Dağıtık üretimde çoklu güç hattı sinyalizasyon şeması.

Güç hattı iletişimi için başka bir sorun, ağı ve etkilenen ağların karmaşıklığıdır. Bir bağlantı kesiciye sahip mükemmel bir radyal ağda sinyalleşmesinin basit bir örneğidir; bununla birlikte, çoklu yardımcı besleyicilere sahip daha karmaşık sistemler, yukarı akış kesiciler arasında ayırım yapmak zorlaşacaktır.

### 2.1.2. Transfer açma şeması yöntemi

Transfer açma şemasının temel olarak yaklaşımı, bir dağıtım sistemindeki aday gösterebilecek tüm devre kesiciler ve ayırıcıları izlemektir. Bunun için Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama (SCADA) sistemleri kullanılabilir. Trafo merkezinde bir kopukluk tespit edildiğinde, transfer açma sistemi hangi alanların adalaşma olduğunu belirler ve DÜJ'lere operasyonda kalmak ya da operasyona devam etmemek için uygun sinyali gönderir. Transfer trip şeması yöntemi, güç hattı sinyalizasyon şemasına benzer şekilde, çok basit bir metotta olmasından dolayı belirgin bir avantaja sahiptir. Birkaç DÜ kaynağına ve sınırlı sayıda kesiciye sahip radyal bir topoloji ile sistem durumu, her izleme noktasından doğrudan DÜJ'ye gönderilebilir. Bu, adalaşma tespiti için kullanılan en yaygın yöntemlerden biridir [4]. Bu, şekil 2.4'te görülebilir.



**Şekil 2.4.** Dağıtık üretimde çoklu güç hattı sinyalizasyon şeması.

Transfer açma sisteminin zayıf yönü, sistem karmaşıklığı arttıkça maliyet artar ve kontrolü zorlaşır. Bir sistemin karmaşıklığı arttıkça, transfer açılış planı güncelliğini yitirebilir ve yer değiştirme veya güncelleme gerektirebilir.

DÜ ağının planlama aşamaları sırasında bu cihazın yeniden yapılandırılması, ağın büyümesinin beklenip beklenmediğini veya çok sayıda DÜ kurulumu olup olmayacağını değerlendirmek için planlanmış olması gereklidir.

Bu sistemin diğer zayıflığı kontroldür. Trafo merkezi DÜ'nin kontrolünü aldığı anda, DÜJ güç üretme yeteneği üzerindeki kontrolünü kaybedebilir. Transfer açma yöntemi basit bir ağda doğru bir şekilde uygulandığında, adalaşma durumunu tespit etmeme olasılığı oldukça düşüktür.

## 2.2. Bölgesel (Lokal) Teknik ve Yöntemler

Adalaşma için kullanılan bölgesel teknik ve yöntemler temel olarak DÜ sahasında voltaj, frekans vb. gibi sistem parametrelerinin ölçülmesi metodlarına dayanır. Ayrıca pasif algılama tekniği, aktif algılama tekniği ve hibrit algılama tekniği olarak üç alt başlıkta incelenir.

### 2.2.1. Pasif algılama yöntemleri

Pasif yöntemler; gerilim, frekans, harmonik bozulma vb. değişimler gibi sistem parametrelerinin ölçülmesi prensibine dayanır. Bu parametreler, adalaşma

durumunda büyük ölçüde değişir. Adalaşma durumu ve şebekeye bağlı durum arasındaki fark, parametrelerin eşik değerleri ile mevcut durum arasında ki farktan kaynaklanır. Adalaşma durumunda sistemdeki diğer bozulmaları ayırt etmek için eşik değeri ayarlanırken özel dikkat gösterilmelidir. Pasif teknikler hızlıdır ve sistemde bozulmaya neden olmazlar. Bu yöntem ile adalaşma durumunu tespit etmekte başarısız olunan bölgeler vardır.

Çeşitli pasif ada tespit teknikleri vardır ve bunlardan bazıları şunlardır:

#### **2.2.1.1. Çıkış gücündeki değişim oranı**

Çıkış gücünün değişim oranı,  $dp/dt$  DÜ tarafı, ada haline getirildiğinde, aynı yük değişimi oranı için DÜ ada haline getirilmeden önceki çıkış gücü değişim oranından çok daha büyük olacaktır [5]. Dağıtık üretimli, dağıtım sisteminde genel olarak dengeli yük yerine dengesiz yük olduğunda bu yöntemin çok daha etkili olduğu görülmüştür.

#### **2.2.1.2. Frekansın değişim oranı**

Frekans değişim oranı,  $df/dt$  DÜ'de adalaşma olduğu durumda frekans değişim oranı çok yüksektir. Frekans değişim oranı denklem 2.1'de verilmiştir. [6].

$$\text{ROCOF}, \frac{df}{dt} = \frac{\Delta P}{2H \times G} \times f \quad (2.1)$$

deltaP: Güç uyuşmazlığı

H: Atalet momenti

G: Nominal üretim kapasitesi

ROCOF rölesi gerilim dalga biçimini izler. Gerilim, ayarlanan gerilim değerinden yüksekse çalışır. Set değeri, rölenin ada durumu için tetikleyeceği ancak yük değişimleri için tetiklemeyecek şekilde seçilmelidir. Bu yöntem, güçte büyük bir uyumsuzluk olduğunda oldukça güvenilirdir. Ancak DÜ'lerin kapasitesi yerel yükler ile eşleşirse çalışmaz. Bununla birlikte, güç algoritmasının değişim oranı ile birlikte bu yöntemin bir avantajı, Yük, DÜ'nin üretimiyle eşleştiğinde çalışmasalar bile, sonraki herhangi bir yerel yük değişikliği, genellikle, adalı sistemdeki yük ve üretim uyuşmazlığının bir sonucu olarak adalamanın algılanmasına yol açar.

### **2.2.1.3. Frekansın güç üzerinde ki değişim oranı**

Küçük bir üretim sistemindeki  $df/dp$ , daha büyük kapasiteli güç sistemininkinden daha büyüktür. Güç üzerinden frekans değişim oranı, ada durumunu belirlemek için bu kavramı kullanır. Dahası, test sonuçları, DÜ ile yerel yükler arasındaki küçük bir güç uyumsuzluğu için, güç üzerinden frekans değişim oranının, frekans oranından çok daha hassas olduğunu göstermiştir[7].

### **2.2.1.4. Gerilim dengesizliği**

Adalaşma gerçekleştiğinde, DÜ'nin ada durumundaki yüklerin değişimini alması gerekir. Yük değişimi büyükse, adalaşma gerilim büyüklüğü, faz kayması ve frekans değişimi parametrelerinin izlenmesiyle kolayca tespit edilir. Ancak, yük değişimi küçükse bu yöntemler etkili olmayabilir. Dağıtım şebekeleri genellikle tek fazlı yükler içerdiğinden, adalaşmanın DÜ'in yük dengesini değiştirmesi kuvvetle muhtemeldir. Ayrıca, DÜ yüklerindeki değişim küçük olsa bile, şebeke durumundaki değişiklik nedeniyle gerilim dengesizliği meydana gelecektir[8].

### **2.2.1.5. Harmonik bozulma**

Yük miktarındaki ve konfigürasyondaki değişiklik, özellikle sistemde invertör tabanlı DÜ'ler olduğunda, şebekede farklı harmonik akımlara neden olabilir. Adalaşmayı algılamak için bir yaklaşım, toplam harmonik değişimini izlemektir. DÜ'nin gerilimin üçüncü harmoniğindeki değişiklik, DÜ'in ada durumuna geldiği konusunda iyi bir göstergedir.

## **2.2.2. Aktif algılama yöntemleri**

Aktif algılama yöntemleri ile, pasif algılama yöntemlerinde tespit edilmesi mümkün olmayan ada durumları tespit edilebilir. Aktif yöntemler pertürbasyonlar yaratarak güç sistemi operasyonu ile doğrudan etkileşime girer. Yöntemi fikri, bu küçük pertürbasyonun, DÜ'de ada olduğunda sistem parametrelerinde önemli bir değişikliğe neden olur ancak DÜ şebekeye bağlandığında değişikliğin ihmal edilebilir boyuttadır. Aktif algılama yöntemi bu küçük pertürbasyonundan yola çıkarak adalaşmayı tespit eder.

### **2.2.2.1. Reaktif güç verme hatası tespiti**

DÜ, DÜ sahası ile şebeke arasındaki ortak bağlantı noktasında veya reed rölesinin bağlandığı noktada bir reaktif güç akışı seviyesi üretir[9]. Bu güç akışı yalnızca şebekeye bağlıyken sağlanabilir. Reaktif güç akış seviyesi ayarlanan değerde

tutulmazsa adalaşma tespit edilebilir. Senkron jeneratör tabanlı DÜ için, DÜ'nin dahili endüklenen gerilimi zaman zaman az miktarda artırılarak ve DÜ'nin dağıtım sistemine bağlı olduğu uçta gerilim ve reaktif güçteki değişim izlenerek adalanma tespit edilebilir. Reaktif güç neredeyse değişmeden kalırken terminal gerilimindeki büyük bir değişiklik, adalaşmayı işaret eder[10]. Bu yöntemin en büyük dezavantajı ise yavaş olması ve DÜ'nin bir güç faktöründe güç üretmek zorunda olduğu sistemde kullanılamamasıdır.

#### **2.2.2.2. Faz (veya frekans) kaydırma yöntemleri**

Bağlı faz kaymasının ölçümü, evirici tabanlı DÜ'nin ne zaman ada haline getirildiği hakkında iyi bir fikir verebilir. Adalaşma durumunda faz kayması meydana gelir. DÜ şebekeye bağlandığında, frekans sabitlenecektir. Ne zaman sistem adalı ise pertürbasyon, frekansta önemli bir değişikliğe neden olacaktır. Kayma modu frekans kaydırma algoritması, ortak bağlantı noktasındaki frekans sapmasına göre sürücü akımının faz açısını değiştiren pozitif geri beslemeyi kullanarak ada durumunu tespit eder.

#### **2.2.3. Hibrit algılama yöntemleri**

Hibrit algılama yöntemleri, hem aktif hem de pasif algılama tekniklerini kullanır. Aktif teknik ve yöntemler, yalnızca pasif yöntemler tarafından adalaşma durumunda şüphelenildiğinde ve tespit edilemediğinde uygulanır.

Hibrit teknikleri iki başlık halinde incelenir.

##### **2.2.3.1. Pozitif geri besleme ve gerilim dengesizliğine dayalı teknik**

Bu adalaşma tespit tekniği, PGB (aktif teknik) ve GD'yi (pasif teknik) kullanır. Ana fikir, aşağıdaki gibi verilen GD'yi belirlemek için üç fazlı gerilimleri sürekli olarak izlemektir[11].

$$GD = \frac{v + sq}{v - sq} \quad (2.2)$$

V +Sq ve V-Sq sırasıyla pozitif ve negatif dizi gerilimleridir. Yük değişimi, adalaşma, anahtarlama eylemi vb. için voltaj yükselmeleri gözlemlenecektir. Bir GD yükselmesi ayarlanan değer üzerinde olduğunda, DÜ'nin frekans ayar noktası değişmiş olacaktır. Sistem ada durumunda ise sistem frekansı değişecektir diyebiliriz.

### 2.2.3.2. Gerilim ve reaktif güç kaymasına dayalı teknik

Bu teknikte, bir aktif adalaşma tespit tekniği olan reaktif güç kayması algoritmasını başlatmak için kullanılan bir kovaryans değeri elde etmek için bir zaman içindeki gerilim değişimi ölçülür[12].

$$Kovaryans (T_{av}, T_v) = E x T_{av}^n - U_{av} T_v^n U_v \quad (2.3)$$

Tav' : Önceki dört voltaj periyodunun ortalamasıdır.

Uav, Tav'ın ortasıdır.

Tv: voltaj periyotlarıdır.

UV: TV'nin anlamıdır.

Adaptif reaktif güç kayması, mevcut faz kayması yerine d eksenli akım kaydırmasını kullanır.

$$i_d^k = k_d \left( \frac{T_{av'} - T_v^{(k)}}{T_v^{(k)}} \right) \quad (2.4)$$

$k_d$ , sürücünün normal çalışmasında d eksenli akım değişimi q eksenli akımının yüzde birinden az olacak şekilde seçilir. Adalaşma şüphesinden sonra  $k_d$  eksenli akımı, DÜ'de adalaşma olduğunda hızlı bir frekans kaymasına yol açan faz kayması eylemini hızlandırır. Tüm durumlarda tüm sistemler için tatmin edici bir şekilde çalışacak tek bir adalaşma tespit tekniği yoktur. Adalaşma tespit tekniğinin seçimi büyük ölçüde DÜ'nin tipine ve sistem özelliklerine bağlı olacaktır. Hibrit tespit teknikleri adalaşma tespiti açısından daha doğru sonuç vermesi açısından önerilmiştir.

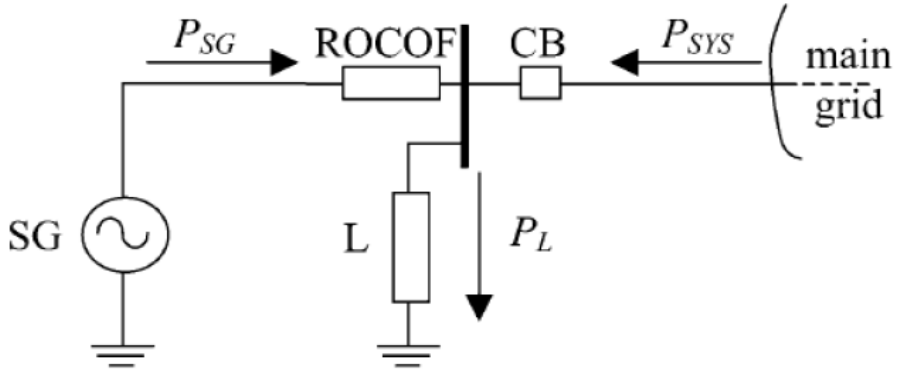
### 3. ADALAŞMA TESPİTİNDE KULLANILAN RÖLELER

#### 3.1. ROCOF Rölesi

Şekil 3.1, bir dağıtım şebekesine paralel çalışan bir ROCOF rölesi entegre edilmiş bir senkron jeneratörün eşdeğer devresidir. Senkron jeneratör L yükünü beslemektedir. Senkron Jeneratör tarafından sağlanan  $P_{SG}$  ve yük tarafından tüketilen  $P_L$  elektrik güçleri arasındaki fark, ana şebeke tarafından sağlanır veya tüketilir. Bu nedenle, sistem frekansı sabit kalır. Örneğin bir arıza nedeniyle devre kesici açılırsa, jeneratörden oluşan sistem tarafında adalaşma durumu meydana gelir.

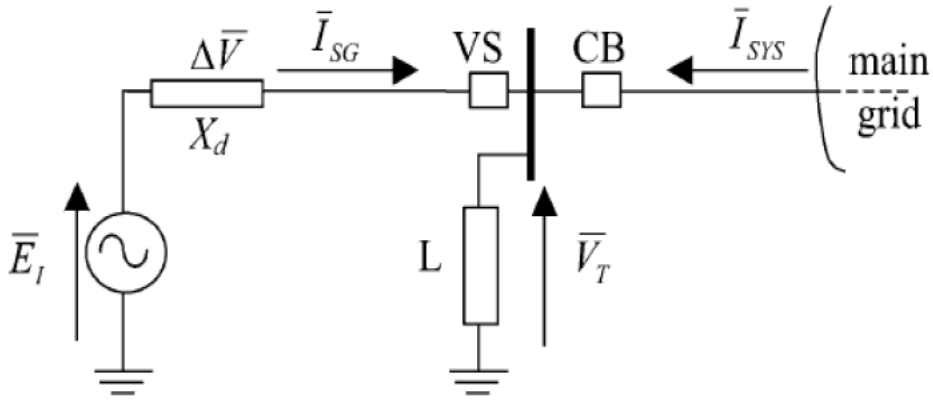
Bu durumda, kayıp şebeke gücü  $P_{SYS}$  nedeniyle elektriksel bir güç dengesizliği vardır. Bu güç dengesizliği, ada durumdaki sistemde geçişlere neden olur ve sistem frekansı dinamik olarak değişmeye başlar. Bu tür sistem davranışı, bir ada durumunu algılamak için kullanılabilir. Ancak, adalı sistemdeki güç dengesizliği küçükse, frekans yavaş yavaş değişecektir. Böylece,  $df/dt$  frekansının değişim oranı bu durum için ada tespitini hızlandırmak için kullanılabilir[13]. Frekans değişim oranı, genellikle 2 ila 50 döngü arasında olmak üzere birkaç döngü boyunca bir ölçüm penceresi dikkate alınarak hesaplanır.

Bu sinyal, filtreler tarafından işlenir ve daha sonra ortaya çıkan sinyal, adalaşmayı tespit etmek için kullanılır. Frekans değişim oranı değeri bir eşik değerinden yüksekse, jeneratör devre kesicisine hemen bir açma sinyali gönderilir. 60 Hz sistemlerde kurulan tipik ROCOF ayarları 0,10 ile 1,20 Hz/s arasındadır. Bu rölelerde bulunan bir diğer önemli özellik, minimum terminal gerilimi ile blok fonksiyonudur. Terminal voltajı ayarlanabilir bir seviyenin  $V_{min}$  altına düşerse, ROCOF rölesinden gelen açma sinyali bloke edilir. Bu, örneğin jeneratörlerin çalıştırılması veya kısa devreler sırasında ROCOF rölesinin harekete geçmesini önlemek içindir.



**Şekil 3.1.** Şebeke ile paralel çalışan ROCOF Rölesi entegre edilmiş senkron jeneratörün eşdeğer devresi.

### 3.2. Vektör Dalgalanma Rölesi



**Şekil 3.2.** Şebeke ile paralel çalışan Vektör Dalgalanma Rölesi entegre edilmiş senkron jeneratörün eşdeğer devresi.

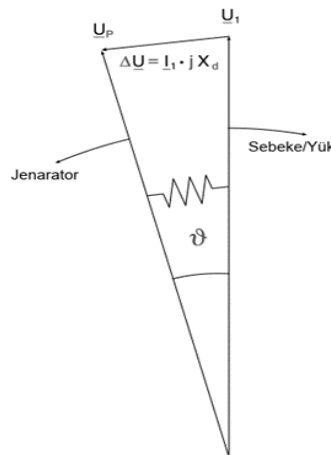
Bir dağıtım şebekesine paralel çalışan bir vektör surge rölesi entegre edilmiş bir senkron jeneratör, Şekil 3.2'de gösterilmektedir. Jeneratör reaktansı  $X_d$  den geçen jeneratör akımı  $I_{SG}$  nedeniyle terminal voltajı  $V_T$  ile jeneratör iç voltajı  $E_I$  arasında bir voltaj düşüşü  $\Delta V$  vardır. Sonuç olarak, fazör diyagramı Şekil 3.3'da gösterilen, terminal gerilimi ile jeneratör dahili gerilimi arasında bir yer değiştirme açısı vardır. Şekil 3.2'de kesici bir arıza nedeniyle açılırsa, jeneratörden oluşan sistem ve L yükü ada durumuna gelir. Bu anda, elektrik şebekesi tarafından sağlanan (veya tüketilen) mevcut  $I_{SYS}$  aniden kesildiğinden, senkron makine daha büyük (veya daha küçük) bir yükü beslemeye başlar. Böylece jeneratör yavaşlamaya (veya hızlanmaya) başlar.

Sonuç olarak,  $V_T$  ve  $E_I$  arasındaki açısal fark, Şekil 3.4.'te gösterildiği gibi aniden artar (veya azalır) ve uç gerilim fazörü yönünü değiştirir. Zaman alanında bu tür bir

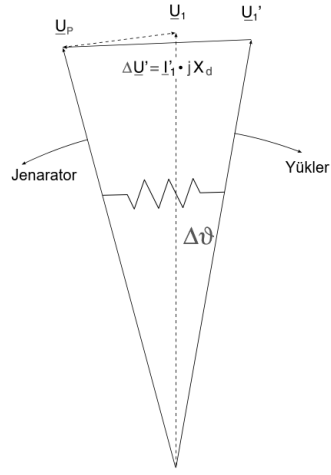


fenomeni analiz ederken, terminal voltajının anlık değeri başka bir değere sıçrar ve faz değişir, faz konumu değişir, Şekil 3.5.'te gösterildiği gibi, burada A noktası adalama anını gösterir. Ek olarak, terminal voltajının frekansı da değişir. Terminal voltajının bu davranışına vektör dalgalanması denir. VS röleleri bu tür fenomenlere dayanmaktadır. Piyasada bulunan VS röleleri, bir elektrik çevriminin süresini ölçer ve terminal geriliminin her sıfır geçişinde yeni bir ölçüm başlatır. Geçerli döngü süresi (ölçülen dalga formu) sonuncusu (referans döngü) ile karşılaştırılır. Bir ada durumunda, Şekil 3.4.'te gösterildiği gibi, ada sisteminde aktif gücün fazla veya eksik olmasına bağlı olarak döngü süresi daha kısa veya daha uzundur. Çevrim süresindeki bu değişiklik, VS rölelerinin giriş parametresi olan terminal gerilim açısının orantılı olarak değişmesine neden olur. Terminal voltaj açısının değişimi önceden belirlenmiş bir eşiği aşarsa, kesiciye hemen bir açma sinyali gönderilir. Genellikle, VS röleleri bu açı eşiğinin 2 ile 20 aralığında ayarlanmasına izin verir. Yanlış çalışmayı önlemek için terminal voltajının büyüklüğü bir eşik değerinin altına düşerse röle de devre dışı bırakılır.

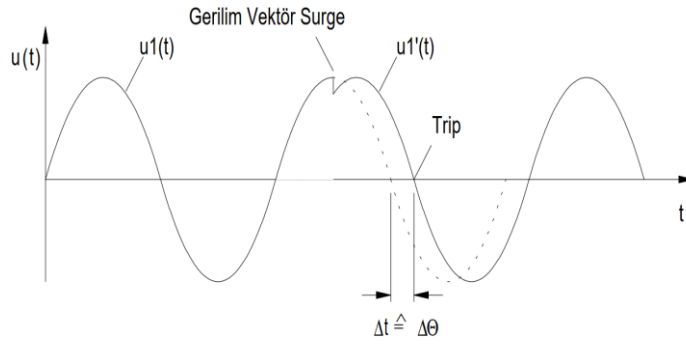
Yanlış çalışmayı önlemek için, terminal gerilimi belirlenen bir gerilim eşiğinin altına düşerse ROCOF ve vektör surge röleleri devre dışı bırakılır. Başarılı adalaşma tespiti için ROCOF rölelerinin vektör surge rölelerinden daha küçük bir aktif güç dengesizliği seviyesinde çalıştığı görülmüştür. Öte yandan, ROCOF röleleri yanlış çalışmaya karşı vektör surge rölelerine göre çok daha hassastır.



**Şekil 3.3.** Dahili ve terminal gerilim fazörleri.



**Şekil 3.4.** Vektör dalgalanma rölesi kesici ile kesicinin açık ve kapalı halinin karşılatırılması.



**Şekil 3.5.** Vektör dalgalanma grafiği.

## 4. SİSTEM ÇALIŞMASI VE SİMÜLASYON ÇIKTILARI

### 4.1. Çalışma Motivasyonu

Dağıtım şebekesine dağıtık üretim santrallerinin entegrasyonu, elektrik güç sistemi altyapısında ve enerji pazarında giderek daha önemli bir rol oynamaktadır. Dağıtık üretim santralleri elektrik şebekesinin bir parçası haline geldikçe, personel için artan bir güvenlik tehlikesi ve güç sisteminin hasar görme riski artar. Şebekeye bağlı dağıtık üretim santralleri dağıtım sistemine sağlayabileceği olumlu yönlere rağmen, kritik ve zorlu bir durum olan adalaşma tespiti ve bu durumun önlenmesidir. Ada durumu, bir ağın bir bölümünün güç sisteminin geri kalanından bağlantısı kesildiğinde, ancak normalde çeşitli teknolojilere sahip birden fazla DÜ'lerde oluşan dağıtım sistemine birbirine bağlı DÜ birimleri tarafından enerji verildiğinde meydana gelen bir durumdur. Ada durumunda DÜ'lerin açılmaması, bu kaynaklar ve bağlı yükler için güç kalitesi, güvenlik ve çalışma sorunlarını içeren bir dizi soruna yol açabilir. Bağlantı kesme, normalde, farklı teknikler kullanılarak uygulanabilen, ada algılama röleleri adı verilen özel bir koruma şemasıyla gerçekleştirilir. Adalaşma tespit teknikleri pasif veya aktif olarak sınıflandırılabilir. Pasif teknikler, DÜ sisteminin şebekeden izole olup olmadığını belirlemek için DÜ tarafında mevcut olan bilgileri kullanır. Pasif tekniklerin avantajı, uygulamanın DÜ sisteminin normal çalışması üzerinde bir etkisinin olmamasıdır. Aktif teknikler, eviricinin çıkışında harici bir pertürbasyon başlatır. Bunlar, pasif yaklaşımlara kıyasla daha hızlı bir yanıt ve daha küçük bir tespit edilmeyen bölgeye sahip olma eğilimindedir. Ancak, eviricinin güç kalitesi pertürbasyon nedeniyle düşebilir.

### 4.2. Sistem Modeli

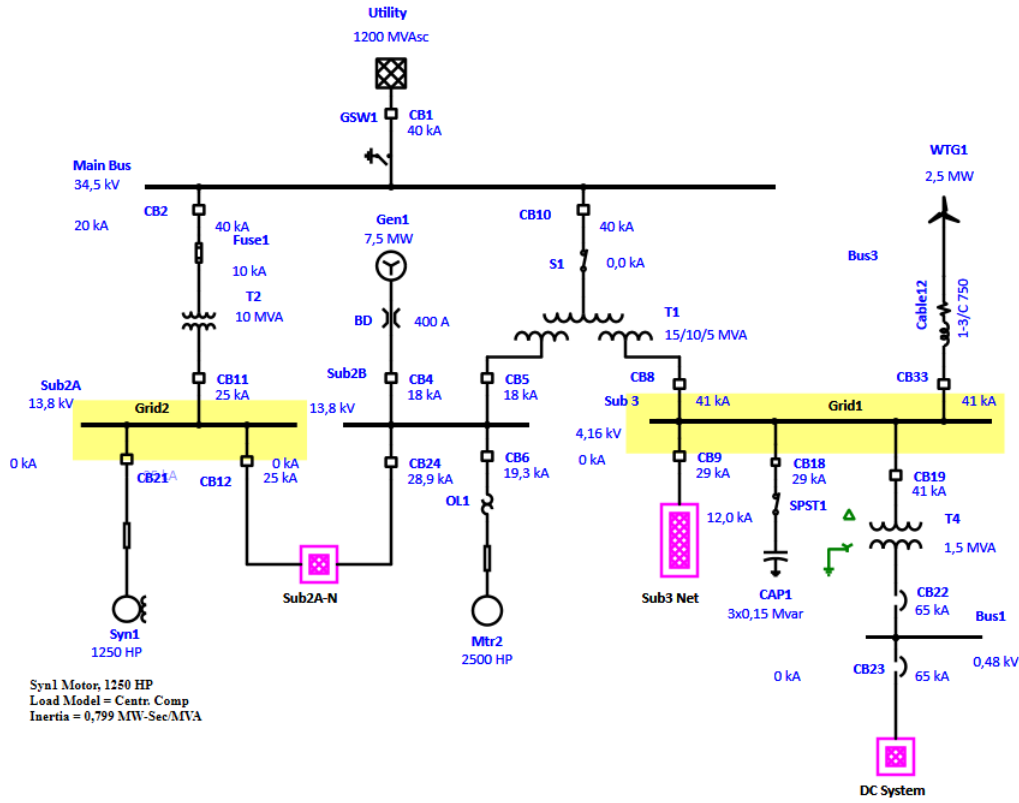
Bu çalışmada bir paket program olan ETAP kullanılmıştır. ETAP, güç sistemleri mühendisleri tarafından bir "elektriksel dijital ikiz" oluşturmak ve elektrik güç sistemi dinamiklerini, geçici durumları ve korumayı analiz etmek için kullanılan bir elektrik şebekesi modelleme ve simülasyon yazılım aracıdır [14].

Tezde analizi yapılan sistemin tek hat şeması Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Modellenen sistem ETAP programında yer alan ANSI standartına göre hazırlanmış örnek bir sistem modelidir.

Sistem frekansı 50 Hz'dir. Rüzgar hızı 10 m/s olarak sabit alınmıştır.

Sistem 1200 mVA kısa devre gücüne bağlı bir şebekeye bağlı çalışmaktadır. Şebekenin bağlı bulunduğu ana baraya Sub2A, Sub2B ve Sub3 baraları bağlanmıştır.

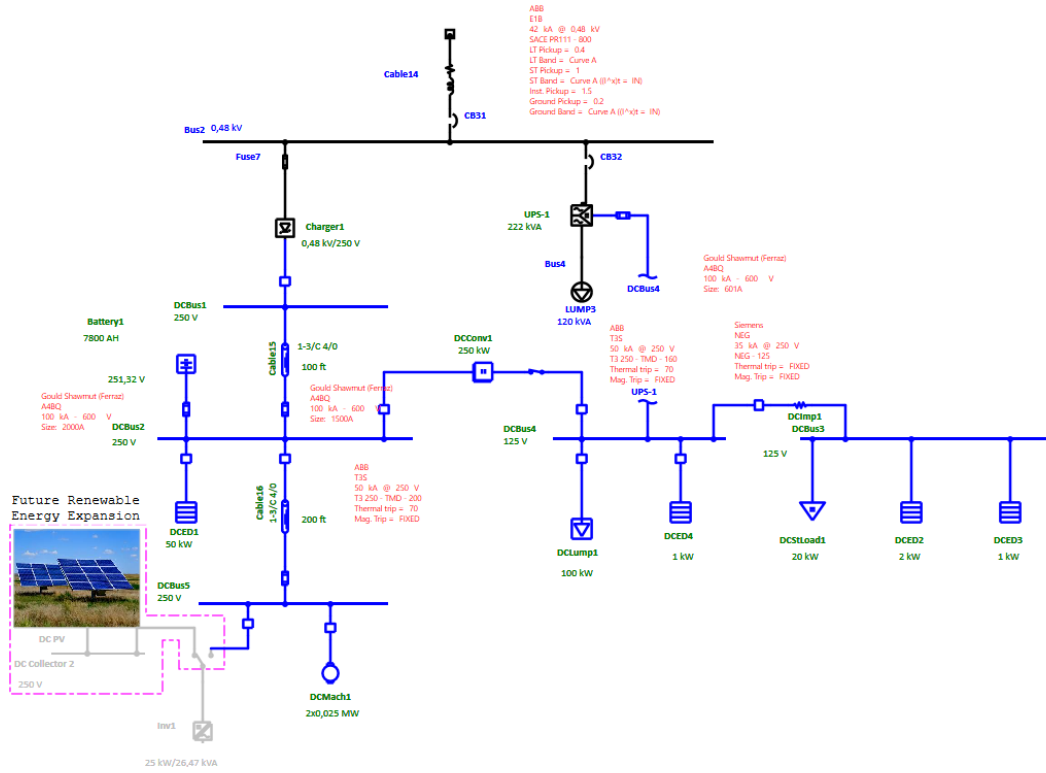
7.5 MW gücünde bir senkron jenatör Sub2B barasına bağlıdır, aynı baraya 2500 HP bir motor bağlanmıştır. Sub2A barasına bir 1250 HP bir senkron motor bağlanmıştır. 2.5 MW gücünde bir rüzgar türbini bağlanmıştır. Rüzgar türbini çift beslemeli bir endüktif jeneratör olup, tip 3 olarak seçilmiştir. Rüzgar Türbini 1200 m'lik bir kablo ile Sub3 barasına bağlanmıştır.



Şekil 4.1. Kullanılan sistem modelinin tek hat diyagramı

Şekil 4.1.'de görülen Sub2A ve Sub2B baraları arasında tek hat diyagramında yer kaplamaması için Sub2A-N içine gömülmüştür. Sub2A-N Şekil 4.2.'de gösterilmiştir. Sub3 barasına bağlı olan Sub3 Net içine gömülen tek hat görünümü Şekil 4.3.'de gösterilmiştir. DC sistem görünümü ise Şekil 4.4.'de gösterilmiştir.





Şekil 4.4. DC sistem tek hat görünümü

Tablo 4.1.'de sistemde parametreleri verilmiştir.

Tablo 4.1. Sistem parametreleri.

Utility	
MVAsc	1200
X/R	45
T1	
MVA	15/10/5
Voltage Ratio	34.5 / 13.8 / 4.16 kV, YDY
X/R	39/40/38
T2	
MVA	10
Voltage Ratio	34.5 / 13.8 kV, DY
X/R	23
%Z	6.9
T22	
MVA	5
Voltage Ratio	13.8 / 4.16 kV, DY
X/R	12,14
%Z	6.5

**Tablo 4.1. (Devamı) Sistem parametreleri.**

T23	
MVA	5
Voltage Ratio	13.8 / 4.16 kV, DY
X/R	12,14
%Z	6.5
T3	
KVA	750
Voltage Ratio	4.16/0.48 kV, DY
X/R	18
%Z positive	5.75
%Z zero	6.5
XFMR	
KVA	1000
Voltage Ratio	4.16/0.48 kV, DY
X/R	28
%Z	7.2
T4	
MVA	1.5
Voltage Ratio	4.16/0.48 kV, DY
X/R	7.1
%Z	5.75

### 4.3. İncelenen Senaryolar

Mevcut sistem modelinde aşağıda sıralanan senaryolar analiz edilmiş, rüzgar türbininin entegre edildiği Sub3 gerçekleşecek olası durumlar karşısında baranın ve rüzgar türbininin vereceği tepkiler izlenmiştir. Ada durumunun meydana geldiği süre aralığında sistemde meydana gelebilecek gerilim ile frekans değişimleri incelenmiştir.

Senaryolar;

1. Ada durumu olmayan durumda rüzgar türbinini davranışı
2. CB8 kesicisi 0.5 sn'de açılıp 0.9 sn'de kapatıldığı durumda SUB3 Barası ile rüzgar türbininin davranışı incelenmiştir.
3. Utility'nin gerilimi 0.5 sn'de yüzde 20 düşüş olduğu ve 1 sn'de gerilim eski hale döndüğü durum incelenmiştir.

### 4.4. Simülasyon Sonuçları

Bu tezde incelenen sistem modelinde uygulanan senaryolar doğrultusunda ada durumunda baralardaki frekans ve gerilim değişimleri gözlenmiştir. Ada durumuna rüzgar türbininin vereceği tepkiler türbin kanat hatve açısı(pitch angle), elektriksel güç

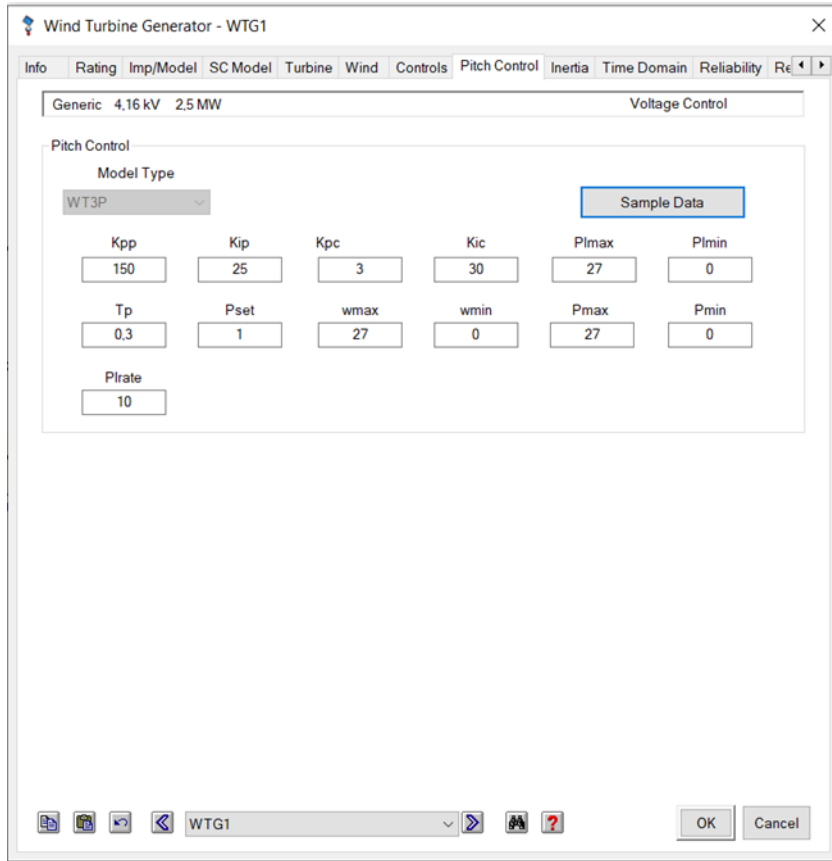
(aktif ve reaktif güç) ve mekanik güç değerlerinin çıktıları olarak gözlenerek ada tespitindeki rolü incelenmiştir.

Bu çalışmada rüzgar hızı 10 m/s olarak alınmıştır.

Hatve açısı kontrolü, rüzgar hızı nominal hızın üzerinde olduğunda rüzgar türbininin aerodinamik torkunu ayarlamak için kullanılan en yaygın araçtır ve rüzgar hızı, jeneratör hızı ve jeneratör gücü gibi çeşitli kontrol değişkenleri seçilebilir[15].

Nominal rüzgar hızının altında, mümkün olan maksimum çıkış gücünü elde etmek için hatve açısı sıfıra ayarlanır. Aksi takdirde, hatve kontrolörü rotor hızını sınırlar[16]. Tasarıma özgü hatve açısı değeri değişebilir.

Rüzgar türbininin ETAP programında tip 3 çift beslemeli endüktif jeneratörü ve çalışma modu gerilim kontrolü olarak seçilmiştir. Hatve kontrol değerleri Şekil 4.4'de verilmiştir. Bu parametler sonucunda hatve açısı 5 derecedir.



Şekil 4.5. Rüzgar türbini hatve kontrol değerleri.

Kpp: Hatve kontrol oransal kazancını deg./pu cinsinden değeri

Kip: Eğim dengeleyici integratör kazancını deg./pu P-sn cinsinden değeri.



K<sub>pc</sub>: Eğim dengeleyici oransal kazancını deg./pu P cinsinden değeri

K<sub>ic</sub>: Eğim dengeleyici integral kazancını deg./(pu P-sn) cinsinden değeri

Pl<sub>max</sub>: Maksimum eğim açısını derece cinsinden değeri

Pl<sub>min</sub>: Minimum eğim açısını derece cinsinden değeri.

T<sub>p</sub>: Bıçak tepki süresi sabitini saniye cinsinden değeri

P<sub>set</sub>: Pu cinsinden güç ayar noktası

W<sub>max</sub>: Hatve kontrolü rüzgar önleme üst limiti

W<sub>min</sub>: Hatve kontrolü anti-windup alt limiti

P<sub>max</sub>: Hatve kompensatörü rüzgar önleme üst limiti

P<sub>min</sub>: Hatve kompensatörü rüzgar önleme alt limiti

Pl<sub>rate</sub>: Derece/sn cinsinden hatve hızı limiti

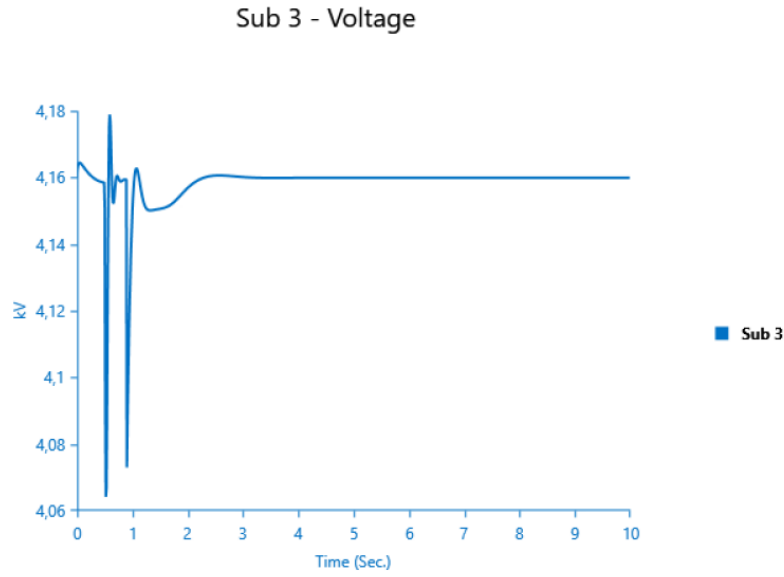
#### **4.4.1. CB8 kesicisinin açma durumu**

T1 trafosu ile rüzgar türbininin bağlı olduğu SUB3 barasının arasında olan CB8 kesicisi 0.5 sn'de açılıp 0.9 sn'de kapatıldığı durumda meydana gelen ada durumunun SUB3 Barası ile rüzgar türbininin davranışı incelenmiştir.

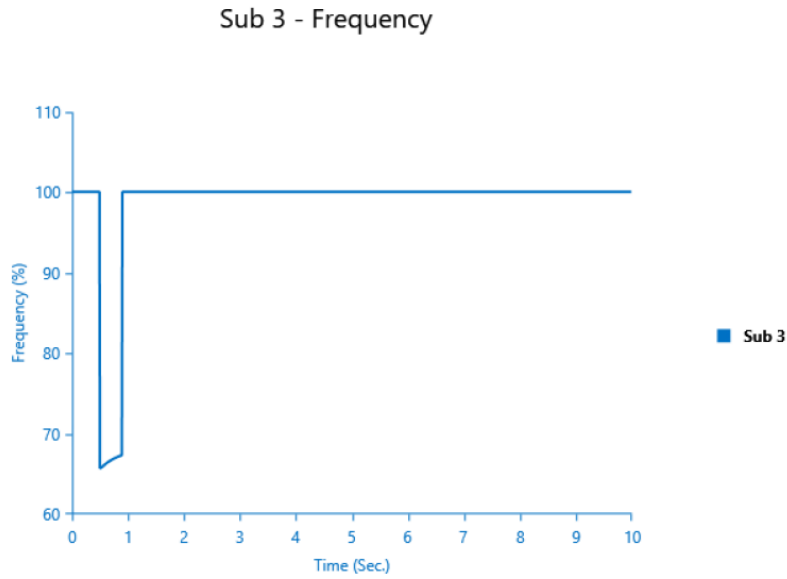
Kesicinin açtığı 0.5 sn'de ada durumu gözlenmiştir. ETAP programında rüzgar türbininin gerilim kontrolü modunda çalıştığından dolayı kesicinin açtığı 0.5 sn'de gerilimde 0,1 kV düşüş olmasına türbin gerilimi dengeleme eğilimde hareket ettiği Şekil 4.6'da gözlenmiştir. Gerilim, ada tespiti için kullanılan bir parametredir. Rüzgar türbinin gerilim kontrolü modunda çalışması ada durumunda gerilim düşüşünün önüne geçmiştir. Gerilim düşümü oranı yüzde 5'in altında kaldığından dolayı yalnızca gerilime bakılarak adalalaşma hakkında kesin kabule varılamaz. Gerilim trendinin Tip 3 Türbinlerde sisteme enjekte edilen reaktif güçle ilişkili olduğunu Şekil 4.11'de görülmüştür.

CB8 kesicisinin açtığı ve ana şebekeden ayrı çalışma durumunda rüzgar türbini SUB3 barasında ki yükler ile birlikte çalışmaya devam ettiği süre zarfında frekans değerinin Şekil 4.7'de görüleceği gibi 32.8 Hz düştüğü gözlenmiştir. Frekans değerinde ki düşüş ada durumunun bir göstergesi niteliği taşımaktadır. %34 bir düşüş olmuştur. Bu süre zarfında gerilim değerinde Kabul edilebilir bir değişim olmasına

karşın frekans değerinde ki değişim sistemin ada modunda çalıştığının göstergesidir. Bu çıkarım adalaşma tespit yöntemlerinden pasif bir tespit yöntemidir.



**Şekil 4.6.** CB8 açtığı durumda Sub3 bara gerilim grafiği.



**Şekil 4.7.** CB8 açtığı durumda Sub3 bara frekans grafiği.

Rüzgar türbininin ada durumunda vereceği tepkiler, hatve açısı, elektriksel güç, mekaniksel güç ve reaktif güç grafikleri üzerinden incelenmiştir. Şekil 4.8’de hatve açısı grafiğinde ada durumunda pitch angle derecesinde bir bozulma olmadığı oluşan açısız değişimlerin 5,001 ve 4,999 olduğu görülmektedir.

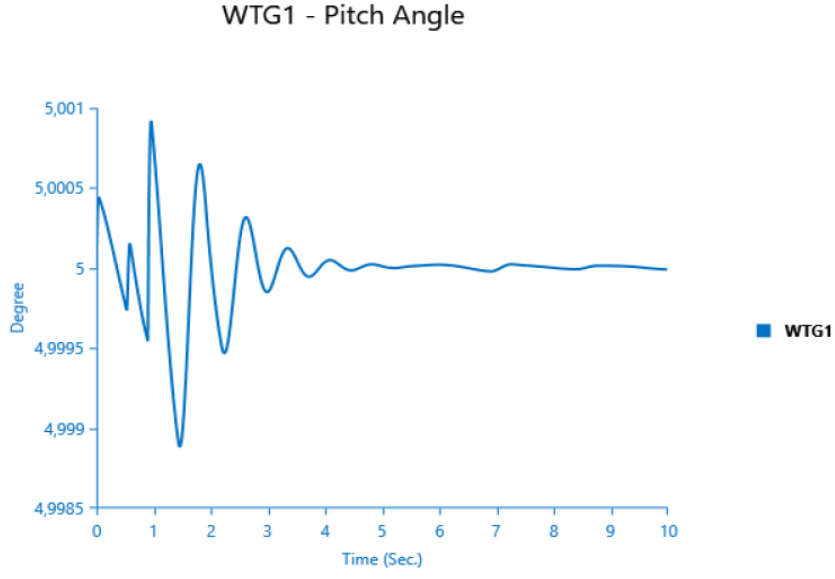
Şekil 4.9’da mekaniksel güç ada durumunda artış eğilimi göstermesine karşın artış 2.501 MW olduğu görülmüştür. Ada koşulunun son bulunduğu 0.9 sn’den sonra 2.497 MW’a düşen mekanik güç daha sonra 2.504 MW seviyesine çıkmıştır. Genel olarak mekaniksel güçte ciddi bir değişim gözlenmemiştir. Mekaniksel gücün önemli parametrelerinden hatve açısı ile ters orantısını Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da görülmüştür. Hatve açısı ve mekanik güç ters kolerasyon ile hareket ettiği sonucu çıkarılmıştır.

Şekil 4.10’da ada durumunun oluştuğu 0.5 sn’de aktif güç düşüş eğilimine girmiştir ada koşulunun son bulunduğu 0.9 sn’de hızlı bir yükseliş gözlenmiştir. Aktif gücün ada durumunda sistemden kopmasının sonucu yüklerin rüzgar türbini üzerinde ki etkisi olarak değerlendirilmiştir.

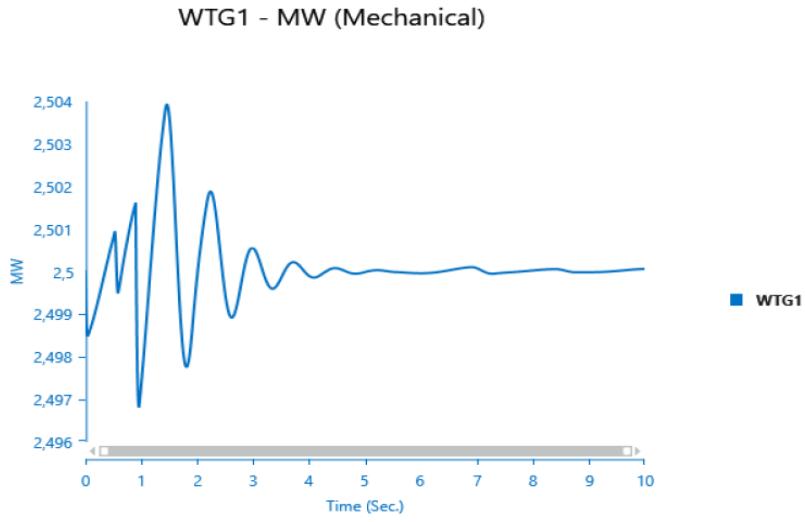
Şekil 4.11.’de reaktif güç grafiğinde ada koşullarında reaktif gücün artış eğilimde olduğu gözlenmiştir. Ada koşulunun ortadan kalkmasından sonra reaktif gücün hızlı bir düşüş sergilediği ve ardından dengelendiği Şekil 4.11’de görülmüştür. Ada koşulunda aktif ve reaktif gücün doğru kolerasyon gösterdiği Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de anlaşılmaktadır. Rüzgar hızı sabit bir değer olarak analiz yapılmıştır. Mekanik gücün ve hatve açısının sabit bir seyir izlemiştir. Aktif gücün ada durumunda düşmesine karşılık rüzgar türbininin reaktif güç bu duruma karşılık vermiştir.

$$P_{mek} - P_{el} = H \times dw/dt \quad (4.1)$$

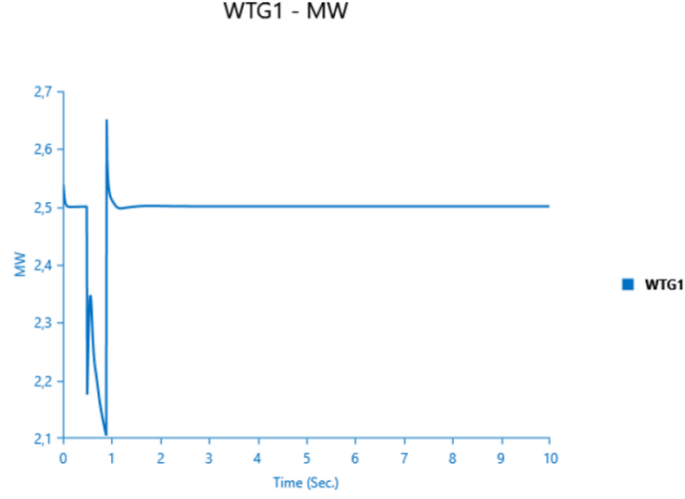
$P_{mek} - P_{el} = H \times dw/dt$   
Pmek: Mekaniksel güç  
Pel: Elektriksel Güç  
H : atalet  
dw/dt : ivme



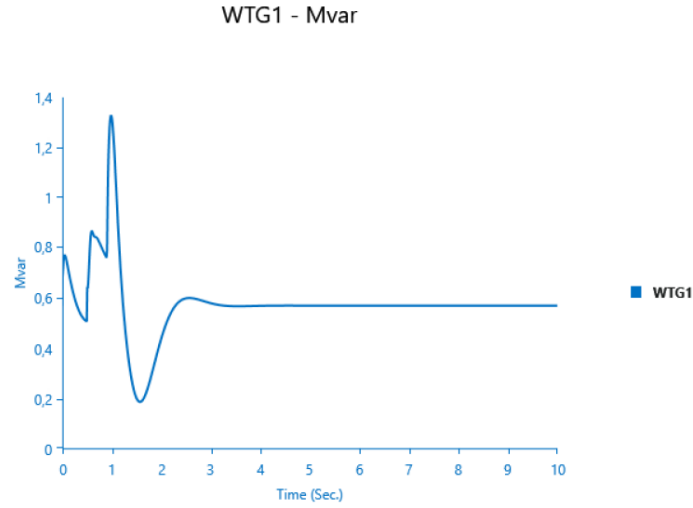
**Şekil 4.8.** CB8 açtığı durumda rüzgar türbini hatve açısı grafiği.



**Şekil 4.9.** CB8 açtığı durumda rüzgar türbini mekanik güç grafiği.



**Şekil 4.10.** CB8 açtığı durumda rüzgar türbini elektriksel güç grafiği.

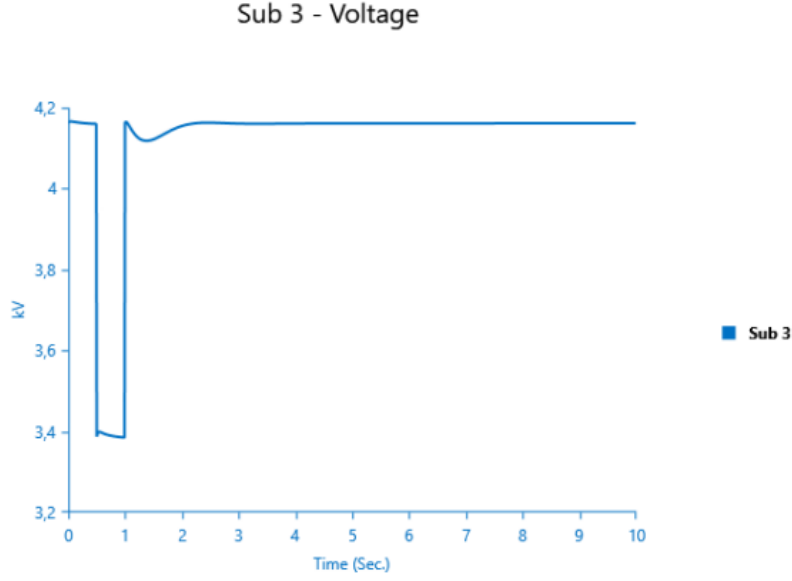


**Şekil 4.11.** CB8 açtığı durumda rüzgar türbini reaktif güç grafiği.

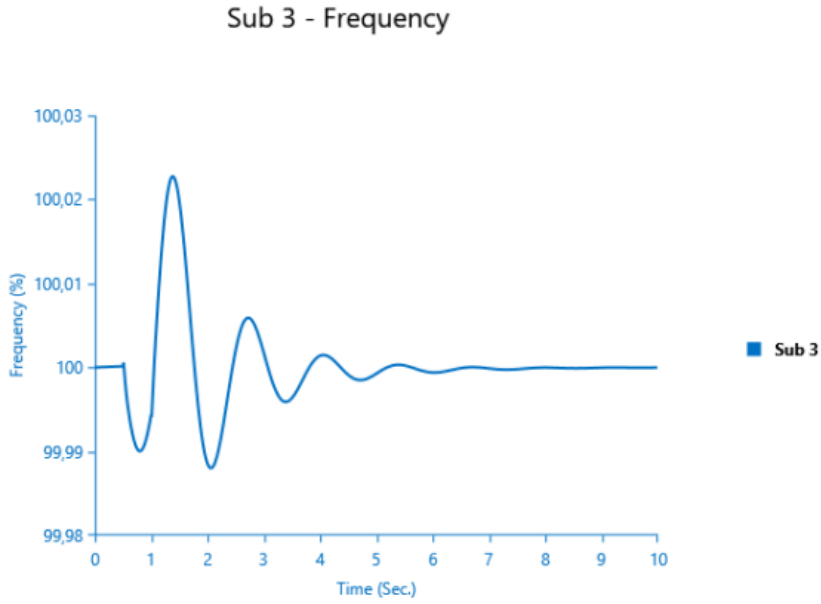
#### 4.4.2. Şebeke gerilimin değişim durumu

Şebeke geriliminin 0.5 sn'de yüzde 20 düşüş olduğu ve 1 sn'de gerilim eski hale döndüğü durum incelenmiştir. Bu durumda sub3 barasında yaşanan gerilim ve frekans değişimi Şekil 4.12. ve Şekil 4.13.'de verilmiştir. Şebeke gerilimin yüzde 20 düştüğü 0.5 sn.'de sub3 barasında 0.51 sn.'de bara gerilimi %81,38 olarak gözlemlenmiştir. Şekil 4.13'de frekans değişimi gözlemlenmiş olup frekans değişiminin oldukça sınırlı ve ihmal edilebilir düzeyde olduğu görülmüştür.

Gerilimde ki %18,62 düşüş bize ada tespiti açısından önemli bir gösterge niteliğindedir.



**Şekil 4.12.** Şebeke gerilimi değiştiği durumda Sub3 gerilim grafiği.



**Şekil 4.13.** Şebeke gerilimi değiştiği durumda Sub3 frekans grafiği.

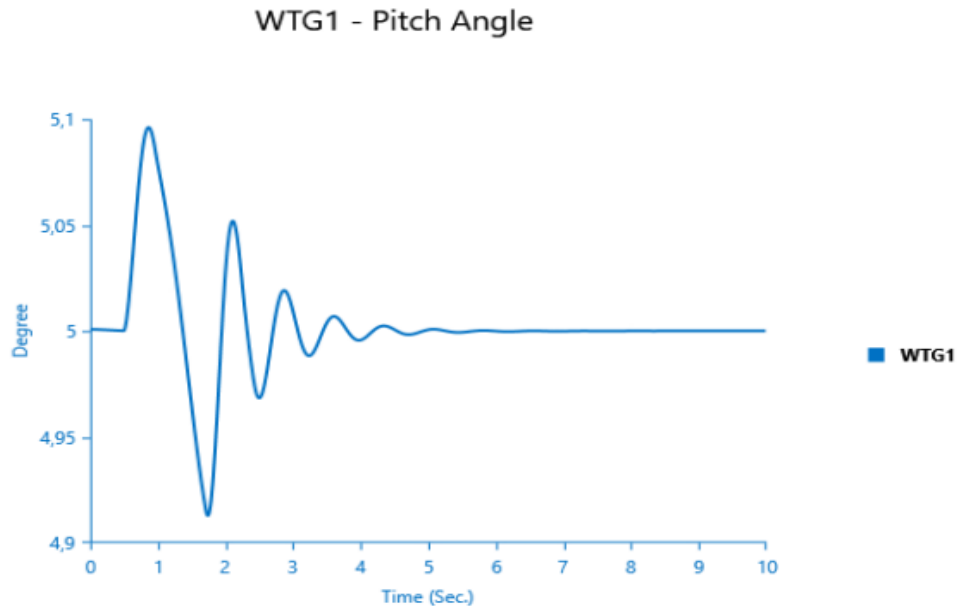
Rüzgar türbininin şebeke geriliminin düştüğü durumunda vereceği tepkiler, hatve açısı, elektriksel güç, mekaniksel güç ve reaktif güç grafikleri üzerinden incelenmiştir.

Mekaniksel gücün önemli parametrelerinden hatve açısı ile ters orantısını Şekil 4.14 ve Şekil 4.15’de görülmüştür. Hatve açısı ve mekanik güç ters kolerasyon ile hareket ettiği şebekede gerilim düşümü olduğu durumunda da gözlemlenmiştir.

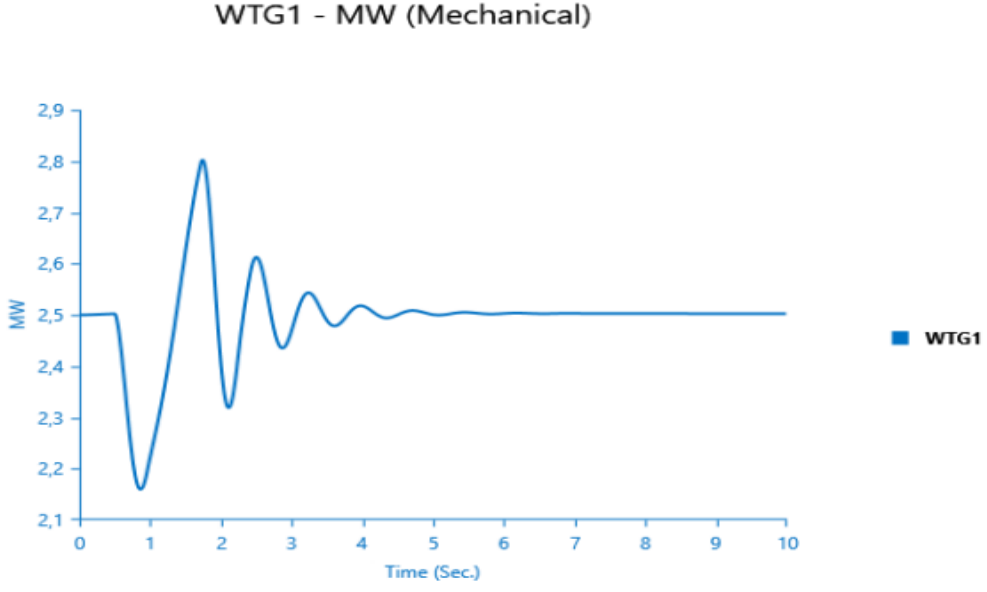
Şekil 4.18.'de şebeke geriliminin düştüğü 0.5 sn'de aktif güç düşüş eğilimine girmiştir. Gerilimin eski seviyesine geldiği 1 sn'de hızlı bir yükseliş gözlenmiştir.

Şekil 4.16.'da reaktif güç grafiğinde ada koşullarında reaktif gücün artış eğilimde olduğu gözlenmiştir. Ada koşulunun ortadan kalkmasından sonra reaktif gücün hızlı bir düşüş sergilediği ve ardından dengelendiği Şekil 4.16'da görülmüştür. Ada koşulunda aktif ve reaktif gücün doğru kolerasyon gösterdiği Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'de anlaşılmaktadır.

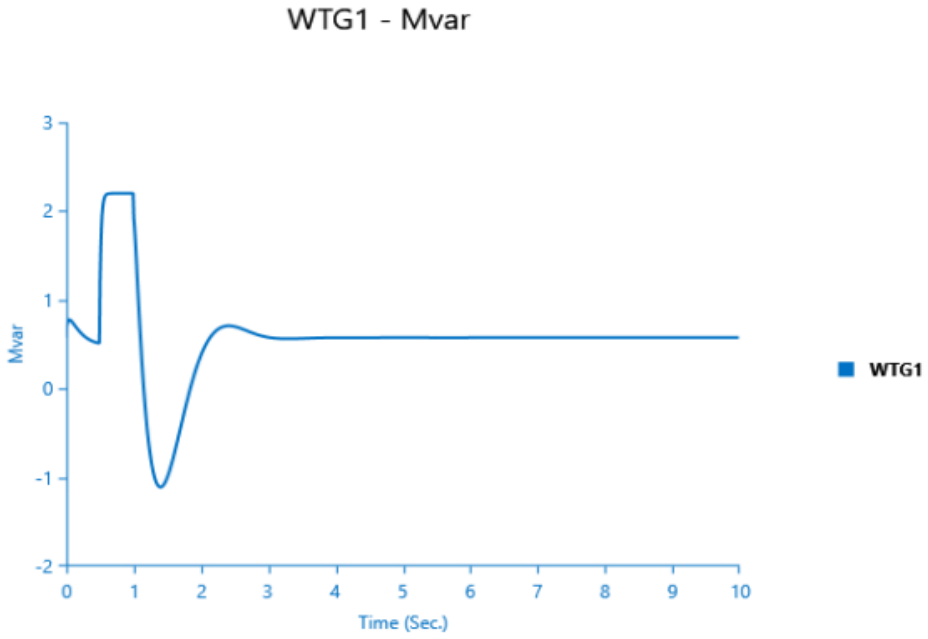
Rüzgar hızı sabit bir değer olarak analiz yapılmıştır. Mekanik güç ile hatve açısı ters bir seyir izlemiştir. Aktif gücün ada durumunda düşmesine karşılık rüzgar türbininin reaktif güç bu duruma karşılık vermiştir.



**Şekil 4.14.** Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini hatve açısı grafiği.



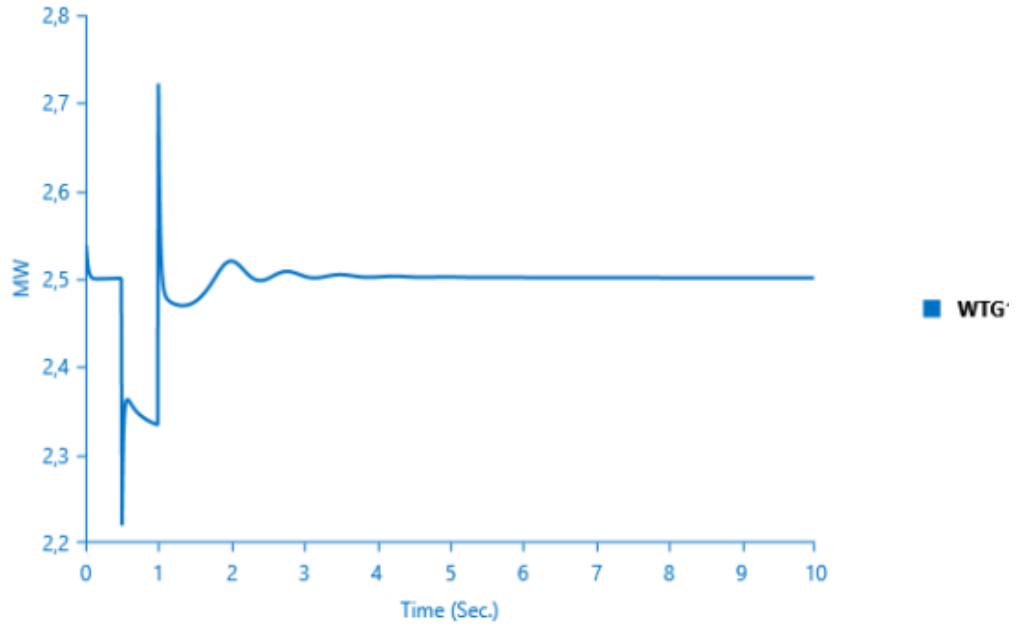
**Şekil 4.15.** Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini mekanik güç grafiği.



**Şekil 4.16.** Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini reaktif güç grafiği



### WTG1 - MW



Şekil 4.17. Şebeke gerilimi değiştiği durumda rüzgar türbini elektirksel güç grafiği.



## 5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada, farklı adalaşma tespit tekniklerini incelenmiştir. Adalaşmanın hızlı ve doğru tespiti, güç sistemlerindeki en büyük zorluklardan biridir. Dağıtık üretim sistemin ada durumunda çalışması, kaynağın güvenilirliğini ve kalitesini artırmak için gelecekte uygun bir seçenek olarak görülmektedir. Bu çalışmada dağıtılmış nesillerde adalaşma tespiti için gerilim ve frekans değişimleri ile rüzgar türbininin ada durumuna karşı vereceği tepkiler incelenmiştir.

Yapılan analiz çıktıları sonucunda gerilim ya da frekans parametrelerinin tek birinin yeterli olmayacağı görülmüştür. Bu çalışma ile rüzgar türbinlerinin ada durumunda vereceği tepkiler net olarak görülmüştür. İncelenen senaryolarda mekaniksel güç ile hatve açısı ters kolerasyon ile çalıştığı sonucuna ulaşılmıştır. Gerilim ile reaktif gücün benzer çalıştığı gözlenmiştir. Adalaşma tespitinde DÜ'in tipine göre tespit yöntemi belirlenmelidir. CB8 kesicisinin açtığı durumda rüzgar türbininin bağlı olduğu baranın frekansı 32.8 hz'e düşmüştür. Bu yüzde 34.4'lük bir düşüştür. Şebeke gerilimin değiştiği senaryoda ise rüzgar türbininin bağlı olduğu baranda gerilim yüzde 18.62 oranında düşmüştür. Buradan gerilim ve frekans parametresine bakılarak adalaşma tespiti için net çıkarımlar yapılmıştır. Ada durumunda rüzgar türbininin verdiği tepkiler, rüzgar türbini üreticileri için iyileştirmeye yönelik olanakları tespit etmeye imkan sağlamaktadır. Bu çalışma yenilebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu açısından referans bir kaynak olma özelliği taşımaktadır. Aynı zamanda bu çalışma şebeke alt yapısı ve koruma koordinasyon açısından fikir vermektedir.

Rüzgar hızı bu çalışmada sabit tutulmuştur, rüzgar hızının değişken olduğu durumda hatve açısı üzerindeki etkisi ileride yapılacak çalışmalar açısından bir öneri niteliği taşımaktadır. İncelenen sistem göz önünde bulundurulduğunda, rüzgar türbininin gücünün hangi değere kadar uygun olacağı ile tip 3 harici bir rüzgar türbini seçilmesi durumunda rüzgar türbininin vereceği tepkiler ileriki çalışmalar için bir öneri niteliğindedir.



## KAYNAKLAR

- [1] IEEE Application Guide for IEEE Std 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, IEEE Std 1547.2™-2008
- [2] Metra, D. (2015, 6 Haziran). Analysis of Distributed Generation and Impact on Distribution System, *IJAREEIE* Vol.4 Issue 6
- [3] Elmarkabi, M. (2004). Control and Protection of Distribution Networks with Distributed Generators. Dissertation, North Carolina State University, United State of America
- [4] Bowe, W. ve Ropp, M. (2002, Mart). Evaluation of islanding detection methods for photovoltaic utility-interactive power systems. Report IEA PVPS Task 5 IEA PVPS T5-09, Sandia National Laboratories Photovoltaic Systems Research and Development
- [5] Refern, M. ve Usta, O. ve G. Fielding,(1993, Temmuz). Protection against loss of utility grid supply for a dispersed storage and generation unit,” *IEEE Transaction on Power Delivery*, vol. 8, no. 3, pp. 948-954,
- [6] J. Warin, ve W. H. Allen,(1990) Loss of mains protection,” in Proc. 1990 *ERA Conference on Circuit Protection for industrial and Commercial Installation*, London, UK, pp.4.3.1-12.
- [7] F. Pai ve S. Huang(2001). A detection algorithm for islanding prevention of dispersed consumer-owned storage and generating units, *IEEE Trans. Energy Conversion*,vol. 16, no.4,pp.346-351
- [8] S. I. Jang, ve K. H. Kim (2004,Nisan). A new islanding detection algorithm for distributed generations interconnected with utility networks, *Proc.IEEE International Conference on Developments in Power System Protection*, vol.2, pp. 571-574
- [9] Hopewell, D. ve Jenkins N. ve Cross, A. (1996, Mayıs). Loss of mains detection for small generators, *IEE Proc. Electric Power Applications*, vol. 143, no.3,pp. 225-230
- [10] Kim, J. ve Hwang, J. (2000). Islanding detection method of distributed generation units connected to power distribution system,” *Proc. 2000 IEEE Power System Technology Conference*, pp. 643-647
- [11] Menon V. ve H. Nehrir, H. (2007, Şubat). A hybrid islanding detection technique using voltage unbalance and frequency set point, *IEEE Tran. Power Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 442-448
- [12] Yin, J. ve Chang, L. ve Diduch, C. (2004). A new hybrid anti-islanding algorithm in grid connected three-phase inverter system, *IEEE Power Electronics Specialists Conference*, pp. 1-7

- [13] Jenkins, N. ve Allan, J. ve Crossley, P. ve Kirschen, D. ve Strbac, G. (2000). Embedded Generation, The Institution of Electrical Engineers, London, United Kingdom
- [14] Yoshihide, H. (2019, Aralık). Power system Dynamics with computer based modeling and analysis, p. 1112. ISBN 978-1-119-48745-6
- [15] Zhang, J. Ve Cheng, M. Ve Chen, Z. ve Fu, X. (2008, 6-9, Nisan). PitchAngle Control for Variable Speed Wind Turbines, DRPT2008, Nanjing China
- [16] Sudhamshu, A.R. ve Pandey, M.C. ve Sunil, N. ve Satish, N.S. ve Ratna, K. M. (2016, Mart). Numerical study of effect of pitch angle on performance characteristics of a HAWT, Engineering Science and Technology, an International Journal, pp. 632-641

## ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Fedai ZORLU

### ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2018, Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği
- **Yüksekisans** : Devam Ediyor, Sakarya Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği, Elektrik

### MESLEKİ DENEYİM

- 2018-2020 yılları arasında Wood. PLC şirketinde enstrümantasyon mühendisi olarak çalıştı.
- 2020-2022 yılları arasında Çalık Enerji şirketinde enstrümantasyon mühendisi olarak çalıştı.
- 2022-Halen Socar Türkiye şirketinde enstrümantasyon mühendisi olarak çalışıyor.

### TEZDEN TÜRETİLEN ESERLER:

- Zorlu F., (2023, 27-28, Mayıs). Islanding Detection in Distributed Generation, *Euro Asia 11th. International Congress on Applied Sciences*, Ankara, Turkey.