



**T.C.**  
**BATMAN ÜNİVERSİTESİ**  
**LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ**  
**ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ**  
**SANTRALLERİNİN ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU, AKTİF GÜÇ**  
**KONTROLÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Mehmet Necat TUR**

**Danışman**  
**Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL**

**Ağustos-2023**  
**BATMAN**  
**Her Hakkı Saklıdır**

**TEZ KABUL VE ONAYI**

Mehmet Necat Tur tarafından hazırlanan “Akıllı Şebekelerde Yenilenebilir Enerji Santrallerinin Şebekeye Entegrasyonu ve Aktif Güç Kontrolü” adlı tez çalışması 28/08/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği / oy çokluğu ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

**Jüri Üyeleri****İmza****Başkan**

Prof. Dr. Necmettin SEZGİN

.....

**Danışman**

Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL

.....

**Üye**

Dr. Öğr. Üyesi Davut Özhan

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Osman PAKMA

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

## **DECLARATION PAGE**

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all materials and results that are not original to this work.

Mehmet Necat TUR

Tarih:28.08.2023

**ÖZET****YÜKSEK LİSANS TEZİ****AKILLI ŞEBEKELERDE YENİLENEBİLİR ENERJİ SANTRALLERİNİN  
ŞEBEKEYE ENTEGRASYONU VE AKTİF GÜÇ KONTROLÜ****Mehmet Necat TUR****BATMAN ÜNİVERSİTESİ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI****Danışman: Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL****2023, 82 Sayfa****Jüri****Prof. Dr. Necmettin SEZGİN****Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL****Dr. Öğr. Üyesi Davut Özhan**

Teknolojik uygulamaların sürekli artışı, elektrik tüketim miktarında sürekli bir büyümeyi beraberinde getirecektir. Fosil yakıtların sınırlı doğasından dolayı, yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi öneminin her geçen gün arttığı gözlemlenmektedir. Günümüzde kullanılan elektrik iletim ve dağıtım şebekeleri, artan elektrik ihtiyacını karşılamak adına sürekli olarak genişletilmektedir. Gelecekte ise mevcut şebeke altyapılarının akıllı şebeke sistemlerine dönüştürülmesi, kaçınılmaz bir gereklilik halini alacaktır. Bunun yanında arz ve talep arasındaki güç dengesi, elektrik şebekelerinin güvenilir ve istikrarlı çalışması için esas alınarak kontrol bir yapılması amaçlanmaktadır. Arz ve talep arasındaki uyumsuzluk, elektrikli cihazların çoğunun arızalanmasına neden olan frekans sapmalarına neden olmaktadır. Ayrıca, birçok şebekede olduğu gibi, sistem kararlılığını etkileyerek sistem kesintilerine yaşanmaktadır. Akıllı şebeke, günümüzde arızaları otomatik ve hızlı bir şekilde çözümleyen, talebi izleyen ve daha güvenilir elektrik gücü için istikrarı koruyan ve eski haline getiren teknolojileri ve yöntemleri tanımlamak için kullanılmaktadır. Akıllı şebeke konseptinde, merkezi santrallerin hakim olduğu şebekeden dağıtılmış santralleri sistem genelinde entegre etmeye doğru bir paradigma kayması mevcuttur. Bu nedenle, konvansiyonel santrallerde olduğu gibi yük dağılımlarının önceden planlamak kolay değildir. Bu çalışmada, aktif gücün gerçek zamanlı olarak kontrol edilmesi (talep ve arzın dengelenmesi) için bir yöntem önerilmiştir. Üretim, talep, depolama, pazar, çevre koşulları ve diğer gerekli veriler hakkında gerçek zamanlı veri alışverişi için bu yöntem akıllı şebekelerde uygulanabileceği düşünülmektedir. Bu veriler, akıllı şebekede gerçek zamanlı arz ve talep dengeleme hakkında karar vermede önemlidir. Ayrıca akıllı şebekelerde, talep karşılama ve depolama sistemlerinin avantajlarından yararlanarak arz ve talebi gerçek zamanlı olarak dengelemek mümkündür. Simülasyon, önerilen yöntem için DigSilent Power Factory programı ile yapılması hedeflenmektedir. Simülasyon aracının bir elektrik şebekesi modelleme parçasına ek olarak, karar verme programını kodlamak için DigSilent Programlama Dili (DPL) özelliği kullanılması amaçlanmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Akıllı Şebekeler, Yenilenebilir Enerji Kaynakları, Aktif Güç Kontrolü

**ABSTRACT****MS THESIS****INTEGRATION OF RENEWABLE POWER PLANTS INTO THE GRID AND ACTIVE  
POWER CONTROL IN SMART GRIDS****Mehmet Necat TUR****INSTITUTE OF GRADUATE STUDIES OF BATMAN UNIVERSITY  
THE DEGREE OF MASTER OF SCIENCE IN ELECTRICAL AND ELECTRONICS  
ENGINEERING****Advisor: Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL****2023, 82 Page****Jury****Prof. Dr. Necmettin SEZGİN  
Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL  
Dr. Davut Özhan**

The continuous increase in technological applications will lead to a constant growth in electricity consumption. Due to the limited nature of fossil fuels, the importance of energy production from renewable sources is observed to increase day by day. Present-day electricity transmission and distribution networks are continuously expanded to meet the rising electricity demand. In the future, transforming the existing grid infrastructure into smart grid systems will become an inevitable necessity. Additionally, maintaining a balance between supply and demand forms the basis for reliable and stable operation of electricity grids, and hence, efforts are directed towards achieving a controlled equilibrium. Imbalances between supply and demand can result in frequency deviations, causing malfunctioning of electrical devices and, in some cases, leading to system disruptions as experienced in many grids. The concept of a smart grid is utilized to define technologies and methodologies that automatically and swiftly resolve faults, track demand, and ensure stability for more reliable power supply. It involves a paradigm shift from a grid dominated by centralized power plants to one that integrates distributed energy resources system-wide. As a result, forecasting load distribution, as straightforward as in conventional plants, becomes more challenging. In this study, a method is proposed for real-time control of active power (demand and supply balance). This method can be applied to smart grids, enabling real-time data exchange concerning production, demand, storage, market, environmental conditions, and other necessary parameters. Such data plays a vital role in decision-making related to real-time supply-demand balancing in smart grids. Furthermore, smart grids offer the possibility to dynamically balance supply and demand by leveraging the advantages of demand response and energy storage systems. To evaluate the proposed method, simulation using the DigSilent Power Factory program is targeted. The simulation tool is intended to utilize the DigSilent Programming Language (DPL) feature to code the decision-making program in addition to modeling an electric grid.

**Keywords:** Smart Grids, Renewable Energy Sources, Active Power Control

## ÖNSÖZ

Tezimi hazırlama sürecinde bana destek olan, olumlu tavırlarıyla beni cesaretlendiren, bilgi birikimiyle bana yol gösteren ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Prof. Dr. Ömer Faruk Ertuğrul ve Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR'e, tez sürecinde beni motive eden sevgili kızım Ayşe Nur TÜR'e teşekkürlerimi sunarım.

Mehmet Necat TUR  
BATMAN-2023

## İÇİNDEKİLER

|                                                                                    |             |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>TEZ BİLDİRİMİ.....</b>                                                          | <b>iii</b>  |
| <b>ÖZET.....</b>                                                                   | <b>iv</b>   |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                              | <b>v</b>    |
| <b>ÖNSÖZ.....</b>                                                                  | <b>vi</b>   |
| <b>İÇİNDEKİLER.....</b>                                                            | <b>vii</b>  |
| <b>SİMGELER VE KISALTMALAR.....</b>                                                | <b>viii</b> |
| <b>1. GİRİŞ .....</b>                                                              | <b>1</b>    |
| 1.1. Genel Bakış.....                                                              | 1           |
| 1.2. Problem.....                                                                  | 3           |
| 1.3. Amaç.....                                                                     | 4           |
| <b>2. LİTERATÜR.....</b>                                                           | <b>6</b>    |
| 2.1. Akıllı Şebekelere Güç Kalitesi ve Kontrol .....                               | 13          |
| 2.2. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Entegrasyonu .....                | 15          |
| 2.3. Şebeke Entegrasyon Sorunları .....                                            | 20          |
| 2.4. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Şebekesine Entegre Edilmesi ..... | 22          |
| 2.4.1. Rüzgar Santrallerinin Elektrik Şebekesinde Entegrasyonu .....               | 24          |
| 2.4.2. Güneş Santrallerinin Elektrik Şebekesinde Entegrasyonu .....                | 30          |
| 2.4.3. Dağıtım Şebekesinde Entegrasyon Etkileri .....                              | 33          |
| 2.4.4. İletim Şebekesinde Entegrasyon Etkileri .....                               | 35          |
| <b>3. MATERYAL VE YÖNTEM.....</b>                                                  | <b>42</b>   |
| 3.1. Genel Bakış.....                                                              | 42          |
| 3.2. Depolama Yöntemi ile Güç Dengesi .....                                        | 43          |
| 3.3. Güç Sistemlerinde Aktif Güç Dengesi İçin Frekans Kontrol İşlemi .....         | 45          |
| 3.4. Akıllı Şebekelerde Gerilim Kontrolü .....                                     | 47          |
| <b>4. ANALİZ BULGULARI ve TARTIŞMA .....</b>                                       | <b>54</b>   |
| 4.1. Tasarlanan Sistem Modeli .....                                                | 54          |
| <b>5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>                                                | <b>58</b>   |
| <b>KAYNAKLAR.....</b>                                                              | <b>61</b>   |
| <b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>                                                              | <b>73</b>   |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

|                     |                                                                |
|---------------------|----------------------------------------------------------------|
| $\cos\phi$          | Güç Faktörü                                                    |
| $DGP(t)$            | Depolama Tarafından Dağıtılan Dengeleme Payı (MW)              |
| $DP(t)$             | Dengeleme İçin Ayarlanan Depolanan Güç (MW)                    |
| $I$                 | Akım                                                           |
| $I_{ph}$            | Fotonların Etkisiyle Meydana Gelen Enerji Akımı                |
| $I_{sh}$            | Sızıntı Akımını Temsil Ederken                                 |
| $P$                 | Aktif Güç                                                      |
| $P_{DKY}(t)$        | Dengeleme İçin Ayarlanan Kontrol Edilebilir Yük (MW)           |
| $P_{AŞÜ}(t)$        | Dengeleme İçin Ayarlanan Akıllı Şebeke Üretimi (MW)            |
| $P_{Kayıp}(t)$      | Güç Sisteminde Toplam Kayıp (MW)                               |
| $P_{KYük}(t)$       | Gerçek Zamanlı Kontrol Edilebilir Toplam Yük (MW)              |
| $P_{nonKYük}(t)$    | Gerçek Zamanlı Kontrol Edilemeyen Toplam Yük (MW)              |
| $P_{GZTÜ}(t)$       | Gerçek Zamanlı Toplam Üretim (MW)                              |
| $P_{GZTÜ}(t)$       | Gerçek Zamanlı Dağıtık Üretim (MW)                             |
| $P_{GZDepolama}(t)$ | Depolamadan şebekeye iletilen Gerçek Zamanlı Sağlanan Güç (MW) |
| $P_{GZGÜ}(t)$       | Gerçek Zamanlı Dağıtık Üretim (MW)                             |
| $P_{Yük}(t)$        | Gerçek Zamanlı Toplam Yük (MW)                                 |
| $R$                 | Direnç                                                         |
| $R_s$               | Çıkış Gerilimi Üzerindeki Düşümü                               |
| $R_{sh}$            | Seri Direnç                                                    |
| $Q$                 | Rekatif Güç                                                    |
| $V$                 | Gerilim                                                        |
| AC                  | Alternatif Akım                                                |
| ACE                 | Alan Kontrol Hatası                                            |
| AMI                 | Gelişmiş Ölçüm Altyapısı                                       |
| BEDS                | Batarya Enerji Depolama Sistemi                                |
| DC                  | Doğru Akım                                                     |

|       |                                        |
|-------|----------------------------------------|
| DEK   | Dağıtılmış Enerji Kaynakları           |
| DFIG  | Çift Beslemeli İndüksiyon Jeneratörü   |
| DSM   | Talep Tarafı Yönetimi                  |
| DÜ    | Dağıtık Üretim                         |
| DÜP   | Dengeleme Güç Piyasası                 |
| EDS   | Enerji Depolama Sistemleri             |
| EMC   | Elektromanyetik Uyumluluk              |
| EYS   | Enerji Yönetim Sistemi                 |
| HEDS  | Hibrit Enerji Depolama Sistemleri      |
| IGBT  | İzoleli Kapılı Bipolar Transistör      |
| IPM   | Entegre Zararlı Yönetimi               |
| OWF   | Deniz Üstü Rüzgar Çiftliği             |
| PCC   | Yaygın Bağlantı Noktasının             |
| PFK   | Primer Frekans Kontrol                 |
| PV    | Fotovoltaik                            |
| PWM   | Darbe Genişliği Modülasyonlu           |
| REDS  | Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemi        |
| SFK   | Sekonder Frekans Kontrol               |
| SPWM  | Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu |
| SVM   | Uzay Vektör Modülasyonlu               |
| TEİAŞ | Türkiye Elektrik İletim A.Ş.           |
| VFT   | Değişken Frekans Dönüştürücüsü         |
| VVC   | Reaktif Güç Kontrolü                   |
| VWC   | Volt-Güç Kontrolü                      |
| YAL   | Yük Alma                               |
| YAT   | Yük Atma                               |
| YEK   | Yenilenebilir Enerji Kaynakları        |
| YEÜ   | Yenilenebilir enerji üretimi           |

## 1. GİRİŞ

### 1.1. Genel Bakış

Fosil yakıtlar konvansiyonel kaynaklardır ve rezervleri hızla azalmaktadır (CRC,2022). Bu santraller ayrıca çevreyi kirleten ve küresel ısınmaya neden olan karbondioksit gazı yaymaktadırlar. Yenilenebilir enerji kaynakları (YEK), dayanıklılıkları ve çevre dostu olmaları nedeniyle fosil yakıtlı santrallerin yerini almada önemli bir potansiyele sahiptir (IPCC,2012). Yeni nesil elektrik güç sistemleri, bu çeşitlendirilmiş YEK' lerin, depolama sistemlerini, kontrol edilebilir yükleri (Elektrikli araçlar, birleşik Isı Gücü sistemleri, vb.) ve otomatik ve akıllı yönetim sistemlerini entegre etmektedir (IRENA,2013). Otomatik ve dağıtık bir enerji ağı olarak akıllı şebeke, elektrik ve iletişimin iki yönlü akışı ile tanımlanacak ve üretimden tüketiciye kadar her süreci izleyecektir (IEA, 2011; European, 2006; Rebecca, 2012). Gerçek zamanlı bilgi sağlamak ve anlık arz ve talep dengesini sağlamak için dağıtılmış bilgi işlem ve iletişimin faydalarını şebekeye entegre edilmektedir. Yönetim otomasyonu ve yapay zekâ, dijitalleşme, esneklik, dayanıklılık, sürdürülebilirlik ve kişiselleştirme açısından çeşitli avantajlar sunması ve güç sistemini akıllı hale getirmesi beklenmektedir.

Arz ve talebin uyumsuzluğu nedeniyle, güç sisteminin istikrarı çoğunlukla bozulmaktadır. Örneğin, sistemde büyük yüklerin ani kesintisi meydana gelirse, aşırı hız (frekans artışı) nedeniyle yakındaki santraller devre dışı kalabilir. Diğer alan da üretim sisteminin devre dışı kalmasından etkilenebilir ve düşük hız (frekans düşüşü) nedeniyle devreden çıkabilir. Bu, sistemlerin kademeli olarak kesintiye uğramasına yol açarak sistem kesintisine yol açmaktadır. Uyumsuzluğun diğer bir nedeni de enerji tüketim profiline zaman zaman değişmesidir. Yoğun saatlerde enerji talebi muazzam bir şekilde artmaktadır. Geleneksel olarak, yoğun zamanlarda, uyumsuzluğu telafi etmek için güç sistemi üretim rezervleri kullanılmaktadır. Ayrıca YEK'lerden üretim, kaynağın kesintili olması nedeniyle zamana göre değişmektedir. Dağıtılmış üretim - örneğin, müşterilerin sahip olduğu ve işlettiği küçük ölçekli yenilenebilir kaynaklar - arz ve talep arasında uyumsuzluğa neden olarak durumu karmaşık hale getirmektedir. Bu sorunların akıllı şebeke tarafından talep, yanıt ve depolama sistemleri aracılığıyla ele alınması hedeflenmektedir. Bu çalışmada, mevcut tüm kaynakları (depolama, kontrol edilebilir yükler, akıllı geleneksel santraller ve dağıtılmış santraller) kullanarak uyumsuzluğu

gerçek zamanlı olarak ayarlamak için bir yöntem önerilmiştir. DigSilent Power Factory simülasyon aracı kullanılarak yöntemin etkinliği doğrulanacaktır.

Akıllı şebekelerde, elektrik şebekesinde iletişim, bilgi işlem ve kontrolü birleştirerek, büyük ölçekli yenilenebilir kaynakları dahil edebilmektedir. Ek olarak, gelişen depolama teknolojileriyle ve yüklere kontrol sinyalleri sağlayarak arz ve talebi gerçek zamanlı olarak eşleştirilmektedir (NIST,2012). Bu, enerji verimliliğini artırır, tüketimleri azaltır ve iletim ve dağıtım ağlarının performansını ve güvenilirliğini artırmaktadır. Depolama teknolojisi, güvenilir hizmetler sunarken talepteki değişkenliği karşılamaya ilgili zorluklar, enerji depolamanın tarihsel gelişimini motive etmiştir (Denholm vd, 2010). Bu teknolojilerde, depolanacak yakıt olmadığı için, şebekenin elektrik enerjisini üretildikten sonra verimli bir şekilde depolamak için adapte olması gerekmektedir (Paul, 2012). Rüzgâr ve güneş enerjisi santralleri aralıklı ve değişken çıkışlı enerji üretir. Bu yeni kaynaklar şebeke üzerinde herhangi bir yere, belki de hizmet ettikleri yük merkezlerine yakın, ağ boyunca dağılmış ve hatta uzak konumlara yerleştirilebilir. Fosil yakıtlı santrallerin kullanıldığı rezerv gereksinimleri, şebekeye depolama kapasitesi oluşturmak için geleneksel yöntemlerin kullanımı dengesizlik oluşturur, bu durum YEK'lerin getirmeyi amaçladığı çevresel faydaları azaltacaktır. Arz ve talep arasındaki uyumsuzluğu dengeleme sorununa bir çözüm, depolama sistemidir. Depolama sistemi yaklaşımları, yer altı basınçlı havadan volanlara ve yeni pil malzemelerine kadar değişmektedir. Ayrıca depolama, yüksek maliyetli frekans regülasyonu, boş çalışma kapasitesi ve rezerv gibi yardımcı hizmetler sağlamaktadır. Rüzgâr ve güneş enerjisinin yoğun olmadığı santraller, depolama kullanılarak kaydırılabilir. Depolama sisteminin mevcudiyeti, mevcut dağıtım sistemini genişletmeden elektrikli araçların akıllı şebekeye entegrasyonunu kolaylaştırmaktadır (Chris vd.,2008; Denholm, 2010). Kontrol edilebilir yüklerde, akıllı şebekenin bir sonraki adımında tüketiciler, elektrik kullanımlarının hem zamanlamasını hem de miktarını kontrol ederek enerji tüketimleri hakkında daha bilinçli kararlar alabilirler. Katılım, otomasyon (DIGSILENT, 2011; Brandon, 2010; Ian, 2006) kullanılarak aktif davranış değişikliklerini veya pasif tepkileri içerebilir. Öte yandan, kamu kuruluşları tarafından artan kontrol düzeyleri, yük atma sağlayarak ve kamu kuruluşlarının bu kapasiteyi bir kaynak olarak pazarlara inşa etmelerini sağlayarak, otomatikleştirilmiş talep yanıt programlarına izin verecektir. Bu çalışmada, müşteriler tarafından idare tarafından kontrol edilmesine izin verilen yükler varsayılmıştır. Akıllı cihazlar kullanarak

müşteriler, konforlarını etkilemeden yüklerinin bir kısmını (klima sistemleri gibi) güç sisteminin düzenlenmesi için tahsis edecektir. Bunu yaparak, müşteriler yardımcı programdan ödüller alırlar. Müşteriler, yüklerin kontrol edilmesine izin verilen süreyi de belirtir. Bu yükler, sistemi düzenleme veya talep ve arzı eşleştirme ihtiyacına bağlı olarak yardımcı kuruluş tarafından bağlanır veya bağlantısı kesilir. Bu kontrol edilebilir yüklerin gerçek zamanlı durumu hakkındaki bilgilere AMI (Gelişmiş Ölçüm Altyapısı) aracılığıyla erişilir ve yük veri sunucusunda saklanmaktadır (Paul, 2013; Lemay, 2008; WÄRTSILÄ, 2011). Geleceğin güç sistemi, kurulu kesintili güç kapasitesinin en az %50'sine tekabül eden bir kapasite gerektirecektir (Leong vd,2009). Akıllı güç üretimi, operasyonel esneklik, yakıt esnekliği ve enerji verimliliği ile karakterize edilir. Çalışmaya başladıkları andan itibaren bir dakika içinde şebekeye güç sağlamaları ve beş dakika içinde tam yüke ulaşmaları beklenmektedir. Bakım sorunu yaratmadan çok hızlı durup duracak şekilde tasarlanmıştır.

## 1.2. Problem

Akıllı şebekeler, klasik yöntemlerle oluşturulmuş elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinin daha güvenli, dinamik ve verimli hale getirilmesini sağlamakla birlikte, tüketicilerin aynı zamanda sisteme güç sağlayarak üretim yapmasından dolayı bazı zorlukları da beraberinde getirmiştir. Dağıtılmış üretim tesislerinin şebekeye entegrasyonu, doğru bir analiz sürecinden geçirilmediğinde, dağıtım şebekesi sisteminde ve diğer kullanıcıların güvenliği açısından çeşitli problemlere yol açacağı düşünülmektedir. Bu nedenle, enerji sürekliliği açısından bu entegrasyonların uygun şartlar içerisinde gerçekleştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Şebeke entegrasyonu sürecinde, dağıtılmış üretim tesislerinin potansiyel problemler bulunmaktadır. Temel olarak bu problemler [IEEE , 2001; Çetinkaya, 2014;Sanjab vd., 2016; Kaygusuz vd.,2012);

- Yüksek güç üretim sistemlerinin dağıtım ağına bağlanması gerektiğinde, uzun iletim hatları tercih edilebilmektedir. Fakat, uygun kesit seçimi yapılmadığında, uzun iletim hatlarında gerilim yükselmesi sorunları ortaya çıkabilmektedir. Bu sorunlar, üretim tesislerinde ve dağıtım noktalarında hissedilebilmektedir. İletim hattının kesiti, paralel sistem sayısı, bağlantı noktası ve üretim miktarı gibi faktörlere bağlı olarak, gerilim değişim oranı farklılık gösterebilmektedir. Uzun

iletim hatlarında meydana gelen enerji kayıpları da önemle ele alınması gereken bir husustur.

- Elektrik enerjisi dağıtım sistemleri genellikle tek yönlü enerji akışına göre tasarlandığından, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ile çift yönlü güç akışına uygun hale getirilmeleri önemlidir. Entegrasyon, güç akışının değişimine neden olabilir ve reaktif güç kontrol hesaplamalarını etkileyebilir. Bu durum aynı zamanda dağıtım sisteminin koruma rölelerinin çalışma prensiplerini de etkileyebilir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunda kullanılan konvertör sistemleri, şebeke üzerinde farklı harmonik akımların artışına ve dalgalanmalara neden olabilir. Aynı şekilde, dağıtılmış üretim tesislerinin adaya dönüş durumu, en büyük risklerden biridir. Kısa devre sonucunda adaya dönüş oluşabilir. Bu durum, işletme toprağını devre dışı bırakma ihtimalini artırabilir ve sağlam fazlarda zararlı gerilim yükselmelerine yol açabilir.

Yenilenebilir enerji kaynakları sisteme entegre edilirken, entegrasyonun gerçekleştiği noktada başka üretim tesislerinin bulunması önemli bir husustur. Entegre enerji üretimi, güç sisteminde karmaşık etkilere yol açabilir. Güç sistemlerinde gerilim dalgalanmaları ve aşırı yüklenme gibi sorunlar ortaya çıkabilir. Bu tür sorunların çözümü, analiz yapılırken enerji dengesinin sağlanmasına dayanmalıdır. Gerçekleştirilen çalışmalar, yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunun genellikle sistemin gerilim seviyelerinde büyük bir değişiklik yapmadığını göstermektedir. Bunun nedeni, enerji dengesinin sağlanmış olmasıdır. Ancak, entegre enerji kaynaklarının özellikleri dikkate alınmalıdır. Eğer yerel kaynaklar sürekli üretim yapmıyor ve dengesiz çalışıyorsa, güç katsayısını kontrol etmek adına önlemler alınmalıdır (Özdemir vd., 2017; Akçin vd., 2013; Bird vd., 2013).

### 1.3. Amaç

Güç akışı ve entegrasyon problemleriyle ilgili birçok uygulamada, farklı noktalardaki sensörlerden elde edilen ölçüm verileri, çeşitli yöntemlerle analiz edilerek şebeke ekipmanlarının kontrolünü sağlamak amacıyla kontrolör tasarımı kullanılmaktadır. Ayrıca, güç akışının kontrolünde kullanılan geleneksel yöntemlerin geliştirilmesi ve sezgisel algoritmalar kullanılarak iyileştirilmesi için çeşitli çalışmalar

yapılmıştır (Sajadi vd.,2012;Farag vd., 2012; Oymak vd., 2022). Elde edilen sonuçlar, akıllı şebekelerin artan enerji taleplerine cevap verebilme, enerji verimliliğini artırma, dinamik güç akışını belirlenmiş yöntemlerle şebeke üzerinde kontrol etme, dağıtılmış durumdaki YEK'leri yönetme ve şebekelere entegre edilmiş enerji depolama sistemlerini kontrol etme yeteneklerini kapsamaktadır. Bu amaçla, akıllı şebekelerle ilgili mevcut çalışmalar incelenmiş ve geleneksel sistemlerle karşılaştırılmış, tez çalışmasının temel altyapısı oluşturulmuştur. YEK'lerin şebekeye entegrasyonu sürecinde elektrik enerjisinin kalitesini korumak için alınması gereken önlemler, sistemin verimliliği ve tüketicilerin güvenliği açısından büyük öneme sahiptir. Elektrik enerjisinin kalitesi, gerilim ve frekans gibi iki önemli parametre üzerinden değerlendirilir ve bu parametrelerin belirlenen standartlarla uyumlu olması ve düzenli olarak kontrol edilmesi, şebeke güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, akıllı şebekelerde devreye girme ve çıkma sırasında meydana gelebilecek gerilim değişimlerinin tüketicilere zarar vermesini önlemek ve bu problemlerden kaynaklanan hat üzerindeki kayıpları azaltmak amacıyla akıllı şebekeler üzerindeki güç kalitesini optimize etmeye yönelik bir araştırma yapılmaktadır. Aynı zamanda, YEK'lerin şebekeye entegrasyonu sırasında oluşabilecek elektriksel olayların istenmeyen etkilerini önleyerek sistemin daha verimli çalışmasını sağlamak için yeni yöntemlerin geliştirilmesi sağlamaktır. Bu çalışma kapsamında, akıllı şebekelerdeki gerilim regülasyonunu optimize etmek amacıyla devreye girme ve çıkma esnasında oluşabilecek gerilim değişimlerinin tüketicilere zarar vermesini önlemek ve hat üzerindeki kayıpları azaltmak hedeflenmektedir. Aynı zamanda, YEK'lerin entegrasyon sürecinde meydana gelen elektriksel olayların olumsuz etkilerini engelleyerek sistemin daha verimli bir şekilde işlemlerini sağlamak için yeni yöntemlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Akıllı Şebekelere Güç Kalitesi ve Kontrol konusu, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Entegrasyonu, Şebeke Entegrasyon Sorunları ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Şebekesine Entegre Edilmesi konuları tez çalışmasının İkinci Bölümünde, Depolama Yöntemi ile Güç Dengesi, Güç Sistemlerinde Aktif Güç Dengesi İçin Frekans Kontrol İşlemi ve Akıllı Şebekelerde Gerilim Kontrolü İkinci Bölümde Analiz ve Bulguların Tasarlanan Sistem Modeli ile birlikte Üçüncü Bölümde sunulmuştur.

## 2. LİTERATÜR

Akıllı şebekelerle ilgili dünya genelinde yapılan çalışmalarda, örnek uygulamalara sıkça vurgu yapılmaktadır. Ayrıca, gelişmiş ülkelerde bu alana daha fazla yatırım yapılması gerektiği konusunda planlamaların önemli olduğu belirtilmektedir. Örneğin, elektrik şebekelerinin akıllı şebekeye dönüştürülmesinin güç eksikliklerini sensörler aracılığıyla anında tespit etmeyi, kesintisiz güç sağlamayı, enerji kalitesi ile ilgili arızaları onarmayı, iletim ve dağıtım hatlarında kayıpları azaltmayı, verimliliği artırmayı ve YEK'lerden elde edilen enerjiyi mevcut sisteme entegre etmeyi mümkün kılınmaktadır (Esmail vd.,2006).

YEK'lerin, büyük rüzgar çiftlikleri ve güneş santrallerinin iletim sistemlerine entegrasyonu ile birlikte senkronizasyon, sistem kararlılığı ve güç kalitesi sorunları ortaya çıkmaktadır (Erlich vd.,2006; Chinchilla vd., 2006). Rüzgar türbinleri gibi yenilenebilir kaynaklardan elde edilen enerjinin akıllı şebekelere entegrasyonu da üzerine yapılan çalışmalar oldukça önemlidir ve bu konuda farklı bakış açıları getirilmiştir (Chinchilla vd., 2006; Rona, 2014; Demirtaş, 2008). Bu çalışmalar, rüzgar türbinlerinin şebeke bağlantısı ve bağlantı sonrasında şebeke üzerinde meydana getirdiği etkileri incelemekte ve bu kaynakların üretimdeki payını arttırırken karşılaşılabilecek potansiyel sorunlara çözüm aramaktadır.

Enerji ihtiyacının karşılanması için geliştirilen uygulamalarda, çeşitli enerji kaynaklarının entegre edildiği, farklı kaynakların bir arada kullanılmasıyla verimliliğin artırıldığı ve aynı zamanda bir kaynağın eksilmesi veya azalması durumunda diğer kaynaklarla sistemin enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla hibrit sistemler üzerine birçok çalışma yapılmaktadır (Fulzele vd.,2012). Literatürde, bu sistemlerle ilgili yapılan çalışmalarda genellikle hibrit sistemlerin daha ekonomik bir şekilde nasıl tasarlanabileceği üzerinde durulmaktadır (Wei vd,2014). Enerjinin tek bir kaynaktan sağlanması yerine hibrit sistemlerin kullanılması, önceden tahmin edilemeyen YEK'lerin ve yük talebinin varlığı, sistemdeki bileşenlerin doğrusal olmayan özellikleri ve kontrol sistemini etkileyen birçok parametre nedeniyle daha karmaşık bir sürecin işletilmesini gerektirmektedir (Eskander vd.,2005). Hibrid enerji sistemlerinde elektrik enerji kalitesinin iyileştirilerek sürekli durum performanslarının araştırılması, önemli bir araştırma alanı olarak çalışmaların odak noktasında yer almaktadır (Mehdi vd.,1977). Hibrid enerji sistemleri, bazıları otonom çalışan ve bazıları ise şebeke bağlantılı olan

farklı yapılar içermektedir. Otonom sistemlerde üretilen enerji, sistemin mevcut yükleri tarafından tüketilirken, şebeke bağlantılı sistemlerde üretilen enerji, sistemdeki yükler tarafından tüketilebildiği gibi aynı zamanda ihtiyaç fazlası enerji mevcut olduğunda şebekeye güç aktarımı da mümkün olmaktadır (Oymak vd.,2022). Araştırmacılar, elektrik dağıtım şebekelerinin, enerji üreticileri tarafından sağlanan enerjinin entegrasyonunu destekleyecek şekilde tasarlanmadığına dikkat çekmektedirler. Bu bağlamda, şebekedeki enerji kalitesi, piyasaya sunulan enerjinin kesintisiz bir şekilde sağlanması ve dağıtım sistemine ve kullanıcılara olumsuz bir etkisi olmaması için büyük önem taşımaktadır. Özellikle, dağıtım sistemine entegre edilen enerjinin kalitesinin sağlanması için gerilim ve frekans gibi kritik parametrelerin belirlenen sınırlar içinde tutulması gerektiği üzerinde özellikle vurgulanmıştır (Ertuğrul vd.,2013). Diğer yandan, bazı araştırmacılar elektrik enerji sisteminin optimizasyonunda, enerji üretim ve tüketim noktaları arasındaki denge ve gereksiz enerji kaybının minimize edilmesi gibi temel konuların önemi vurgulanmıştır. Var olan elektrik şebekelerinde güç kalitesi standartlarının sağlanmasında karşılaşılan zorlukların, akıllı şebeke sisteminin tüm aşamalarında, başlangıçtan nihai tüketim noktasına kadar olan 5 bölümü de kapsayacak şekilde otomasyon ve optimizasyon ile çözülebileceği ifade edilmiştir (Elgammal vd.2021).

Rüzgar ve güneş kaynaklarındaki dalgalanmalar ve enerji talebindeki değişimler nedeniyle, bu tür yenilenebilir enerji tesisleri ile enerji iletim sistemi bağlantılı hale getirilmiştir, ancak bu durum önemli harmonik bozulma ve gerilim kalitesi sorunlarına yol açmıştır. Mikroşebeke frekansı ve gerilimi, her DÜ ünitesinin reaktif ve aktif gücünü düzenlemek için statik anahtar açıkken kullanılmaktadır. DÜ sistemi, şebekeye sabitlenmiş durumdayken genellikle halka bağlantısı yapılır. Bu işletme stili, her DÜ ünitesinin ürettiği aktif ve reaktif gücün kontrolünü sağlamaktadır. Mikroşebekenin büyük şebekeye bağlandığı noktada enerji kalitesi sorunları, gerilim düşmeleri, harmonik bozulmalar, aşırı gerçek ve reaktif güç ve dengesiz yükler gibi sorunlar, güç sisteminin verimli çalışmasını engelleyebilmektedir. Güç sistemindeki gerilim kalitesi sorunları, yeni bir kavram değildir, ancak güç kalitesi düzenleme yaklaşımı son yıllarda genişlemiştir. Mikroşebeke alanındaki son ilerlemeler, dönüştürücüler ve invertörlerin kullanımıyla güç kararsızlığını azaltan birçok yeni istikrar stratejisinin uygulanabilmesini sağlamıştır(More vd.,2021). Kontrol döngüsündeki akım bileşenlerinin izlenmesiyle, denetleyiciler dağıtılmış jeneratörlerin gerilim ve frekansını yönlendirebilir. Hem gerilim

hem de frekansın var olduğu durumlarda, bozucu etkilerin azaltılması için bir optimizasyon yaklaşımı ve denetleyici tasarımı tekniklerle birleştirilebilir. Sistem denetleyicileri, birçok DÜ'den oluşan bir mikroşebeke oluşturmak için kullanılabilir (Nair vd.,2022). Bu, mikroşebekenin gerilim ve frekans istikrarı için gerekli olan enerji paylaşım düzeyini belirlemektedir. Arayüze sahip bir DÜ, gerilim ve frekans dalgalanmalarını azaltarak güç şebekesini genel olarak daha güvenilir hale getirebilmektedir (İbrahim vd.,2013). Modern denetleyici teknikleri geliştikçe, etkin stabilizasyon için uygun sınıflandırmaların sağlanması daha da önem kazanmıştır. Güneş Fotovoltaik (PV) sistemleri için şebekeye bağlı invertörler, bir mikroşebekenin bakım maliyetini ve sürekliliğini azaltmada yardımcı olur. Bu tür bir mikroşebeke, hem alternatif akım hem de doğru akım taşıyabilmektedir. Güç dönüştürücülerin ve şarj dönemlerinin sayısını azaltmak için doğru akım tipi ihtiyaçları olan elektrikli veya hibrit araç şarj istasyonları gibi DC şebekesi gereklidir. Alternatif akım mikroşebekede enerji akışını faz düzeltmeye gerek yoktur çünkü senkronizasyon sorunları ve reaktif güç akışı bulunmamaktadır (Shah,2020). Benzinli jeneratörler, güneş ve rüzgar enerjisinden alınan enerji ve batarya bankalarından alınan enerji eklenerek, donanım, altyapı ve sonuç olarak finansal sistem üzerinde ciddi zararlara neden olabilir (Mujtaba vd.,2020;Swamy). Sistemin stabil veya istikrara doğru ilerleyip ilerlemediğini belirlemek için kararlılık ölçümleri kullanarak, bir sistemin durumunu değerlendirilmektedir. Her şebeke noktası, güçlü ve zayıf yönlerin değerlendirilmesi ve olası seçeneklerin tartışılması için bir fırsat sunmaktadır. Dağıtım sistemlerindeki gerilim ve akım harmonikleri azaltılacaktır. Harmonik akım kablolarında ve hatlarda izlenirken, gerilim harmoniği ise şebeke noktasında tespit edilmektedir. Bu harmonikleri önlemek için en yaygın araç pasif filtrelerdir (Reed,2017). Pasif filtreler, harmonik akımların sistemlere girmesini engeller ve düşük empedanslı bir yol sağlamaktadır. Birçok çalışma, güç sistemlerinde harmonikleri azaltmak için tek ayarlı filtreleme gibi pasif filtreler kullanmıştır. PV bağlantılı bir dağıtım sisteminde oluşan deformasyona dayalı olarak, harmonik sınırlı barındırma kapasitesini artırmak için pasif filtre kullanımı, harmonik filtreleme, güç faktörü ve gerilimi iyileştirir. Harmonik gerilim telafi edici ve asimetrik Senkron Referans Çerçeve Denetimi sistemi, gerilim toplam harmonik bozulmasını düşürmek için kullanılmıştır. Birçok araştırmacı, harmonikleri azaltmak için pasif bileşenleri kullanmış olsa da, özellikle kontrol alanında, hem gerilim hem de akım harmoniklerini göz önünde

bulunduranlar daha azdır. Güneş ve rüzgar enerjisi santralleri, gün boyunca enerji kaynağının kullanılabilirliği nedeniyle üretimlerini büyük ölçüde artırmışlardır.

Güç kalitesi ile ilgili olarak, YEK'lerin kullanımı gerilim dalgalanmaları ve hizmet kesintilerine neden olur, bu da doğal çevre üzerinde önemli olumsuz etkilere yol açmaktadır. YEK'ler tarafından üretilen elektrik, yenilenemez kaynakların kullanımını ortadan kaldırarak ozon tabakasını azaltan kirleticileri azaltması açısından önemlidir. Matris bağlantılı sürdürülebilir güç kaynağı varlıkları genellikle yük merkezlerine uzakta bulunan geniş iletim ağları aracılığıyla süper yapıya bağlandıklarından dolayı alan gerektirmektedir. PV sisteminin üç aşamalı invertörü, düzenli bakım ile zirve durumunda tutularak en güvenilir ve sağlam elektrik güç altyapısını sağlamaktadır. Yoğunluk elektroniğinin gelişimi ve geliştirilmesi, en belirgin olarak üç aşamalı invertörle dc-dc dönüştürücüsü kullanılarak gücün şebekeye entegrasyonunu mümkün kılmıştır. Güç kaynaklarının yeşil enerji sistemine entegrasyonu, bu gelişmeleri kolaylaştırır. En iyi güç kaynaklarını bulmak için MPPT kontrol hesaplaması gereklidir. Yapay sinir ağları, kombinli ısı ve güç, bulanık düzenleyiciler, pertürbasyon ve gözlemci ve dağ gibi birçok araştırma, en maliyet etkin yenilenebilir kaynaklardan en fazla enerjiyi izole etmek için MPPT hesaplamaları kullanmıştır (Arnoe vd.,2014).

Önceden tahmin edilmeyen enerji krizleri, geleneksel güç kaynaklarının kontrolsüz kullanımı sonucunda ortaya çıkmış ve YEK'lerin kullanımına yönelik modern araştırmaları teşvik etmektedir. Güneş enerjisi ve rüzgar enerjisi gibi kaynaklardan sağlanan şebeke genelindeki yenilenebilir enerji üretimi büyük ölçüde artmıştır. Yenilenebilir enerji üretiminin (YEÜ) etki düzeyi, ağın güvenilirliğini etkilemektedir, çünkü frekans ve gerilim dalgalanmaları nedeniyle büyük ölçekli elektrik sistemlerinin işleyişine etki etmektedir. Dağıtım ağında yüksek oranda YEK'lerin bulunması, frekans yönetimi, gerilim kontrolü ve titreme nedeniyle oluşan gerilim dalgalanmalarının azaltılması gibi ana hedeflere odaklanmaktadır. Hızlı aktif cihazlardan biri olan Statik Kompansatör cihazları sayesinde, yenilenebilir enerji sistemlerinin dağıtım sistemine entegrasyonu sırasında gerilim düzenleme sistemlerinin tasarımı ve kontrolü incelenmelidir.

Elektrik sistemi, YEÜ dalgalanmaları ve iletişim sisteminden az veya hiç yönlendirmesi olmadığı durumlarda çerçevenin gerilimini kontrol etmek için etkili bir yöntem olarak önerilmektedir. Bu dönüştürücü tabanlı yapı, akıllı yüklerle birlikte çalışan

kimlik anahtar geçişleri ve anahtar olmayan yükleri seri olarak bağlamaktadır. Bu Akıllı Yükler, temel yükler üzerinde gerilimi yönlendirmek suretiyle genel tarafta yönetime katılamaktadır. Artan YEÜ kullanımı, özellikle faktör hızlı rüzgar enerjisi dönüşüm sistemleri, güç ve gerilim kalitesini etkilemektedir. Enerji Depolama Sistemleri (EDS) kullanımının bu sorunların birçoğunu etkin bir şekilde ele alabileceği gösterilmiştir, ancak bu sistemlerin konumlandırılması veya yetersiz boyutlandırılması ağ verimliliği üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu nedenle, bu çalışma, hem iletim hem de dağıtım düzeylerindeki güç şebekeleriyle ilgili bazı önemli sorunlar için, hizmet ölçeğinde EDS'lerin en iyi tahsis ve boyutlandırması için benzersiz çalışma yöntemlerini ortaya koymuştur. EDS konumlandırması için optimizasyon metodolojileri kullanılarak, dağıtım kanallarının verimliliği ve güç kalitesi, analiz edilen güç iletiminin frekans tepkisi ve yenilenebilir enerji entegrasyonunun kolaylığı başarılı bir şekilde arttırılmıştır. Mevcut enerji sektörü ile ilgili bir dizi mevcut sorun için pratik çözümler sunmaktadır, örneğin gerilim sapmalarını, güç dağılımını, tepe yükünü, titreysi ve frekans farkını ve frekans değişim hızını (ROCOF) en aza indirmeyi amaçlamaktadır. Kapsamlı simülasyon çalışmalarına göre, düzenli ve düzensiz EDS boyutlandırma metodolojilerini kullanan EDS konumlandırması, dağıtım ağlarının verimliliğini ve gerilim kalitesini arttırmak için faydalıdır. Toplam gerilim iyileştirme, gerçek ve reaktif güç kayıpları ve hattın yükleri değerlendirme kriterleri olarak ele alınırken, gerilim sapması ve titreysi güç kalitesi özellikleri olarak dikkate alınmaktadır. Araştırma ayrıca, performans artırma açısından PQ enjeksiyon temelli EDS dağıtım yönteminin, reaktif akım kompanzasyon paketleri sunarak P enjeksiyon temelli yaklaşımı geride bıraktığını göstermektedir. Simülasyon bulguları ayrıca, bir batarya EDS'in (MVA) güç boyutunun belirlenmesi için pratik bir yöntemin, frekans desteği için güç boyutunun belirlenmesi olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, gerekli aktif gücü sağlayarak, şebeke ölçekli EDS'lerin uygun boyutlandırılması ve Kp ile Tip (PQ kontrolcüsünün aktif kısmı) parametrelerinin ayarlanması, frekans tepkisini arttırmada yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak, önerilen EDS konumlandırma ve boyutlandırma metodolojileri, mevcut güç şebekesinden gelecekteki bir şebekeye geçiş planını destekleyebilir (Nakkela, 2021).

YEK, özellikle rüzgar enerjisi tesislerinin genişlemesi, küresel enerji stratejilerinde önemli vurgu almaktadır. Önceden tahmin edildiği gibi, YEK ve DÜ oranının artması, güç dağıtımının müşterilere daha güvenilir bir şekilde ulaştırılmasında iyileşme ile sonuçlanmalıdır. Burada sunulan makalenin odak noktası, YEK'lerin

dalgalanmasını hafifletmeye yönelik elektrik depolama sistemlerinin teknolojileri ve kullanımlarıdır. Gündeme getirilen zorluklar, güç depolama sistemlerinin birçok alternatifinin, üretim ve yük kaydırma, tepe kesme, iletim genişleme planlarının ertelenmesi, ek hizmetlerin edinilmesi ve gerilim kararlılığı sorunlarına yardımcı olabileceğini göstermektedir. Programların temel amacı, yenilenebilir kaynakların düzensiz doğasını ortadan kaldırmaktır. Ayrıca, ağ problemleri ve depolama sistemleri arasındaki bağlantılar, iletim ve dağıtım ve konut seçeneği arasındaki bağlantılar ve güç piyasası ve depolama teknolojileri arasındaki bağlantı gibi belirli ilişkili konular da vurgulanmaktadır. Bu nedenle, depolama kapasitesi, ortalama güç, dönüş süresi, birim finansman ve işletmeciler, tur dönüş etkinliği, fiziksel yönler, döngüsel kararlılık, ömür, kullanılabilirlik ve çevresel etkiler gibi birkaç ilgili kriter açısından güç depolama alanında bazı benzersizlikler bulunmaktadır (Das,2019). Enerjinin aşırı kullanımı, küresel etkileri vurgular ve sonunda insan üretkenliğini ve yaşam kalitesini azaltmaktadır. Bu nedenle, rüzgar ve güneş enerjisi gibi YEK'lerin ve diğer temiz enerji türlerinin elektrik sistemindeki kullanımı giderek artmaktadır. Ancak, bu yeni enerji kaynaklarının gelişimi, çevresel savunmasızlık, düşük işletme stabilitesi ve güç şebekesiyle iyi entegre edilememesi nedeniyle sınırlıdır. Güç yükü, genel olarak aile yaşam standartlarının iyileşmesi, elektrikli araçlar, elektrik yerine kullanımı, akıllı evler ve yeni enerji ekipmanlarının popülaritesi sonucu hızla büyümektedir. Etkili yük yönetimi, sakinlerin elektriğe erişimine zamanında bilgi sağlayabilir ve ardından elektrik tasarrufu için ağ düzenlemesi başarıyla güç israfını azaltabilmektedir. Yapay zeka, kullanışlı ve etkili bir araç olarak, terminal elektrik miktarı özellik öğreniminin küresel değerlendirmesinin gelişimine önemli katkı sağlamaktadır. Birçok akademisyen günümüzde, yapay zeka ile bağlantılı teknoloji kullanarak enerji sistemi için bir bulut ağı oluşturmak ve non-invaziv yük çalışmaları yapmak için bulut uç noktalarını kullanmaktadır. Ancak, terminal güç kullanımının dünya çapında gerçekleştirilmesinde birçok zorluk olacaktır. Öncelikle, şu anda kullanılan teknoloji yalnızca yüksek frekanslı örnekleme verileri için çalışır ve veri toplama ekipmanı için talepkar donanım özelliklerine sahiptir. İkincisi, yükler arasındaki sınıf içi farklar, şu anda kullanılan yük etiketlerinin genelleştirilmesini imkansız hale getirir ve non-invaziv yük sınıflandırması örnekler ve coğrafyalarda hala optimal bir şekilde yapılamamaktadır. Bahsedilen endişeler, bu çalışma tarafından açıklığa kavuşturulmuş ve ayrıca belirli elektriksel özelliklerin nasıl tespit edileceği konusunda bazı görüşler sunulmuştur (Saboori vd,2016).

YEÜ, güneş ve rüzgar enerjisi tesisleri gibi, belirsizliği nedeniyle güç şebekesinde işletme sorunlarına yol açtığı tespit edilmiştir. Güç paylaşımı, mikro şebekeyi ekonomik olarak güç ağı ile entegre etmeye ve sistemdeki akıllı enerji akışını yönetmeye olanak tanınmaktadır. Temel enerji kaynağı üç fazlı AC şebeke olarak kullanılmaktadır. PV ile güçlendirilmiş bir mikro şebeke, geleneksel şebekeyle bağlantılıdır. Doğrusal olmayan yükler, güç şebekesinin kararlılığını ve gücün kalitesini bozmaktadır. Akıllı mikro şebeke sistemleri için akıllı işlemciler, enerji akışının etkin ve etkili bir şekilde yönetilmesini ve dolayısıyla güç dinamiğinin korunmasını sağlamak için önerilmektedir. Mikro şebekeler ve güç ağı arasında güç dağıtımını iyileştirmek için bir dizi değişken bilgi tabanlı düzenleyiciye veri sağlanmaktadır (Tan vd.,2022). Pratik uygulamalara vurgu yapmak için birçok vaka çalışması ve gerçek zamanlı sunulmuştur. Çoğu şebeke tekniği. Çağdaş elektrik dağıtım sistemlerinin teknolojik, finansal ve çevresel performansı, akıllı şebekenin katkısı ile artırılmaktadır. Birden fazla büyük ölçekli üreticinin etkinleştirilmesiyle, yenilenebilir enerjinin barındırılmış potansiyeli artırılmakta, aktif güç kayıpları azaltılmakta ve esneklik artırılmaktadır. Bu kontrol stratejileri, yapay zeka ve makine zeka yaklaşımlarının yardımı ile üstün kontrol sağlayabilmektedir (Kumari vd.,2010).

Doğal yaşam ortamlarındaki canlıların davranışlarından ilham alınarak geliştirilen sezgisel yöntemler, optimizasyon problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Genetik Algoritma (Cho vd.,2012; Soares vd., 2011), Karınca Koloni Algoritması (Verma vd.2012,Mohammadi vd.,2012), Parçacık Sürü Optimizasyonu (Kim vd.,2007;Singh vd.,2011) ve Yapay Arı Koloni Algoritması (Ozturk vd.,2010; Turkey, 2011) gibi bu tür yöntemler, farklı alanlarda çeşitli optimizasyon problemlerine başarıyla uygulanmış ve aynı zamanda alternatif akım şebekelerinde güç akışı optimizasyonu problemine yönelik çözümler sunmuştur (Brown, 2008). Sezgisel yöntemler, matematiksel yöntemlerden ayrılarak popülasyon tabanlıdır ve türev işlemlerine ihtiyaç duymazlar, bu özellikleri sayesinde geleneksel optimizasyon yaklaşımlarından farklılık gösterirler. Bu yöntemler, potansiyel çözüm uzayında gezinerek, iteratif bir süreçte daha iyi çözümleri bulmak üzere tasarlanmıştır. Bu nedenle, kontrol yöntemleri, karmaşık ve çok boyutlu optimizasyon problemlerinde başarılı sonuçlar elde etmek için tercih edilen araçlardan biri haline gelmiştir. Özellikle enerji sektörü gibi karmaşık ve dinamik alanlarda, akıllı şebekeler, enerji üretimi ve dağıtımı, güç akışı optimizasyonu gibi zorlu

problemlerde güç kontrolü yöntemlerin etkin bir şekilde kullanılması, çözümlerin kalitesini artırmakta ve verimliliği artırmaktadır.

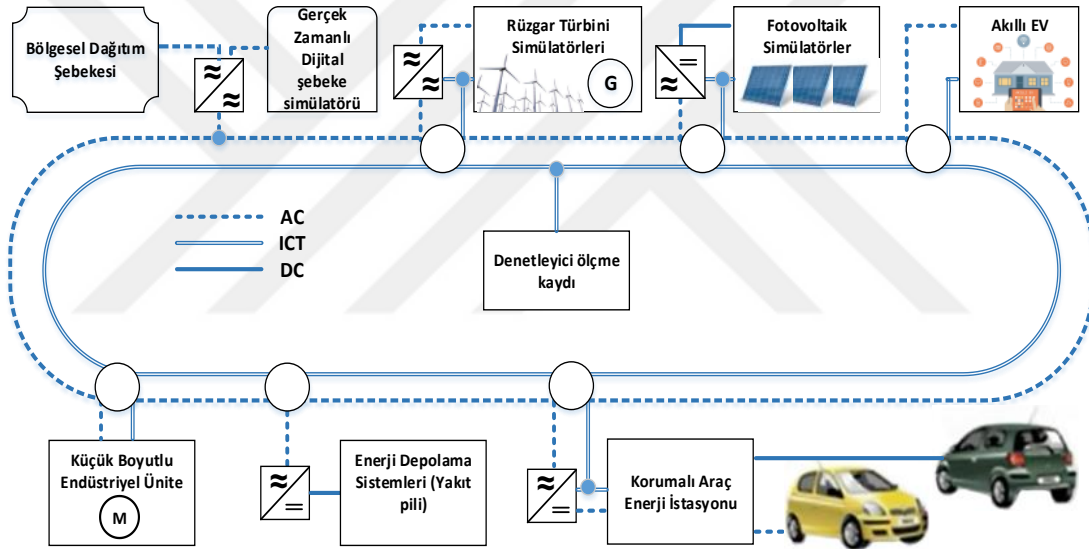
Sonuç olarak akıllı şebekelerde güç kontrolü, modernize edilmiş ve otomatikleştirilmiş güç dağıtım sistemlerinde günden güne gelişmekte ve oldukça geniş bir çalışma alanı barındırmaktadır. Bu durum, mevcut geleneksel tesislerin bütünlüğünü ve ileri düzeyde güç mühendisliğini, karmaşık sensörler ve izleme teknolojisi, iki yönlü iletişim ve DÜ birimlerinin kapsamlı bir güç kontrolü sürecini içermektedir (Moslehi vd.,2010; Ipakchi, 2009). Bu nedenle, DÜ farklı biçimlerde kontrolü gerçekleştirmektedir (Reigh vd.,2002). DÜ sistemleri, özellikle son kullanıcılara güç sağlama amacıyla tasarlanmış olup, DÜ birimlerinin güç şebekesine bağlanması, gerilim durumları ve güç akışı üzerinde hem olumlu hem de olumsuz olarak önemli bir etkiye sahip olmaktadır (Chang vd.,2009). Olumlu etkileri, gerilim desteği, kayıp azaltma, iletim ve dağıtım sistemlerinin kapasitesini artırma ve sistem güvenilirliğini artırmak olarak açıklanabilir. Ancak, dağıtım şebekesindeki DÜ birimlerinin faaliyetleri, bağlandıkları üretim barasının gerilimini etkileyebilir (Shu-Yun vd.,2009). Güç sistemlerindeki DÜ birimlerinin hızla artan kullanımına bağlı olarak, bu etki daha da önemli bir hale gelmekte ve bu nedenle yenilenebilir DÜ kaynaklarının öngörülemeyen ve tahmin edilemeyen yapısı entegrasyon sürecini daha karmaşık hale getirmektedir (Divya vd.,2022).

## **2.1.Akıllı Şebekelere Güç Kalitesi ve Kontrol**

Elverişli, güvenilir, dirençli, istikrarlı ve sürdürülebilir işleyişi sağlayan bir akıllı şebeke, iki yönlü güç/veri akışına sahip bir elektrik şebekesidir ve bütünleşik ileri bilgi/iletişim, algılama, ölçüm ve kontrol teknolojilerini içermektedir. Bu özellikler, akıllı şebekenin esnek, güvenilir, dirençli, istikrarlı ve sürdürülebilir çalışmasını kolaylaştırmaktadır (Yu vd,2016; Arnold ,2011). Modern bir şebeke kavramı, elektrik üretimi ve dağıtımının verimliliğini artırmak, güvenilirliği iyileştirmek, elektrik kullanıcılarına elektrik güç tüketimlerini ve maliyetlerini kontrol etme konusunda bilgi vermek ve elektrik güç endüstrisinin iklimsel etkilerini azaltmak ihtiyacıyla motive edilmiştir. Bu durum, akıllı şebekenin gelişimi için endüstriyel, araştırma ve düzenleyici faaliyetlere yol açmıştır. Akıllı şebekenin önceden belirtilen işlevlerini sağlayabilmesini sağlayan dört unsur vardır: dağıtılmış enerji kaynakları (DEK'ler), bilgi iletişim teknolojileri ve sensörler, araç-şebeke altyapısı ve elektrik pazarları. Şekil 1, şebekenin üretim, iletim, dağıtım ve tüketim aşamalarında elektrik altyapısını göstermektedir. Akıllı

şebekede, bu unsurlar, kontrol sinyallerinin ve ölçüm verilerinin sensörler ve akıllı sayaçlar üzerinden güvenli bilgi ve iletişim kanallarıyla iki yönlü veri akışı ile etkileşim halindedir.

Akıllı Şebekelerde veri iletişim sistemleri ve kontrol mekanizması en önemli esastır (Kolhe, 2017; Kabalcı, 2021). İşletim açısından akıllı bir şebeke oluşturmak için iletişim ve bilgi teknolojisi altyapılarının elektrik güç sistemine dahil edilmektedirler. Bu durum, daha verimli, güvenilir, duyarlı ve esnek ağlar oluşturmak için dijital bilgi teknolojisi kullanılarak gerçekleştirilir. Farklı platformlarda hızlı ve doğru bilgi alışverişine dayalı gerçek zamanlı kontrol, sistem güvenilirliğini ve güvenliğini artırarak ve şebekenin optimizasyonunu sağlayarak sistem dayanıklılığını artıracaktır. Akıllı şebekelerin kavramsal modeli Şekil 2.1’de gösterilmektedir.



Şekil 2.1. Akıllı şebeke kavramsal modeli (Hossain vd.,2018).

Akıllı Şebekelerde doğrusal olmayan yüklerin yükselişi ve güç kalitesinin öneminin daha iyi farkındalığı, güç kalitesinin önemini artırmaktadır. Elektrik mühendisleri, güç kalitesinin önemini kavramakta ve bu konuda çözümler arayarak yeterince ilgilenmektedirler. Frekans, gerilim ve akımın müşterilere iletilmesini etkileyebilecek her türlü faktör yakından takip edilmektedir. Bu güç kalitesi standartları, büyük jeneratörlerden küçük dağıtılmış jeneratörlere, iletim hatlarından son kullanıcılara kadar güç sisteminin tüm bileşenleri tarafından karşılanmalı veya üstlenilmelidir. Tüketiciler, küçük jeneratör sahipleri, elektrik şirketi sahipleri, endüstriyel ünite

üreticileri ve ev aleti üreticileri gibi tüm paydaşlar, güç kalitesi konusunda endişe duymaktadır (Tur 2018).

Güç kalitesi, çözülmesi gereken bir sorun veya iyileştirilebilecek bir ürün özelliği anlamına gelebilir. Bu sorunun çözümü, güç kalitesi uzmanları veya elektrik mühendisleri tarafından ele alınmalıdır. Bu, güç pazarlamacılarının, jeneratörlerin veya son kullanıcıların endişelenmesi gereken bir sorun değildir. Bir ürünün güç kalitesi kritik bir öneme sahiptir, bu nedenle tüm özelliklere mümkün olduğunca yakından uyulmalıdır. Elektriğin en önemli teknik yönleri, güvenilirliği, erişilebilirliği ve kalitesidir. Sürekli ve güvenilir bir elektrik tedariki sağlandıktan sonra, güç kalitesi kavramı düşünülmelidir. Ancak, bu nitel tanımlar değerlendirme kriteri olarak yeterli değildir; güç kalitesinin değerlendirilmesi için nicel bir standart gereklidir. Son üç on yıl boyunca birçok güç kalitesi standardı geliştirilmiş ve revize edilmiştir. Tanımlar, sürümler arasında aynı kalsa da, yeni detaylar eklenmiş veya kurallar sıkılaştırılmıştır. ANSI, IEC ve NEMA tarafından son yıllarda birçok güç kalitesi standardı güncellenmiş ve değiştirilmiştir. IEC, güç kaynağı sorunlarına yönelik EMC kurallarını (elektromanyetik uyumluluk) geliştirmiştir. Elektromanyetik uyumluluk (EMC) standartları, Avrupa Birliği'nde satılan tüm ürünler için zorunludur, ancak dünya genelinde her zaman uygulanmamaktadır. Elektromanyetik uyumluluk konusu genellikle göz ardı edilmektedir. IEEE ve ANSI gibi birçok grup ve NEMA gibi bazı üretici grupları, birçok güç kalitesi standardı geliştirmiştir. Bu standartların çoğu, pratik uygulamaları ile ilgilidir. Ancak, güç kalitesi için en önemli standartlar IEEE 519 ve IEEE p1159'dur. Bu standartlar, yıllar içinde birçok kez değiştirilmiş ve güç sisteminin çeşitli noktalarında bozulma sınırları getirilmiştir. Alıntılanan kaynaklar, gerilim kalitesi, akım kalitesi, erişilebilirlik gibi terimlerin tam tanımlarını sağlamaktadır. Ayrıca, farklı güç sorunlarının etkilerini ve nedenlerini gösteren Tablo 1'e yer verilmiştir (Tur vd.,2020; Bollen, 2000;Aness,2012).

## **2.2.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Entegrasyonu**

YEK, fosil yakıtların azalması ve çevresel sorunların artması nedeniyle hızla artan bir şekilde kullanılmaktadır. Ancak, çoğu yenilenebilir enerji kaynağı aralıklı bir yapıya sahip olduğundan, YEK'lerin enerji şebekesi altyapısına entegre edilmesi zorlu bir görevdir. Bu eğilim, çeşitli teknik ve teknik olmayan zorluklara yol açmaktadır. Enerji ağlarının yönetimi, YEK'lerin dağıtım ağlarına entegrasyonu, üretim ve yük yönetimi ve merkezi olmayan enerji piyasalarının farklı teknik ve sosyo-ekonomik yönleri, güvenilir

ve maliyet etkin bir enerji arzı sağlamak için yeni çabalara ihtiyaç duyulduğunu göstermektedir. Bu çalışmada, özellikle güneş PV ve rüzgar enerjisi kaynakları üzerinde odaklanılmıştır.

Güneş PV ve rüzgar enerjisi sistemlerinin artan kullanımı, bu sistemlerin güç dalgalanmalarının elektrik şebeke işletmesi üzerinde potansiyel olumsuz etkileri olduğu için bazı hizmet şirketlerinin endişelerini artırmaktadır. Ayrıca, bu sistemlerin güç dalgalanmaları, arıza koşullarından önce elektrik ağının istikrarsız çalışmasına, besleyicilerde yüksek güç salınımlarına ve elektrik ağının belirli düğümlerinde kabul edilemez voltaj dalgalanmalarına neden olabilir. Dahası, bu sistemlerin rastgele güç çıkışı dalgalanmaları, elektrik üretimi zamanlaması sürecinde bunları dikkate almayı zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, güneş PV ve rüzgar enerjisi sistemlerinin etkin bir şekilde şebekeye entegre edilmesi ve istikrarlı bir enerji arzı sağlanması için çeşitli teknik çözümler üzerinde çalışmalar yürütülmektedir. Bu çalışmalar, YEK'lerin entegrasyon sürecindeki teknik zorlukların aşılması ve enerji şebekelerinin gelecekteki ihtiyaçlara uygun bir şekilde yönetilmesi için önemli bir adımdır.

YEK'lerin şebekeye entegrasyonu, bir dizi zorluk, sorun ve olası çözümleri beraberinde getirir. Zorlukları temel olarak aşağıda açıklanmaktadır (Hanl vd.,2010).

- Aralıklı ve Değişken Enerji Üretimi: Güneş ve rüzgar gibi YEK'ler aralıklı ve değişken enerji üretirler, bu nedenle istikrarlı bir enerji arzı sağlamak zorlaşır.
- Şebeke Kararlılığı: YEK'lerden kaynaklanan güç dalgalanmaları, şebeke kararlılığını etkileyerek voltaj ve frekans kontrolünü zorlaştırabilir.
- Şebeke Altyapı Yenilemeleri: Büyük ölçekli YEK'lerin entegrasyonu, mevcut şebeke altyapısının değiştirilmesini ve güncellenmesini gerektirebilir.
- Enerji Depolama: Tepe dönemlerinde fazla enerji depolamak ve düşük üretim dönemlerinde bu enerjiyi sağlamak için etkili enerji depolama çözümlerine ihtiyaç duyulur.

YEK'lerin şebekeye entegrasyon sorunları;

- Şebeke Tıkanıklığı: Bazı bölgelerde, aşırı YEK dağıtımı şebeke tıkanıklığına yol açabilir ve yenilenebilir enerji alım kapasitesini sınırlayabilir.
- Tahmin Edilebilirlik: YEK'lerin doğası, enerji üretimini tahmin etmeyi zorlaştırabilir ve planlama süreçlerini etkileyebilir.

YEK'lerin şebekeye entegrasyonu olası çözümleri:

- Akıllı Şebeke Teknolojileri: Akıllı şebeke teknolojileri, YEK'lerin entegrasyonunu optimize ederek şebeke kararlılığını artırabilir.
- Enerji Depolama Sistemleri: Enerji depolama sistemleri, fazla enerjiyi depolamak ve düşük üretim dönemlerinde kullanmak için etkili bir çözüm sağlar.
- Veri Analitiği ve Tahmin Modelleri: Veri analitiği ve tahmin modelleri, YEK üretimini tahmin etmeye ve enerji talebini yönetmeye yardımcı olabilir.
- Şebeke Altyapısı Güçlendirmeleri: Şebeke altyapısının güçlendirilmesi, büyük ölçekli YEK'lerin entegrasyonunu destekler ve şebeke kapasitesini artırır.
- Düzenlemeler ve Teşvikler: YEK'leri teşvik eden ve uygun düzenlemeleri sağlayan politikalar, entegrasyon sürecini kolaylaştırabilir.

Bu tez çalışmasında, YEK'lerin şebekeye entegrasyonu ile ilgili bir literatür taraması yapılmaktadır. Birçok akademisyen ve araştırmacı, şebekeye entegrasyon bağlamında çeşitli konuları, zorlukları ve potansiyel çözümleri ele almıştır. Rüzgar enerjisinin değişkenliği, şebekeye entegrasyonunu sınırlandıran ve maliyetleri artıran önemli bir faktördür. Yüksek entegrasyon seviyelerinde, rüzgar enerjisinin değişken çıkışı, şebeke operatörlerinin bu değişkenliği karşılamak için mevcut rezerv üretim kapasitelerinin büyük bir kısmını ayırmasını gerektirmektedir.

Geleneksel üretim kaynaklarının daha etkin bir şekilde koordinasyonunu ve rüzgar enerjisi üretiminin optimize edilmesine olanak sağlayan EDS kullanımını içeren rüzgar enerjisinin entegrasyonunu geliştirmeyi amaçlayan araştırmaları sunulmaktadır (Etxeberria vd., 2010). YEK'lerin artan kullanımı ve bu kaynakların ürettiği enerjinin aralıklı olması, ana elektrik şebekesinde kararlılık, güvenilirlik ve güç kalitesi sorunlarına neden olmaktadır (Tur, 2020). Bu sorunları çözmek için uygun bir alternatif olarak mikro şebeke yöntemi düşünülmektedir. Ancak, mikro şebeke, zayıf bir elektrik şebekesine sahip olduğundan yük veya üretim değişikliklerine son derece duyarlıdır. EDS, bu değişimlerin etkisini azaltmak ve YEK'ler tarafından üretilen enerjiyi daha verimli kullanmak için kullanılmaktadır. Ancak, mevcut EDS teknolojilerinin, üretilen enerjinin geniş frekans spektrumunu karşılamak için yeterli olmadığı göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, Hibrit Enerji Depolama Sistemleri (HEDS), genellikle iki tamamlayıcı depolama cihazından oluşur ve farklı topolojilerle ilişkilendirilebilir. Bu cihazlar, bir Enerji Yönetim Sistemi (EYS) tarafından koordine edilmelidir.

Bu çalışma, YEK ve mikro şebeke bağlamında uygulanan çeşitli topolojiler ve enerji yönetimi algoritmaları analiz edilmiş ve karşılaştırılmıştır. Mikro şebeke, ana şebekeye bağlı ve adanmış modda çalışabilmektedir. Bu sistem, YEK'lerin aralıklı ve belirsiz doğasını ele almak için kullanılmaktadır. Enerji depolama sistemleri, depolanmış enerjiyi şebekeye beslemek ve sistemi optimal bir şekilde çalıştırmak için EDS ve mikro şebeke arasındaki güç akışını kontrol etmek için güç dönüştürücüler olarak görev yapmaktadır. Ancak, dönüştürücülerin güç kayıpları (özellikle anahtarlama kayıpları) ve ekonomik maliyetleri kullanımlarını sınırlayan faktörlerdir. Anahtarlama kayıpları azaltmaya yönelik yumuşak anahtarlama gibi yöntemler mevcuttur, ancak uygulamaya bağlı olarak bazı durumlarda bu yöntemlerin kullanılmamak daha ekonomik olabilir (Ganti vd.,2012).

Bir şebekeye bağlı çift beslemeli indüksiyon jeneratörlü (DFIG) tabanlı rüzgar enerjisi dönüşüm sistemi (REDS) için yeni bir kontrol stratejisi bazı çalışmalarda sunulmuştur (Omran vd.,2011). DFIG'ye rotor devresine yerleştirilen şebeke tarafı ve rotor tarafı dönüştürücülerin kontrol stratejileri, kullanılan REDS konfigürasyonunun matematiksel modellemesi ile birlikte sunulmaktadır. Rüzgar enerjisinin değişken doğasından kaynaklanan güç dalgalanmalarını azaltmak için değişken doğruluklu batarya enerji depolama sistemi (BEDS) önerilmektedir. Ayrıca, şebekeye bağlı PV sistemlerin entegrasyonu ile ilgili bazı sorunlar da ele alınmıştır (Khadem vd.,2010). PV sistemlerin şebekeye entegrasyonu ile ilgili temel sorunlar, PV çıkış gücünün dalgalanmasıdır ve bu dalgalanmalar, bu sistemlere bağlı elektrik ağlarının performansını olumsuz etkileyebilmektedir. Ayrıca, PV sistemlerinin güç dalgalanmaları, çıkışlarının tahmin edilmesini güçleştirmekte ve dolayısıyla ağıdaki üretim ünitelerini zamanlamada dikkate almayı zorlaştırmaktadır.

Bu tez çalışması, PV sistem sahibinin ekonomik faydalarına olan etkileri üzerinde odaklanılarak, şebekeye bağlı PV sistemlerde dalgalanmaları azaltmak için batarya depolama sistemlerinin, puant yüklerinin ve PV sisteminin güç kondisyonlama ünitesinin maksimum güç noktasının altında işletilerek üretilen gücün kırılmasını içeren üç yöntem araştırılmıştır. Sunulan analizde vurgu, bu yöntemlerin uygulanmasının PV sistemi sahibinin ekonomik faydaları üzerindeki etkilerinin incelenmesine yöneliktir. YEK şebekeye entegrasyonu, enerji sistemlerinde kararlılığı tehlikeye atabilecek harmonik akım artışı gibi teknik sorunlarla karşılaştırılabilir(Yann vd,2011). Bu çalışmada, PV ve

rüzgar enerjisi sistemleri entegrasyonu ile ilgili sorunlar ve güç kalitesi problemleri tartışılmıştır. Şebekeye bağlı PV sistemlerin depolama ile birlikte optimize edilmiş güç yönetimi mekanizması sunulmaktadır (Li vd., 2011). Amaç, PV üretiminin şebekeye yoğun entegrasyonunu, en düşük maliyetle tepe tıraşlama hizmeti sunarak kolaylaştırmaktır. Bir optimal öngörücü güç zamanlama algoritmasına dayanan bir güç denetleyicisi yapısının önerildiği bir güç yöneticisi sunulmaktadır. Aynı şekilde, 120-kV kara tabanlı bir dağıtım şebekesine bağlı 100 MW Deniz Üstü Rüzgar Çiftliğinin (OWF) dalgalı aktif gücünü etkili bir şekilde azaltmak için offshore rüzgar DFIG tabanlı 100 MW Değişken Frekans Dönüştürücüsü (VFT) kullanımıyla ilgili yeni bir kontrol şeması sunulmaktadır (Douglas vd., 2011). Bu çalışmada, frekans alanı yaklaşımı ve rahatsızlık koşullarına bağlı olarak doğrusal olmayan sistem modeli temel alınarak linerleştirilmiş bir sistem modeli kullanılarak zaman alanı şeması gerçekleştirilmiştir. Amacı, önerilen kontrol şemasının etkinliğini değerlendirmektir. Simülasyon sonuçları, önerilen VFT yönteminin, güç şebekesine enjekte edilen OWF dalgalanan aktif gücünü düzleştirmek ve incelenen OWF'nin sönümlenme kapasitesini artırmak için etkili olduğunu göstermektedir. Ayrıca, farklı yenilenebilir kaynakların rezerv gereksinimlerine olan etkilerini belirlemek amacıyla farklı kaynakların birleştirilmesiyle yapılan rezerv gereksinimleri üzerindeki faktöriyel tasarım yöntemi kullanılarak analiz yapılmıştır (Juan vd., 2006). Sonuçlar, farklı yenilenebilir kaynakların etkileşim etkilerinin, kaynaklar izole edilerek değerlendirildiğinde gereken rezerv gereksiniminden daha düşük bir rezerv gereksinimine yol açabileceğini, ancak azalmanın mütevazı olabileceğini göstermektedir. Ancak, en iyi karışımı belirlemek için daha fazla çalışma gereklidir. Ayrıca, sunulan modelin gerçek verilerle doğrulanması, modelin doğruluğunu göstermektedir. Etkileşim etkilerini ihmal eden azaltılmış bir modelin, etkileşim etkileri bilinmeyen durumlarda kabul edilebilir bir birinci dereceden yaklaşım sağlayabileceği de gösterilmiştir. Bu çalışmada vurgulanan bir diğer önemli nokta, YEK'lerin entegrasyonunda güç elektroniği teknolojisinin rolüdür. En yüksek projeksiyonlu türbin dereceleri için güç elektroniği arayüzünün geliştirilmesinin mümkün olması, enerji dönüşümünü ve iletimini optimize etmesi, reaktif gücü kontrol etmesi, harmonik bozulmayı azaltması ve geniş güç aralığında düşük maliyetle yüksek verimlilik sağlaması, aynı zamanda yüksek güvenilirlik ve alt sistem bileşeninin başarısızlığına tolerans göstermesi gerekmektedir. Yenilenebilir enerji sistemleri için gelecekteki eğilimler ve ortak teknolojiler de açıklanmıştır (Steen vd., 2014).

Rüzgar enerjisi, güç elektroniği ve kontrol teknolojilerindeki son gelişmeler nedeniyle güncel bir enerji kaynağı olarak kabul edilmektedir. Geçerli düzenlemelerin rüzgar çiftliklerinin sayısının artmasını desteklemesi, rüzgar enerjisinin çekici ekonomik güvenilirliği nedeniyle yaygınlaşmasına katkıda bulunmaktadır. Öte yandan, PV enerjisi, mevcut sorunların ve dezavantajların (yüksek maliyet ve düşük verimlilik gibi) çözülmesi durumunda, yakın gelecekte ilginç bir alternatif olarak görülmektedir. Son olarak, enerji depolama sistemleri (eğirme, hidrojen, sıkıştırılmış hava, süper kapasitörler, süperiletken manyetik ve pompalı hidroelektrik) gelecekte önemli bir rol oynayacak ve şu anda araştırma projeleriyle geliştirilmektedir. Bu sistemlerin olgunlaşması, yenilenebilir kaynaklara dayalı sistemlerin güç kalitesi sorunlarının çözümüne katkıda bulunacak ve özel güç cihazlarının (STATCOM, DVR, UPQC gibi) güç kalitesi iyileştirmesindeki önemi de vurgulanmıştır [85]. Çalışma ayrıca, PV ve rüzgar enerjisi sistemlerinin şebekeye bağlı depolama ile optimize edilmiş güç yönetimi mekanizmaları da sunulmuştur. Bu mekanizmalar, PV üretiminin şebekeye yoğun entegrasyonunu ve en düşük maliyetle tepe tıraşlama hizmeti sunmayı kolaylaştırmayı amaçlamaktadır. Bu bağlamda, güç denetleyicisi yapısının optimal bir öngörücü güç zamanlama algoritmasına dayandığı belirtilmiştir. Sonuç olarak, çalışma YEK'lerin entegrasyonunda kullanılan teknolojileri, gelecekteki eğilimleri ve güç kalitesi sorunlarını ele almaktadır. Bu alanda yapılan çalışmalar, enerji sektöründe sürdürülebilir ve verimli bir geçiş için önemli bir adım oluşturmaktadır.

Bu çalışmada üzerinde vurgu yapılan diğer bir önemli husus, YEK'lerin entegrasyonunda reaktif güç elektroniği teknolojisinin kritik rolüdür. En yüksek projeksiyonlu türbin dereceleri için güç elektroniği arayüzünün geliştirilmesi, enerji dönüşümünü ve iletimini optimize etmeyi, reaktif gücü kontrol etmeyi, harmonik bozulmayı azaltmayı, geniş güç aralığında düşük maliyetle yüksek verimlilik sağlamayı ve yüksek güvenilirlikle birlikte alt sistem bileşeninin başarısızlığına tolerans göstermeyi gerektirmektedir. Yenilenebilir enerji sistemlerinin gelecekteki eğilimleri ve ortak teknolojileri de ayrıntılı bir şekilde ele alınmıştır (Steen vd.,2014).

### **2.3.Şebeke Entegrasyon Sorunları**

YEK'ler iklim koşullarına göre değişken bir yapıya sahiptir, bu nedenle YEK'leri güç şebekesine entegre etmek zorlu bir görevdir. Özellikle güneş PV ve rüzgar enerji dönüşüm sistemleri gibi çeşitli YEK'lerin şebekeye entegrasyonu ile ilgili bazı zorluklar

ve sorunlar bulunmaktadır. Bu zorluklar genellikle teknik ve teknik olmayan olarak iki ana kategoride sınıflandırılır ve Tablo 2.1’de açıklanmıştır.

**Tablo 2.1:** Entegrasyonda teknik ve teknik olmayan sorunlar

| Entegrasyon Sorunları                                                           |                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Teknik Sorunlar                                                                 | Teknik Olmayan Sorunlar                                                                                                                                    |
| <b>Güç kalitesi</b>                                                             | <b>Güç kalitesi</b>                                                                                                                                        |
| -Harmonikler<br>-Frekans ve gerilim dalgalanmaları                              | -Teknik yetenekli insan gücünün eksikliği                                                                                                                  |
| <b>Güç dalgalanması</b>                                                         | -Yenilenebilir enerji kaynaklarını barındırmak için yeterli iletim hattının az olması                                                                      |
| -Kısa Süreli Güç Dalgalanması<br>-Uzun süreli veya mevsimsel güç dalgalanmaları | -Yenilenebilir enerji teknolojileri, öncelikli olarak devreye alınarak rekabetten dışlanmakta ve bu, yedek güç için yeni santral kurulumunu caydırmaktadır |
| <b>Depolama</b>                                                                 |                                                                                                                                                            |
| -Koruma sorunları<br>-RES'nin optimal yerleşimi<br>-Adalı işletim               |                                                                                                                                                            |

Güneş, rüzgar vb. gibi YEK’ler, yeşil enerji kaynaklarına geçişi hızlandırmıştır. Artan YEK’ler ve dağıtılmış jeneratörler, elektrik şebekesinin işletimi ve yönetimi için yeni stratejilere ihtiyaç duyar, böylece güç tedarikinin güvenilirliğini ve kalitesini korumak veya hatta iyileştirmek mümkün olmaktadır. Bu doğrultuda, araştırmacılar tarafından önerilen bazı olası çözümler aşağıda sunulmuştur.

- Güç elektroniği teknolojisi, DÜ ve YEK’leri elektrik şebekesine entegre etmede önemli bir rol oynamakta, giderek daha fazla şebeke tabanlı sistemlerle entegre olduğunda geniş çapta kullanılmakta ve hızla gelişmektedir. Son birkaç yılda, güç elektroniği hızlı bir evrim geçirmiş ve bunun temel nedeni iki faktördür. İlk faktör, hızlı yarıiletken anahtarların geliştirilmesidir, bu anahtarlar hızlı anahtarlama yapabilmekte ve yüksek güçleri yönetebilmektedir. İkinci faktör ise, karmaşık kontrol algoritmalarını uygulayabilen gerçek zamanlı bilgisayar kontrolörlerinin kullanıma girmesidir. Bu faktörler bir araya gelerek maliyet-etkin ve şebeke-dostu dönüştürücülerin geliştirilmesine yol açmıştır.
- RES'den aralıklı güç üretimi, gücü büyük bir birimde yoğunlaştırmak yerine, küçük birimlerde daha büyük coğrafi alanlara dağıtarak kontrol altına alınabilir. Örneğin, onlarca megavatlık büyük bir güneş PV sisteminin çıkış gücü, bulut

geçişi gibi yerel olaylar nedeniyle beş ila on dakika içinde %70 oranında değişebilir. Bu nedenle daha büyük coğrafi alanlara birçok küçük güneş PV sistemi kurmak gerekmektedir. Yerel problemlerin sadece küçük birim gücü etkileyeceği için toplam çıkış gücündeki dalgalanma minimuma indirilebilir.

- Sulama yükü durumunda yük, gece veya düşük yük zamanında konvansiyonel şebekeden beslenirken, güneş PV gibi RES tarafından üretilen güç gündüz saatlerinde üretilmektedir. Bu nedenle, bu gücü daha sonra depolamak yerine sulama amaçları için kullanabiliriz, bu da genel sistem maliyetini artırır. Güneş su pompalarının sulama için kullanılması, çok yüksek verimlilik sağlamaktadır (yaklaşık %80 ila %90) ve güneş su pompalarının maliyeti indüksiyon motorlu pompalardan çok daha düşüktür.
- Büyük güneş PV santrallerinde çıkış gücü gün boyunca dalgalanabilir ve bu güç şebekeye beslenirken sürekli dalgalanan güç, şebekeye kararlılık açısından güvenlik endişelerine yol açmaktadır. Güneş PV santral sahipleri farklı türde depolama sistemleri kurmak zorunda kalır ve bu da santral sahibine ek maliyet getirmektedir. Depolama sistemi tamamen şarj olduktan sonra, bu depolama elemanları sistem sahibine kar sağlamaz. Bu nedenle, depolama sistemi yerine güneş enerjili su pompası sistemi kurulabilir.

Bu tez çalışması, YEK'lerin şebekeye entegrasyonu ile ilgili bazı sorunlar ve bu konudaki literatürde sunulan olası çözümler tartışılmıştır. Dalgalanmaları ve aralıklı problemleri en aza indirmek için güç elektroniği cihazları uygun bir seçenektir. Ayrıca, enerji depolama, yük boşaltma ve MPPT kullanımı, PV sistemlerdeki güç dalgalanmalarını azaltmak için kullanılabilir. Bunlara ek olarak, yeni materyallerin ve depolama elemanlarının dahil edilmesiyle sistem dengelemesinin yükseltilmesi, şebeke entegrasyonu ile ilişkili sorunları azaltabilir.

#### **2.4.Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Şebekesine Entegre Edilmesi**

Entegrasyon zorlukları güç sistemlerinin iletim ve dağıtım farklı seviyeleri arasında da farklılık göstermektedir. PV gibi küçük ölçekli elektrik üretimi genellikle düşük voltajlı dağıtım şebekesine bağlanırken, rüzgar türbinleri orta voltajlı dağıtım şebekesine veya bölgesel iletim şebekesine bağlanmaktadır. Elektrik şebekesine yeni üretim kaynakları bağlanırken, şebeke yeni üretim kaynaklarına uyum sağlamalıdır. Bu, geleneksel termal üretim üniteleri için geçerli olduğu gibi rüzgar ve güneş gibi

yenilenebilir kaynaklar için de geçerlidir. Genellikle büyük ölçekli geleneksel üretim alanlarında, şebeke yeni üretimle başa çıkmak için güçlendirilirken, küçük ölçekli üretim büyük ölçüde mevcut elektrik şebekesine entegre edilmektedir. Üretimi nihai kullanıcıya yakın bir şekilde bağlamanın birkaç avantajı bulunmaktadır, örneğin enerji kayıplarının azalması. Ancak, güneş ve rüzgardan üretilen elektrik gün içinde değiştiği için diğer zorluklar, hem teknik hem de ekonomik olarak ortaya çıkmaktadır. Ek zorluklar ise üretim birimlerinin lokalizasyonunun belirli bölgelerle sınırlı olmasından kaynaklanır; yani rüzgar türbinleri genellikle rüzgarlı bölgelere konumlandırılır ve elektrik şebekesi için en uygun olduğu yerlerde değil, bu da yeni iletim hatları ihtiyacını doğurmaktadır (Katiraei vd.,2011).

Şebekeye bağlanabilecek rüzgar ve güneş enerjisi miktarı açısından önemli teknik kısıtlamalar yoktur. Ancak, enerji kaynağının özelliklerine ve bağlanacağı yerin yerel koşullarına bağlı olarak dikkate alınması gereken zorluklar olabilir. Birçok alanda, küçük paylarda rüzgar ve güneş enerjisinin entegrasyonu elektrik şebekesinin az bir uyum sağlamasını gerektirmektedir. Paylar arttıkça, uyum ihtiyacı artar ve entegrasyon maliyetleri yükselmektedir. Bu tez çalışmasının amacı, entegrasyondan kaynaklanabilecek rüzgar ve güneş enerjisi ile ilgili muhtemel teknik ve ekonomik zorlukları vurgulamak, kesin bir maksimum yenilenebilir elektrik üretim miktarı belirtmek yerine bu zorlukların nasıl üstesinden gelinebileceğini açıklamaktır (Dönmez vd.,2014).

Elektrik üretim tesislerinden şebekeye iletilen aktif güç miktarı, şebeke istikrarını tehlikeye atmamak kaydıyla enerji gereksinimini karşılayacak düzeyde olmalıdır; aktif gücün aşırı veya yetersiz olması durumunda, şebekenin stabilitesi riske girebilir. Aktif güçle beraber, reaktif güç üretimi de şebekenin gereksinimlerine uygun bir dengeyle sağlanmalıdır. Yenilenebilir kaynaklardan şebekeye entegre edilen enerjinin artışı, şebeke içindeki dalgalanmaların düzenlenmesi ve güç kalitesinin istenilen düzeyde tutulabilmesi amacıyla şebeke bağlantı noktalarında kontrol sistemlerinin kullanılmasını gereksinim haline getirmiştir. Farklı gerilim seviyelerinde şebeğe bağlanan yenilenebilir kaynaklar, aktif ve reaktif güç kontrolünü etkili bir şekilde gerçekleştirerek güç kalitesindeki değişimleri hızlı bir şekilde tespit etme sorumluluğuna sahiptir; bu zorunluluk ilgili yönetmeliklerle açıkça ifade edilmiştir. Reaktif güç hesabı için literatürde aşağıda belirtilen Denklem 1’de sunulmaktadır (Gardner vd.,2003).

$$Q = P \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \varphi} - 1} \quad (1)$$

Rüzgâr enerjisiyle elektrik üreten sistemlerdeki elektriksel performansı belirleyen güç kalitesi, rüzgâr türbinlerinin şebekeye bağlantısı esnasında şebekenin güç ve gerilim kalitesi üzerindeki etkileri açısından önem arz etmektedir. Özellikle bağlantı yapılan şebeke koşullarına göre daha yüksek kapasiteli olan, artan sayıdaki rüzgâr türbinlerinin şebekeye bağlanma süreçlerinde güç kalitesine etki eden parametrelerin titizlikle incelenmesi gerekmektedir. Bağlantı sonrasında güç kalitesinin durumunu öngörebilmek ve kabul edilebilir seviyelerde gerilim istikrarını sağlamak amacıyla kullanılacak rüzgâr türbinlerinin özellikleri dikkate alınmalıdır. Bunun yanı sıra, şebekeye bağlantı noktalarında elektrik sisteminin parametreleri de hesaba katılarak gerçekleştirilecek hesaplamalar, sorunsuz bir entegrasyonu mümkün kılacaktır. Bu bağlantı şartlarını belirleyen IEC 61400-21 standardı, rüzgâr türbini üretim tesisleri planlandığında güç kalitesinin belirlenmesi için uygun parametreleri ve yapılan ölçümlerle gerçekleştirilecek hesaplama yöntemlerini tanımlayan, uluslararası düzeyde kabul görmüş bir standart olarak kullanılmaktadır. Güç kalitesini etkileyen dört temel faktör şunlardır (EPDK yönetmelik):

- Ani Gerilim Değişimleri (Voltage step changes),
- Kırpışma (Fliker),
- Harmonik Bozulma
- Gerilim Dengesizliği.

#### 2.4.1. Rüzgâr Santrallerinin Elektrik Şebekesinde Entegrasyonu

Rüzgâr türbinlerinde impel aktarıcılar, enerji kaynağının özgün karakteristikleri nedeniyle, sürekli değişen mekanik güçle tahrik edilerek operasyon göstermektedir. Yenilenebilir enerji santrallerinin sistem entegrasyonunda, üretim jeneratörünün modeli (kontrol sistemleri), bağlantı noktasındaki kısa devre gücü, şebeke hattının özgül özellikleri (rezistif ve endüktif), aşırı akım koşullarında koruma relelerinin maksimum akım taşıma kapasiteleri gibi faktörler belirleyici bir role sahiptir. DÜ gerçekleştiren bir yenilenebilir enerji santralinin şebekeye entegrasyonunun optimal biçimde yapılabilmesi için gereklilikler, literatürde ve resmi kaynaklarda yayınlanan yönetmeliklere uygun olarak aşağıda ifade edilmiştir:

- Aktif ve reaktif enerji üretim seviyelerinin değişimiyle şebeke içerisindeki gerilim değişimlerinin önlenebilmesi,
- Bağlanan şebeke üzerindeki hat ekipmanlarının kısa devre akım sınırları ile ısı dayanım kapasitelerinin zorlanmaması,
- Harmonik ve titreşim (fliker) retimi miktarının ilgili düzenlemelerde belirlenen sınırları aşmaması,
- Devreye alma ve çıkarma gibi geçici durumlar sırasında şebeke kararlılığının belirlenen sınır değerler içerisinde kalması gerekmektedir (Akdeniz vd.,2006; etin vd.,2014).

Avrupa kıtasında uzun yıllardır, politika ve ekonomi açılarından YEK'lerin kullanımı desteklenmektedir. Özellikle Japonya'daki Fukushima nükleer santralindeki olayın ardından, Alman hkmeti nükleer enerjiden elektrik üretiminden vazgeçme kararı olarak devre dışı bırakılan nükleer santrallerin neden olduğu enerji açığını kapatmak amacıyla YEK'lere yönelik yatırımları ve destekleri artırmıştır. Bu neticesinde özellikle rüzgâr ve güneş temelli YEK'lerin yatırım süreçlerindeki teknik gereklilikler ve entegrasyonla alakalı hukuki düzenlemeler belirlemek amacıyla kanunlar ve yönetmelikler hazırlanmıştır (Ta vd.,2008).

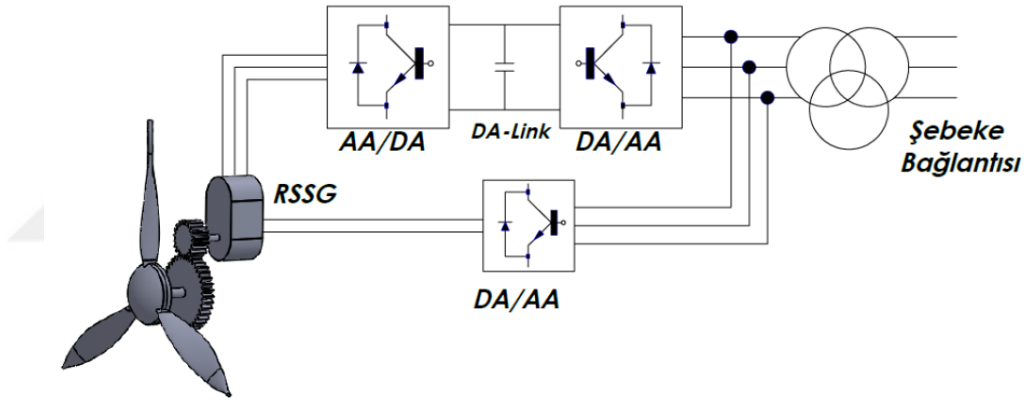
Harmonik, elektrik şebekesinin temel sinüs dalgasının bozulduğu bir durumu tanımlayan bir terimdir. Temel dalga şeklinin bozulmasına neden olan etkiler, ark kaynak makineleri, hız kontrol cihazları, floresan lambaların balastları, bilgisayarlar ve yarıiletken anahtarlama elemanlarını içeren aygıtlardır. Meydana gelen harmonikler, bu aygıtların türüne ve oluşan harmoni derecesine bağlı olarak farklı etkiler üretebilir ve farklı zararlara yol açabilir. Değişken hızlara sahip rüzgar türbinlerindeki elektronik g dönüştürücüleri, temel frekansın üzerinde frekanslar üreterek harmonik oluşturabilir ve bu durum tüketiciler üzerinde olumsuz etkilere neden olabilir. Günümüzde artan sayıda rüzgar türbinindeki g dönüştürücülerinin neden olduğu harmonik etkilerin ölçülmesi ve etkilerinin belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Harmonik etkisini azaltmak amacıyla rüzgar türbinlerinde genellikle darbe genişliği modülasyonlu (PWM) g dönüştürücüleri tercih edilmektedir. Bu tip dönüştürücülerin ürettiği düşük seviyedeki harmonikler, elektrik şebekesi için belirlenen sınırların altında bulunmaktadır [97]. IEC 1000-3-6 standardı, orta ve yüksek gerilimli şebekelerde tasarım ve şebeke uyumluluğu

konusundaki temel ilkeleri belirleyerek her bir tesis için etki değerlerinin tespitinde gereken yöntemleri sunmaktadır (Taşcıkaraoğlu vd.,2011).

Ana dalga üzerinde hızlı ve ardışık olarak meydana gelen ani ve düşük seviyeli gerilim değişimleri, kırpışma (flikler) olarak adlandırılmaktadır. Gerilim kalitesi problemlerinin temel kaynağı, dalgalı yüklerin varlığı ve üretim esnasında ortaya çıkan gerilim dalgalanmalarıdır. Özellikle sık sık açılıp kapanan büyük motorlar, ark kaynak makineleri ve metal eritme cihazları gibi aygıtlarla ilişkilendirilen kırpışma, şebekenin düşük kapasiteye sahip olduğu durumlarda önemli bir sorun olarak karşımıza çıkmaktadır. Rüzgar enerji santrallerinde, türbinlerin başlatılması ve durdurulması sırasında gerçekleşen anahtarlamalar ile çift hızlı rüzgar türbinlerindeki generatörler arasındaki anahtarlamalar, kırpışmanın temel nedenlerinden birini oluşturmaktadır. Kırpışma değerlendirmeleri için kullanılan IEC 1000-3-7 standardı, belirlenmiştir. Bu değerlendirmenin temel dayanağı, kare dalga sinyali uygulanan bir akkor flamanlı lamba için görünürlük eşiğini tanımlayan bir eğridir. Gözle görülebilen rahatsızlık, kırpışma şiddet faktörü (Pst) olarak adlandırılır. Pst değeri on dakikalık aralıklarla ölçülürken, uzun dönem kırpışma şiddet faktörü (Plt) iki saatlik dönemlerle hesaplanmaktadır. IEC 1000-3-7 standardında, Pst ve Plt için ayrı ayrı kırpışma seviyesi ve toplam kırpışma seviyesi için sınırlayıcı değerler sunulmuştur (Gardner vd.,2003). Ani gerilim değişimi terimi, şebekedeki anahtarlama işlemleri sonrasında, gerilim regülatörleri ve kompanzasyon için kullanılan kondansatörlerin devreye girmesi, kademe değiştirme işlemleri ve diğer açma-kapama işlemleri ile beraber gerçekleşen gerilim seviyesindeki hızlı ve beklenmedik değişimleri ifade etmektedir. Alıcıların çektiği akımda aniden meydana gelen değişiklikler, gerilimde artış veya azalma şeklinde belirir; bu da diğer alıcıları olumsuz etkileyebilir. Gerilim kontrol mekanizmalarının kademe değiştirme gibi müdahalelerle bu ani değişimleri yeterince düzenleyemediği durumda, şebekenin herhangi bir noktasında gerilim değerlerinin belirlenen sınırları aşmasına neden olabilmektedir. Sabit hızlı indüksiyon generatörü kullanan rüzgar türbinlerinin şebekeye entegrasyonu sırasında da ani gerilim değişiklikleri meydana gelebilmektedir. Pasif kontrol yöntemine sahip sabit hızlı rüzgar türbinlerinde, devreye alma anında rotor hızını kontrol etme yeteneği olmadığından bu sorun ortaya çıkmaktadır. Benzer bir durum, çift hızlı rüzgar türbinlerinde bir hızdan diğerine geçiş sırasında da gözlenebilmektedir. Türbinin maksimum hızının aşılması ve durdurulması anlarında da ani gerilim değişiklikleri tespit edilebilir. Başlangıç aşamasında rotor hızını kontrol edebilen kanat açısı kontrollü rüzgar

türbinlerinde bu etki azaltılabilmektedir. Değişken hızlı türbinlerde bu etki daha az belirgin olarak ortaya çıkar. Sabit hızlı rüzgar türbinlerinde ani gerilim değişikliklerini sönümlemek ve değişimin belirlenen sınırlar içinde kalmasını sağlamak amacıyla genellikle yumuşak geçiş yapabilen güç elektroniği anahtarlama elemanları tercih edilmektedir (Appen vd.,2013).

Rüzgâr türbinlerinde kullanılan senkron jeneratör tipleri, gerekli manyetik alan oluşumunu sağlamak amacıyla rotora uygulanan doğru gerilimi, şebekenin doğru gerilim kaynağından temin etmektedir. Şekil 2.2’de gösterilen generatör, şebeke üzerinde bulunan alternatif gerilim doğrultma ünitesi, bu doğru gerilimi dönüştürerek fırçalamakta ve bilezikler aracılığıyla rotor sargıları üzerinde sabit bir manyetik alanın oluşmasını sağlamaktadır. Rüzgârın türbin rotorunu döndürmesi sonucunda oluşan manyetik alan, stator sargılarını keserek gerilim üretimini mümkün kılmaktadır (Yılmaz vd.,2019).



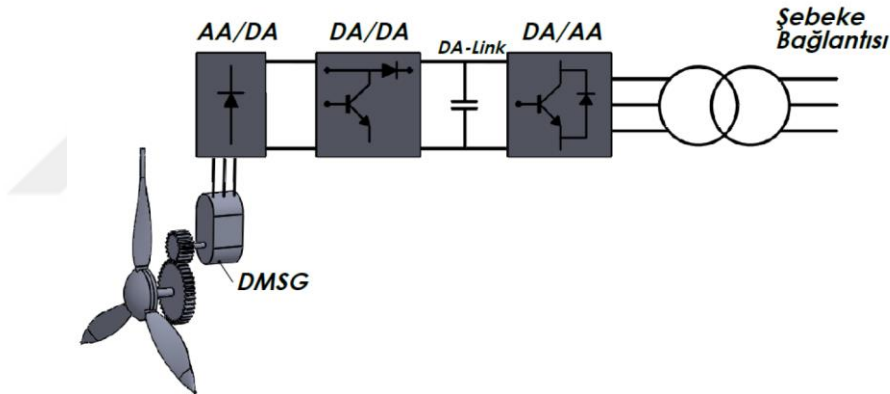
Şekil 2.2. Rotoru sargılı senkron generatörün şebekeye bağlantısı.

Dalga genlik modülasyonu kullanılarak çift yönlü kontrol edilebilen bu bağlantı yapısı sayesinde, sabit olmayan stator sargılarında üretilen gerilim şebekeye iletilmektedir. Sistemde şebeke tarafında bağlı olan konvertörün rolü, generatörün ürettiği aktif ve reaktif gücü düzenlemektir. Stator sargılarına bağlı olan diğer konvertör ise elektromanyetik torkun kontrolünü sağlamaktadır. Bu sistemin diğer jeneratör yapılarına göre üstünlükleri şunlardır (Copçuoğlu vd.,2008):

- Elektromanyetik tork, statordaki akımın tamamının kullanılmasıyla üretildiği için yüksek bir verimlilik elde edilir. Diğer jeneratör yapılarına göre bu tasarımın verimliliği daha yüksektir.

- Generatörün yapısı, güç faktörünün direkt olarak kontrol edilebildiği uygun bir yapıya sahiptir. Çıkık kutuplu alan sargısı, güç faktörünün kontrolünü sağlayan bir yapının yanı sıra, generatörün işletimi sırasında stator akımının düşük seviyelerde kalmasını sağlar.
- Kutup sayısının artırılması sayesinde düşük devirlerde bile verimli gerilim üretimi sağlanabilir. Bu tasarım, pervane mili üzerine monte edilen dişli sistemine olan ihtiyacı azaltabilir.

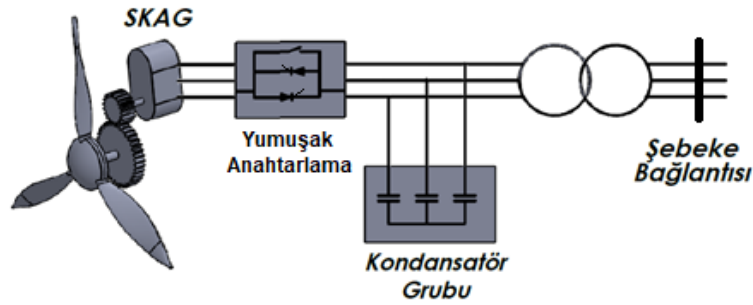
Şekil 2.3’de gösterilen daimî mıknatıslı senkron generatör, klasik daimî mıknatıslı senkron jeneratör ile kıyaslandığında, rotorunun sargılı olması açısından bir dezavantaja sahiptir. Bu dezavantajın yanı sıra, bağlı olduğu şebeke sisteminde aktif ve reaktif güçlerin uygun şekilde kontrol edilmesi için, kurulu rüzgâr gücünden %20 daha büyük bir güç kapasitesine sahip bir konvertöre ihtiyaç duyulmaktadır (Chen vd.,2014; Commission, 2008).



Şekil 2.3. Daimî mıknatıslı senkron generatör

Asenkron generatörler, endüstriyel alanlarda ve özellikle rüzgâr türbinleri gibi uygulamalarda yaygın olarak kullanılmalarını sağlayan sade bir yapıya, düşük arıza olasılığına ve ekonomik fiyatlara sahiptir. Bu yapısal avantajlarının yanı sıra, değişken hızlı rüzgâr sistemlerinde tork titreşimlerinin azaltılması konusunda da iyi performans göstermektedir. Bu tür jeneratörlerden gerilim üretimi ve şebekeye entegrasyon için, Şekil 2.4’te gösterildiği gibi kondansatör elemanlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Mıknatıslamanın sağlanması için gerekli olan reaktif akım, bu kondansatör grubundan temin edilmektedir. Ancak, sistemdeki dezavantajlı yönlerden biri de, reaktif akım sağlamak için kullanılan bu düzeneklerdir (Hasanova vd.,2018).

Sincap kafesli (kısa devre çubuklu) asenkron generatörler, büyük güçlü rüzgâr türbini sistemlerinin düşük kapasiteli şebekelere bağlandığı durumda, reaktif güç tüketimi nedeniyle bağlantı yapılan şebekede sorunlara yol açabilir. Bu tip generatörlerde tüketilen reaktif gücün, şebeke kompanzasyonunu sağlamak amacıyla kullanılan kondansatörlerle dengelemek için uygun önlemler alınması gerekmektedir.

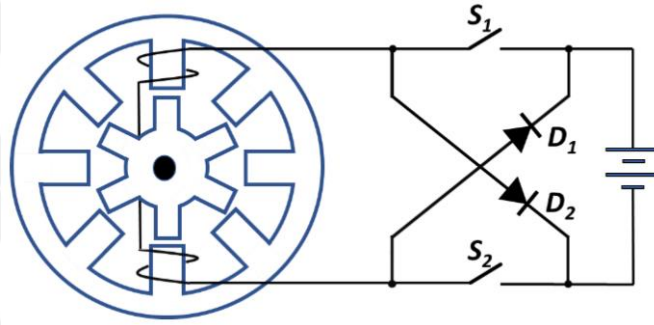


Şekil 2.4: Sincap kafesli asenkron generatör şebeke bağlantısı.

Rotor bölümünde sargılar yerine silisli sacların bir yüzüne alüminyum dökümle oluşturulmuş oluklara yerleştirilen kısa devre çubukları kullanılmıştır. Bu jeneratörler, sabit hızlı ve değişken hızlı rüzgar sistemlerinde kullanılabilme yeteneğine sahip özellikler barındırmaktadır. Manyetik gürültünün düşürülmesi ve etkili bir kalkış momenti elde edilmesi amacıyla rotor olukları, mil eksenine belirli bir açı oluşturacak şekilde düzenlenmiştir. Fırça kullanmadan enerji transferi sağlama yeteneği, sağlam mekanik yapısı ve güvenli işleyiş sağlama özelliklerine ek olarak, düşük maliyetleri de, bu yapıların tercih edilme sebeplerinin öncüsüdür. Bu nedenlerle rüzgar türbinlerinde yaygın olarak tercih edilmektedir. Ancak, bu tip makinanın dezavantajları da aşağıda sıralandığı gibidir (Apaydın vd,2009).

- Generatörün işleyişini etkileyen parametreler, sıcaklık ve frekans etkisi tarafından da değişime uğrayabilir. Bu değişken koşullar, sistemin kontrolünü karmaşık bir hale getirebilir ve kontrolün zorluğuna yol açabilir.
- Moment-hız eğrisinin doğrusal bir yapıya sahip olması, rüzgâr hızındaki değişimlerin doğrudan şebekeye iletilmesi anlamına gelir. Bu durumda, sistemin şebekeye entegrasyon noktalarındaki akımın, gereken değer 7-8 katına kadar çıkma ihtimali bulunmaktadır.

Son dönemde, doğru akım üretim amacıyla kullanılan anahtarlama relüktans jeneratörü, sağlamlığına ilişkin fiziksel yapısı, yüksek tork güç oranı, yüksek verimliliği ve uygun maliyeti nedeniyle artan bir oranda tercih edilmektedir. Bu makine tipi, stator da yer alan çıkık kutupların üzerine yerleştirilen çoklu sargılar ile karakterize edilir. İki farklı çalışma durumu söz konusu olup bunlar uyartım durumu ve üretim modudur. Fiziksel yapı, Şekil 2.5'de gösterildiği gibi iki anahtar ve her bir faza bağlı iki diyot içermektedir. Uyartım durumu çalışmasında, S1 ve S2 anahtarları açık konumda iken harici bir enerji kaynağı kullanılarak stator sargılarına uyartım akımı verilerek manyetik alan oluşturulmaktadır. Gerilim üretim aşamasında ise S1 ve S2 anahtarları kapatılır ve generatörde oluşturulan gerilim D1 - D2 diyotları aracılığıyla sisteme iletilmektedir (Peng vd.,2003).

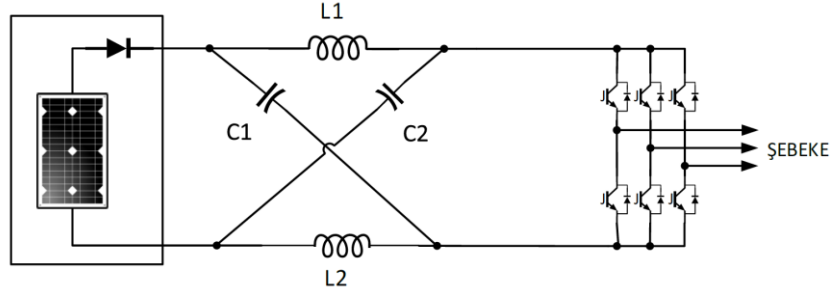


Şekil 2.5. Doğru akım generatörünün bağlantısı.

#### 2.4.2. Güneş Santrallerinin Elektrik Şebekesinde Entegrasyonu

PV sistemlerin ürettiği enerji, ekonomik bir alternatif kaynak olarak kabul edilebilmesi için yüksek verimlilikle işletilmeli, tesis maliyeti düşük seviyede tutulmalı ve sisteme entegre edilen güç kalitesi, belirlenmiş şebeke standartlarına uygun olmalıdır. Bu amaçları gerçekleştirmek, temel olarak sistemin nasıl kontrol edildiğiyle yakından ilişkilidir. Akademik araştırmalar, genellikle Sinüzoidal Darbe Genişlik Modülasyonlu (SPWM) kontrol yöntemleri kullanılarak yapılan empedans kaynaklı dönüştürücü uygulamalarını içermektedir. Bunun yanı sıra, Uzak Vektör Modülasyonlu (SVM) kontrol yöntemleri kullanılarak farklı anahtarlama stratejileri ile empedans kaynaklı dönüştürücüler optimize edilmekte ve çeşitli devreler tasarlanmaktadır. Yapılan araştırmaların sonuçlarına göre, sinüzoidal darbe genişlik modülasyonlu kontrol yöntemlerine kıyasla, empedans kaynaklı dönüştürücülerde uzak vektör modülasyonunun daha uygun ve istenilen sonuçları veren bir seçenek olduğu gösterilmiştir. Özellikle Şekil 2.6'da verilen empedans kaynaklı dönüştürücü devrelerinde uzak vektör modülasyonunun

kullanılmasının, daha üstün sonuçlar elde etmede etkili olabileceği vurgulanmıştır (Florescu vd.,2010).



Şekil 2.6. Empedans kaynaklı evirici.

Güneş enerjisi tabanlı üretim sistemleri, güneş panellerinin daha ekonomik bir şekilde üretilbildiği durumlarda, enerji üretim sektöründeki önemini artırmaktadır. Bu tür sistemlerde, güneş panelleri yanı sıra, eviriciler de kritik bileşenler arasında yer almaktadır. Gerilim veya akım esaslı çalışan bu evirici sistemlerinde, yapının özelliklerinden kaynaklanan bazı zorluklar ortaya çıkabilmektedir. Gerilim esaslı eviricilerin potansiyel zorlukları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Chowdhury vd.,2007).

- DC barındaki gerilimin düşük olması durumunda, gereken seviyeye ulaşmak için DC-DC dönüştürücülerin kullanılması gerekebilir.
- Normal şartlarda, aynı hattaki üst ve alt seviyeli anahtarlama elemanları aynı anda aktif olmamalıdır. Ancak elektromanyetik etkileşim gibi istenmeyen olaylar, anahtarların aynı anda faal olmasına yol açabilir; bu durum da ekipmanlara zarar verebilir.
- Anahtarların iletme geçişindeki gecikme, çıkışta harmonik bozulmasının oluşmasına ve güç kalitesinin olumsuz etkilenmesine neden olabilir.

Akım kaynaklı evirici sistemlerinde meydana gelebilecek olumsuzluklar şu şekilde özetlenebilir (Chowdhury vd.,2007).

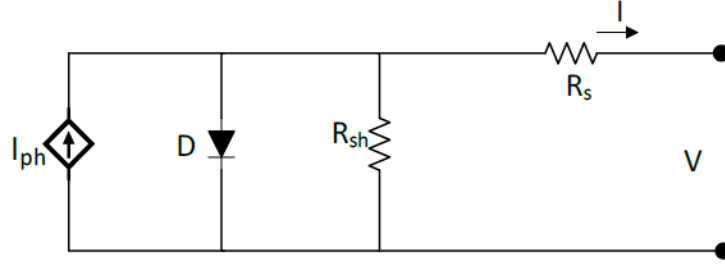
- Bu tür eviricilerin karakteristiği yükseltici bir özellik taşımaktadır; geniş bir gerilim aralığında çalışma gerektiğinde ise sisteme DC-DC dönüştürücü eklenmesi gerekebilir.
- Eğer devrede IGBT (İzoleli Kapılı Bipolar Transistör) kullanılıyorsa, seri bir diyot kullanımı gerekli hale gelir ki bu da IPM (Entegre Zararlı Yönetimi) kullanımını daha dar bir alana sınırlandırabilir.

- Kaynağın anahtar pozisyonlarına bağlı olarak açık devre şeklinde çalışması, bağlantı kurulan şebeke için risk oluşturan bir durum yaratabilir.
- Güvenli bir komütasyon için gerekli olan bindirme süresinin (overlap) çıkışta harmonik oluşumuna yol açması mümkündür.

Amacı, iki çeşit tercümanın dezavantajlarını düzeltmek olan bu çalışmada, empedans ağıyla donatılmış giriş bölümü içeren, empedans kaynaklı bir çeviri modeli benimsenmektedir. Bu devre, geniş bir gerilim aralığında ayar yapma kapasitesine sahip olup, bu işlemi gerçekleştirirken DC-DC dönüştürücüye ihtiyaç duyulmamaktadır. Anahtar sayısının bu devrede azaltılmasıyla, sistem daha kompakt boyutlarda inşa edilebilir hale gelmekte ve maliyetler de düşmektedir. Güvenlik açısından bakıldığında, kaynak çıkışının çevirici üzerinden kısa devre veya açık devre durumlarında dahi sistemde olumsuz etkiler yaratmama yeteneği, önemli bir avantaj olarak öne çıkmaktadır. PV panellerle elektrik üretimi konusunda gerçekleştirilen analizler ve modellemeler, literatürde hem temel hem de gelişmiş eşdeğer devreler şeklinde mevcuttur (Çetin vd.,2014; Ta vd.,2008) Şekil 2.7, güneş panelinin eşdeğer devre yapısını göstermektedir. Ayrıca, hava durumu verileri, üretilen enerji miktarını belirlemede etkili olan ısıma ve sıcaklık gibi faktörlerin rolünü vurgulamaktadır (Tayyan vd.,2013). Şekil 2.7'deki eşdeğer devre yapısına göre, çıkış akımı aşağıdaki denklemle ifade edilmektedir. Denklem 2'de  $I_0$ , diyotun ters yöndeki doyum akımını;  $q$ , elektron yükünü;  $A$ , diyot idealite faktörünü;  $K$ , Boltzmann sabitini ve  $T$  ise Kelvin cinsinden çalışma sıcaklığını ifade etmek için kullanılmıştır.

$$I = I_{ph} - \frac{V + R_s I}{R_{sh}} - I_0 \left( e^{\frac{q(V + R_s I)}{AKT}} - 1 \right) \quad (2)$$

Güneş panelleri için kullanılan Şekil 2.7'deki eşdeğer devre yapısı içerisinde, Fotonların Etkisiyle Meydana Gelen Enerji Akımı,  $I_{ph}$  sembolüyle tanımlanmaktadır. Işınım düzeyi ve sıcaklık sabit olduğunda, bu akım belirli bir değere sahip olmaktadır.  $I_{sh}$  direnci, Sızıntı Akımını Temsil Ederken;  $R_s$  direnci, Çıkış Gerilimi Üzerindeki Düşümü ifade etmektedir.  $R_{sh}$  ise Seri Direnç değerini sembolize eder.  $R_{sh}$  değerinde meydana gelen değişiklikler, PV üretiminin verimliliğini etkilemezken,  $R_s$  değerindeki küçük değişimler bile önem arz etmektedir.  $R_s$  direncindeki hafif bir artış, modülün çıkış geriliminde düşüşe neden olabilmektedir (UPEC,2007).



Şekil 2.7. Güneş paneli eşdeğer devresi.

#### 2.4.3. Dağıtım Şebekesinde Entegrasyon Etkileri

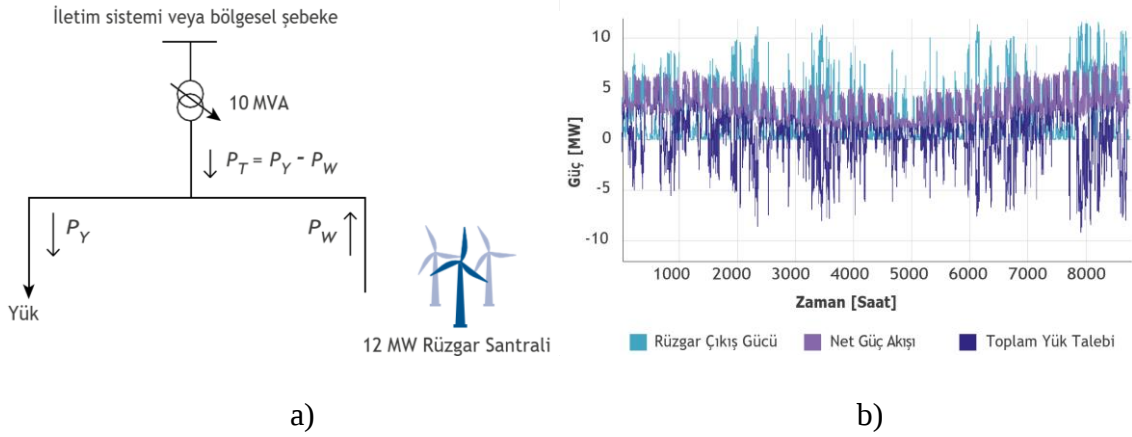
Dağıtım sistemlerinde en önemli zorluklar, gerilim yükselmesi ve sistem bileşenlerinin aşırı yüklenmesi ile ilgili sorunlardır. Rüzgarlı hava veya bulut hareketleri nedeniyle elektrik üretimindeki dalgalanmalar gibi diğer sorunlar da ortaya çıkabilir. Gerilim yükselmesi sorunları, üretilen elektriğin yerel talebi aştığı durumlarda ortaya çıkar ve elektriğin normal işleyişe göre ters yönde akmasına neden olmaktadır. Bu ters güç akışı aynı zamanda koruma sistemini etkileyebilir ve sistem bileşenlerinde aşırı yüklere yol açabilir. Bu sorunları ele almak için farklı yaklaşımlar vardır; örneğin, dağıtım şebekesinin güçlendirilmesi, talep tarafı yönetimi, enerji depolama, enerji kırpması, reaktif güç telafisi ve koordine yük üzerinde tap değiştirici kontrolüdür (Salih, 2014).

Rüzgar enerjisi ve güneş PV, dağıtım sistemi üzerinde benzer şekillerde etkili olacaktır; ancak bazı önemli farklılıklar vardır. İlk olarak, üretimin zaman içindeki değişkenliği farklılık gösterir ve ikincisi, kuruldukları konum farklılık gösterebilir. Güneş PV ünitelerinin büyük bir kısmının modüler özellikleri nedeniyle düşük voltajlı dağıtım sistemine bağlanması muhtemeldir; bu da binalarda entegrasyon ve ölçek bağımsız ekonomik performansa olanak tanımlanmaktadır. Güneş PV'nin yaklaşık %70'i düşük voltajlı dağıtım sistemine bağlıdır. Düşük voltajlı dağıtım sistemine kurulabilecek küçük ölçekli rüzgar türbinleri de olsa da, rüzgar türbinlerinin daha olası bir şekilde bölgesel iletim sistemine veya orta voltajlı dağıtım sistemine bağlanması beklenmektedir.

Bir dağıtım sisteminde kurulabilecek rüzgar ve güneş PV miktarı, sistem tasarımına ve yük profiline bağlı olarak güvenilirlik ve performansın ihlal edilmemesine bağlıdır. Elektrik üretimi ile talep arasında yüksek uyumsuzluk olan sistemler, büyük penetre seviyeleriyle başa çıkmakta daha zorluklar yaşarken, daha iyi yük eşleşmesine sahip sistemler daha büyük paylar oluşturmayı kolaylaştırabilir. Benzer şekilde, yüksek

tepe talebi için tasarlanan sistemler, düşük tepe talebi için tasarlanan sistemlere kıyasla daha fazla güneş PV ve rüzgar enerjisi sağlayabilir, çünkü sistem daha yüksek güç seviyeleri ile başa çıkmak üzere tasarlanmıştır. Diğer endişeler, müşteri ve alt istasyon arasındaki dağıtım şebekesi uzunluğu ile ilgilidir; müşteri ve alt istasyon arasındaki uzun mesafeler, kısa mesafeli bir şebekeye kıyasla gün boyunca artan gerilim dalgalanmaları ve gerilim yükselmelerine neden olabilir. Güneş PV tarafından üretilen elektrik oldukça öngörülebilir ve toplu olarak günlük taleple korelasyon göstermektedir. Sıcak iklimli ülkelerde, mevsimsel olarak da korelasyon gösterirken, İsveç gibi soğuk iklimli ülkelerde negatif bir korelasyon vardır. Yerel düzeydeki korelasyon, bölgenin özelliklerine bağlıdır. Gündüzleri tepe talebi olan ticari bölgelerde korelasyon yüksektir, ancak konut bölgelerinde talep sabah ve akşam saatlerinde en yüksek olduğu için korelasyon azalır, zirve üretim ise öğlen saatlerinde gerçekleşmektedir. Farklı güneş PV penetrasyon seviyeleri için kış ve yaz haftalarında bir konut dağıtım sistemindeki net güç akışını, yani talebi eksi üretimi sunmaktadır. Görüleceği gibi, güneş PV tarafından üretilen tüm elektrik kış aylarında dağıtım sistemi içinde tüketilirken, yaz aylarında önemli miktarda ters güç akışı vardır.

Geleneksel olarak bir dağıtım sisteminde belirli bir konumda güneş PV ve rüzgar enerjisi bağlantısına, kurulumun maksimum güç çıkışında ve sistemdeki yükün en düşük olduğu durumda aşırı gerilim veya aşırı yükleme sorunu yaratmadığından emin olduktan sonra izin verilmektedir. Ancak, Şekil 2.8'de gösterildiği gibi, rüzgar enerjisi tarafından üretilen güç nadiren 10 MW'nin üzerine çıkmaktadır ve hiçbir zaman 12 MW'nin üzerine çıkmamaktadır. Ayrıca gözlemlenen en düşük sistem yükü 0,5 MW'dir, ancak maksimum rüzgar enerjisi üretimi 12 MW'ye kadar çıkabilir, fark edilen maksimum ters güç akışı ise 9 MW'dir. Bu, rüzgar türbinlerinin elektrik üretimindeki stokastik doğasına rağmen, maksimum rüzgar enerjisi üretimi ve minimum talep arasındaki çakışmanın nadir olduğunu göstermektedir. Yani transformatör, ters güç akışı nedeniyle aşırı yüklenme riski daha azdır. Bu nedenle, dağıtım sistemi, yalnızca maksimum güç çıkışını ve minimum yüklenme koşulunu düşünmek yerine, aslında çok daha yüksek penetre seviyelerini tolere edebilir.



**Şekil 2.8.** (a) Bir kırsal dağıtım sisteminin basitleştirilmiş bir gösterimi (b) trafo merkezinde ölçülen toplam yük (TY), sistemdeki rüzgar gücü (PW) ve toplam (net) güç akışı (GA) (Katiraei,2011).

Dağıtım sisteminin kaynakların aktif yönetimi, talep tarafı yönetimi (DSM), enerji kırıma, reaktif güç telafisi veya koordine yük üzerinde tap değiştirici gibi stratejilerle güneş PV ve rüzgar enerjisinin penetre seviyelerini daha da artırmak için kullanılabilir. DSM prensibi, aşırı yüklenme ve gerilim yükselmesinin önlenmesi için talebin bir kısmının planlanmasıdır, enerji kırıma ise rüzgar veya güneş enerjisinin bir kısmını kırıma yoluyla önlemektedir. Reaktif güç telafisi ve koordine koordine yük üzerinde tap değiştirici kontrolü ise dağıtım sistemindeki gerilimi düşürmek için kullanılır, bunun yolu rüzgar türbinlerinin ve PV invertörlerinin reaktif güç tüketimini artırmak veya alt istasyon transformatöründe bir gerilim düzenleme mekanizması kullanmaktır. Ancak, bu dikkatli bir şekilde yapılmalıdır, çünkü bu, rüzgar türbinleri veya PV'nin kurulmadığı diğer besleyicilerde düşük gerilime yol açabilir. Bu rüzgar enerjisi kırıma seviyesi, çalışmanın çerçevesinde geleneksel şebeke güçlendirmesi çözümüne kıyasla daha çekici olarak görülmüştür. PV çalışmasıyla benzer şekilde, bu çalışma da yukarıdaki şebeke üzerindeki etkiyi veya kısa vadeli gerilim kararlılığını dikkate almamaktadır (Reichenberg vd.,2014).

#### 2.4.4. İletim Şebekesinde Entegrasyon Etkileri

Elektrik şebekelerinde genellikle iletim sistemi olarak adlandırılan kısım, elektrik şebekesinin yüksek gerilim ağıdır. İletim şebekesine ihtiyaç duyulması, üretim birimlerinin yükün yanında yer almaması gerçeğinden kaynaklanır. İdeal olarak, iletim açısından jeneratörlerin en uygun yerleşimi, yükün mümkün olduğunca yakınında olacaktır, ancak güç santrallerinin konumları birkaç faktöre bağlı olarak belirlenmektedir. Örneğin, ölçek ekonomileri nedeniyle büyük coğrafi alanları besleyen büyük tesislere üretimi yoğunlaştırmak ekonomik olarak faydalı olabilir. Diğer durumlar, limanlara ve

diğer altyapılara yakınlık veya kömür madenleri, nehirler veya termal santrallerde soğutma için kullanılan deniz suyu gibi belirli doğal kaynakların bulunabilirliği, bir santralin nereye inşa edileceğini etkileyebilir.

Genel olarak, güneş ve rüzgar enerjisinin büyük ölçekli entegrasyonu, iletim sisteminin nasıl kullanıldığındaki üç temel değişikliğe neden olabilir. İlk olarak, güç santrallerinin en uygun konumları değişebilir, çünkü rüzgar ve güneş enerjisi santrallerinin en uygun yerleri genellikle geleneksel olarak güç santrallerinin yerleştirildiği bölgelerden farklı olabilir. İkinci olarak, iletim kapasitesinin artırılması, rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin üretim desenlerindeki dalgalanmaların düzeltilmesinde kullanılabilir (Person vd., 2014). Bu, genellikle rüzgar ve güneş modelleri arasındaki korelasyonun coğrafi mesafeyle birlikte azalması nedeniyle mümkündür. Büyük bir iletim kapasitesi ile elektrik, geniş coğrafi bir alandan toplanabilir ve böylece birleştirilmiş üretimde daha küçük dalgalanmalar meydana gelmektedir. Üçüncü olarak, kaynakların, örneğin enerji dengesi sağlama yeteneğine sahip olan hidroelektrik enerjisi, gibi daha iyi kullanılması için iletim kapasitesinin genişletilmesi gerekebilir.

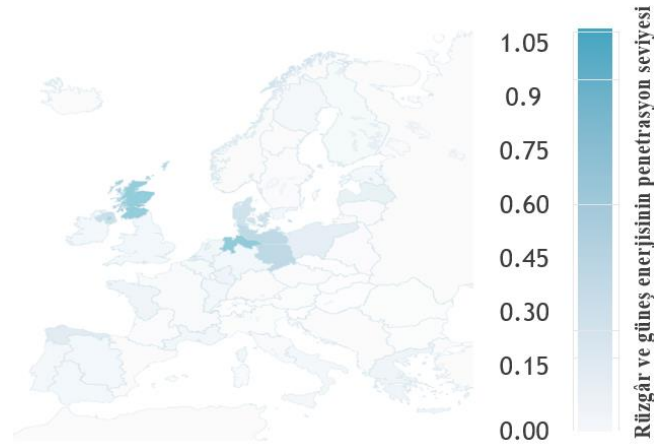
Enerji sisteminin işletilmesindeki ana zorluklardan biri, frekans sapmalarını önlemek için talep ve arzın dengede tutulmasıdır. Geleneksel olarak, esnek üretim birimleri, güç dengesini korumak için üretimi azaltmak veya artırmak için kullanılmıştır. Kesintiye uğrayan elektrik üretiminin miktarı arttıkça, dengeli güç ihtiyacı aynı anda artabilir ve esnek üretim birimleri yenilenebilir üretim birimleri tarafından değiştirilmektedir. Bu yeni durumda, üretimin azaltılması gerekiyorsa (düşürme) düşürme yapılabilir. (Yukarı düzenleme) kesintisiz enerji kaynaklarından üretimi arttırmak daha zordur çünkü zaten mevcut olan tüm enerjiyi kullanıyorlarsa üretimlerini arttıramazlar (Singh vd.,2009). Bunun yerine, talep tarafı yönetimi (DSM) ve enerji depolama gibi diğer önlemler uygulanabilir. Aynı zamanda, rüzgar türbinleri ve güneş PV, reaktif güç sağlama yeteneğine sahip olabilir ve birçok ülkede yeni santraller için bu gereklidir.

Şebeke içindeki kongestiyonlar, sistemin ekonomik olarak verimli bir şekilde işletilmesini engelleyebilir, örneğin en istenen üretim birimlerinin talebi karşılamasını engelleme durumudur (Göransan vd.,2014). Bu, elektrik şebekesinde yaygın olarak kongestiyon olarak adlandırılır. Sistemde zaten kongestiyon varsa, A noktasındaki bir

jeneratörden B noktasındaki bir yüke daha fazla güç transfer etmekten fayda sağlayacaktır, ancak bir iletim hattının sınırlı kapasitesi, güvenlik sınırları veya diğer kısıtlamalar nedeniyle bunu yapmak mümkün olmayabilir. Kongestiyon durumunda, B noktasındaki talep yine de karşılanabilir (aksi takdirde kesinti olurdu), ancak daha az istenen üretim birimleri kullanılmak zorunda kalacaktır.

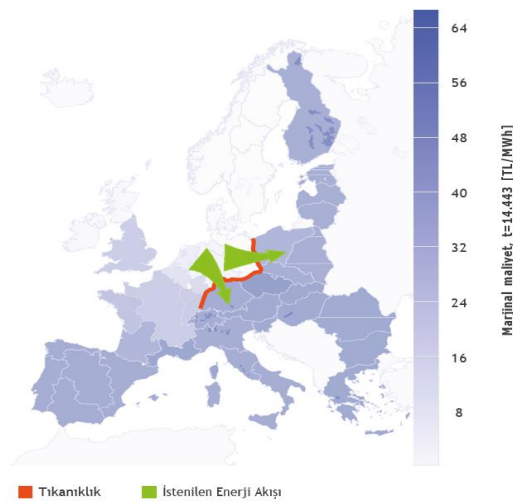
Şebeke içinde kongesti olduğunda, elektriğin marjinal maliyeti, yani marjinal maliyeti artırmak için ekstra bir birim talebi karşılamanın maliyet artışı, farklı bölgeler arasında farklılık gösterecektir. Marjinal maliyet farkı, kongestiyonun bir göstergesidir. Eğer bir A noktasında bir birim elektrik üretme maliyeti, B noktasında bir birim elektrik üretmekten daha düşükse, sistemin perspektifinden, B noktasındaki en pahalı üreticiyi azaltmak ve A noktasından elektrik satın almak tercih edilecektir. Bu nedenle, A ve B arasındaki ticaret sınırlı değilse, yani kongestiyon yoksa A ve B'deki marjinal maliyetler eşit olacaktır, çünkü her iki noktadaki ekstra birim talebi aynı jeneratör tarafından karşılanabilir. Bir marjinal maliyet farkı, A ve B arasındaki ticarete bir kısıtlama olduğunda yalnızca kalıcı olmaktadır. Kongestiyonun varlığında toplam üretim maliyeti de artacaktır. Ancak, kongesti nedeniyle artan ekstra üretim maliyetleri ve şebekenin iletim kapasitesini artırmak için yapılan maliyetler arasında bir denge olacaktır. Bu nedenle, toplam maliyetler, üretim ve şebekeler için maliyetler de dahil olmak üzere en aza indirgenirken kongesti olabilir. Avrupa'da güneş ve rüzgar enerjisinin elektrik üretimini genişletme çalışmaları, iletim şebekesindeki kongestiyon desenlerini muhtemelen etkileyecektir. Güneş ve rüzgar düşük marjinal üretim maliyetiyle elektrik sağladığından, bu tür üretimin gerçekleştiği bölgedeki elektrik fiyatını düşürecektir. Bu, sistemdeki diğer bölgelerden bu düşük maliyetli elektrik için talebi artıracaktır. Kongestiyon desenleri, Avrupa'nın elektrik üretim ve iletim sistemi için bilgisayar modelleri kullanılarak incelenebilir. Bu tür modeller genellikle her bölgedeki güç santrallerinin toplam sistem maliyetini en aza indirmek için nasıl çalıştırılması gerektiğini belirler. Kongestiyon, elektrik fiyatlarında kalan bölgesel farklılıklarla ortaya çıkmaktadır (Brunekreeft vd.,2011).

2020 yılı için simüle edilen Avrupa elektrik sistemi senaryosunda rüzgar ve güneş enerjisinin enerji penetrasyon düzeyi Şekil 2.'da gösterilmektedir. Penetrasyon düzeyi, haritada gösterilen 50 bölgenin her birinde bir yılda rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin toplam elektrik tüketimi ile oranını göstermektedir.



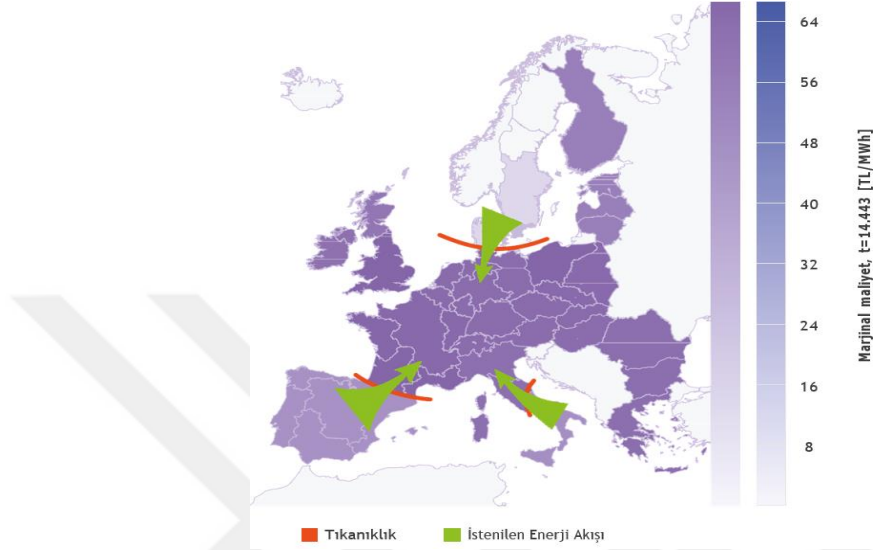
**Şekil 2.9.** 2020'de Avrupa elektrik sistemi için bir senaryoda rüzgar ve güneş enerjisinin enerji penetrasyon seviyesi (Katiraei,2011).

Penetrasyon seviyesi, haritada gösterilen 50 bölgenin her birinde bir yılda rüzgar ve güneş enerjisinden elde edilen toplam elektrik üretiminin aynı zaman diliminde o bölgedeki toplam elektrik tüketimine bölünmesiyle hesaplanmaktadır. Şekil 2.10 ve Şekil 2.11 farklı durumlarda Avrupa'daki marjinal üretim maliyetlerini göstermektedir. Şekil 2.11'te, rüzgar enerjisi üretimi yüksekken talep (yük) oldukça düşüktür. Bu, kuzey Almanya'daki bölgelerde marjinal maliyetlerin çok düşük olduğu anlamına gelirken, doğusundaki ve güneydeki komşu bölgelerde marjinal maliyetler çok daha yüksektir. Bu, kongestiyonun, şebekedeki sınırlamalar nedeniyle ucuz rüzgar enerjisinin bu bölgelere iletilmesini engellediğini gösterir.



**Şekil 2.10.** Bir rüzgar enerjisi üretiminin yüksek olduğu simüle edilmiş Avrupa elektrik sisteminde tek bir zaman adımında 50 bölgede marjinal üretim maliyetlerine bir örnek (Katiraei,2011).

Bu durum, kuzey Almanya'daki daha parlak renkli bölgeler ile Avrupa'nın güneydoğu bölgelerindeki daha koyu renkli bölgeler arasındaki marjinal maliyetlerdeki farklılıklardan görülebilen tıkanıklığa neden olmaktadır. Tıkanıklık, şekilde sarı eğri ile gösterilmektedir ve rüzgar enerjisi üretiminden büyük ölçüde etkilenen bir tıkanıklık modelinin bir örneğidir.



**Şekil 2.11.** Tüm sistemde yükün yüksek olduğu ve güney İtalya ile İber Yarımadası'nda güneş enerjisi üretiminin yüksek olduğu simüle edilmiş Avrupa elektrik sisteminde tek bir zaman adımında 50 bölgedeki marjinal üretim maliyetlerine bir örnek (Katiraei,2011).

Bu durum ise, Avrupa'nın yüksek yük nedeniyle marjinal maliyetlerin yüksek olduğu orta kesimleri ile ucuz güneş enerjisinin mevcut olduğu güney bölümleri arasında bir tıkanıklık ortaya çıkarmaktadır. Uygun maliyetli hidroelektrik santral bulunan İskandinavya ile kıta Avrupası arasında da bir tıkanıklık vardır. Tıkanıklık, şekilde sarı eğrilerle gösterilmektedir. Şekil 2.11, tamamen farklı bir durumu gösterir; merkezi Avrupa'nın merkezinde yük yüksek olduğu için marjinal maliyetler çok yüksekken, İber Yarımadası, güney İtalya ve İskandinavya'da daha düşüktür. Bu durumda kongestiyon ortaya çıkar, çünkü iletim sistemi güney Avrupa'daki ucuz güneş enerjisini ve kuzey Avrupa'daki ucuz hidroelektrik enerjisini merkezi bölgelere yeterince dağıtamaz (IEA,2017). Yukarıda açıklanan örnekler, büyük miktarlarda rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin Avrupa'daki iletim sistemindeki kongestiyon desenlerini büyük ölçüde etkileyebileceğini göstermektedir. Büyük miktarda rüzgar ve güneş enerjisi üretiminin sistemdeki mevcut koşullar göz önünde bulundurularak yapılması gereken gelecekteki

iletim genişlemelerinin planlamasının konum ve değişken yenilenebilir kaynakların özellikleri dikkate alınarak yapılması gerekecektir.

Rüzgar ve güneş enerjisine yatırımlarla ilgili bir ana faktör, aktörlerin piyasa fiyatları ve olası gelirlerle ilgili beklentileridir. Fiyatlamaya ile ilgili önemli bir soru, iletim sistemindeki kongestiyonu nasıl ele alacağıdır, çünkü bu, sistemdeki farklı bölgelerdeki sonuçta pazar fiyatlarını ciddi şekilde etkileyecektir. Alan fiyatlaması, Avrupa'da yaygın olarak uygulanan ve Kuzey ülkelerinde de kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, sistemin farklı bölgelerinde farklı fiyatlar olduğu anlamına gelmektedir. Böyle bir fiyat alanlarının tanıtılmasının nedenlerinden biri, rüzgar ve güneş enerjisi gibi yeni üretim birimlerinin yük merkezlerine daha yakın yerlere konumlandırılmasına teşvik sağlamaktır.

Yenilenebilir enerji yatırımlarını teşvik etmek için farklı ekonomik araçlar uygulanabilir. Bir örnek, Almanya gibi ülkelerde uygulanan besleme tarifeleridir, burada yenilenebilir enerji üreticilerine şebekeye verdikleri enerji için belirli bir fiyat garanti edilmektedir. Bir başka örnek, 2003 yılında İsveç'te tanıtılan yeşil sertifikalardır. Yenilenebilir olarak sınıflandırılan üretim kaynakları, üretim başına bir yeşil sertifika üretmektedir. Tüketiciler, belirli bir elektrik tüketiminin belirli bir payını temsil eden yeşil sertifikaları satın almakla yükümlüdür. Yeşil sertifikalar bir piyasada işlem görür ve yenilenebilir enerji santrali sahipleri yeşil sertifikalar için de gelir elde etmektedir. Böylece, yenilenebilir enerji üretimine yatırım yapma ekonomik teşvikleri artmaktadır.

Piyasa tasarımı ve rüzgar ve güneş enerjisi yatırımlarına yönelik teşvikler konusunda, dengeli hesaplama süreci ve güncellenen üretim tahminlerine göre işlem hacmini ayarlama olasılığı önemli konulardır. Elektriğin ticareti için en yaygın yöntem, üretim tahmininin 12-36 saat öncesine kadar talep edildiği bir anlık piyasadır, bu, tabii ki rüzgar ve güneş enerjisi sahipleri için büyük bir zorluktur. Dengeleme yerine getirme, gerçek saat gerçekleşikten sonra, o saat için işlem hacmi ve gerçek hacim arasındaki sapmanın ekonomik olarak yönetildiği süreçtir. Bu tür sapmalar, tahmin hatalarına bağlı olarak kesintisiz rüzgar ve güneş enerjisi üreticilerinin dengeleme maliyetlerini önemli ölçüde artırabilir. Bu durumu yönetmenin bir yolu, ayarlama piyasasında işlem yapmak ve orada alım-satım işlem hacimlerini güncellenen tahminlere göre ayarlamaktır. Bu, büyük miktarda rüzgar ve güneş enerjisiyle çevrili sistemlerde daha merkezi bir rol oynaması beklenen bir pazar yeridir ve bu tür santral sahipleri için risk azaltma sağlamaktadır.

Sistemdeki üretim kapasitesi arttıkça, yıl boyunca en yüksek marjinal maliyetlere sahip ünitelerin sahip oldukları saatleri azaltacak ve atılabilirler, çünkü artık kendi maliyetlerini taşımayacaklardır. Ancak, üretim kapasitesini koruma konusundaki çıkarlar azalsa da, düşük rüzgar enerjisi üretimi ve yüksek yük durumlarında elektrik sisteminin güvenilirliğini korumak için sistemde kapasite tutma ihtiyacı olabilir. Kapasiteyi korumak için teşvikler yaratmanın bir yolu, kapasite pazarlarının veya kapasite kredilerinin tanıtılmasıdır, burada üreticiler (ve belki de tüketiciler), üretim kapasitesini tutmak için ekonomik tazminat alabilirler. Kapasite pazarındaki üretim kaynaklarının sahipleri, kapasitelerini üretim ve enerji piyasasında kullanmak için serbesttir. Kapasite pazarlarının amacı, mevcut kaynakların tutulmasını ve aynı zamanda yeni nesil üretim için yatırım yapılmasını teşvik etmektir, böylece elektrik ihtiyacı olduğunda piyasada elektrik sağlanabilir.

### 3. MATERYAL VE YÖNTEM

#### 3.1.Genel Bakış

Enerji stratejileri, doğal gazın ve YEK'lerin artışı ile birlikte, enerji verimliliğinin de artmasının etkisiyle desteklenmektedir. Bununla birlikte, hükümet girişimleri, son zamanlarda yenilikçi ve sürdürülebilir enerji kaynaklarını teşvik etmeye yönelmiştir. Yerli "Yenilenebilir Enerji 3020 Uygulama Planı", 2030 yılına kadar yenilenebilir enerji üretim oranını yaklaşık %20 seviyesine çıkarmayı amaçlamaktadır. Günümüzdeki yenilenebilir enerji üretim oranı, büyük ülkelerin oranının altında olduğundan, hükümet, örneğin güneş ve rüzgar enerjisi gibi temiz enerjiyi, yeni tesislerin %95'ten fazlasına tedarik ederek bu hedefi gerçekleştirmeyi hedeflemektedir (BPLE, 2020). Ayrıca, küçük dağıtım sistemlerine bağlı olan DER'ler, hızlı kurulum ve düşük maliyet avantajları nedeniyle giderek daha popüler hale gelmektedir (Holguin vd.,2020). Ancak, rüzgar ve PV üretimindeki aktif güç çıkışı, güneş ışınımına bağlı olduğundan, beklenmedik güneş ışınımı ve sıcaklık değişimleri güç çıkışında istikrarsızlığa neden olabilir. Ayrıca, güç dağıtım sisteminde düşük ve aşırı gerilim sorunları ortaya çıkabilir. Bir güç dağıtım sisteminde yer alan DER'ler tarafından kaynaklanan gerilim sorunlarını hafifletmek için birkaç teknik önerilmiştir. Aşırı gerilim sorunlarını çözmek için kullanılan bir yöntem, yük altında tap değiştirici ve adım gerilim regülatörüdür. Bu gerilim kontrol elemanları, geleneksel genel dağıtım ağlarında etkili bir şekilde kullanılabilir. Ancak, güneş enerjisi üretiminin artışı nedeniyle, güç dağıtım ağlarının sonundaki gerilim seviyeleri son zamanlarda artmış ve bu nedenle gerilim kontrolünün etkisi değişken özelliklere sahip hatta öngörülemeyen bir hal almıştır. Geleneksel dağıtım ağı gerilim profiline göre, ölçülen gerilim, gerilim ölçüm noktasının gerilim kaynağına uzaklığı nedeniyle düşük seviyededir. Şu anda, dağıtım hattının sonunda gerilim artışı gözlemlenmektedir. Bu nedenle, DER bağlantısı, dağıtım ağında ters güç akışı (RPF gibi aşırı gerilim sorunlarına yol açmaktadır.

Sonuç olarak, çift yönlü güç akışı durumlarında gerilim sorununun göz önünde bulundurulması ve çok sayıda değişkenin olduğu senaryolarda dağıtım ağının istikrarını artırmak büyük önem taşımaktadır (Seal vd.,2010). Akıllı bir inverter, bağımsız bir şekilde DEK çıkışını düzenleyebilen bir inverter türünü ifade etmektedir. Bu akıllı inverterler, dağıtım ağının istikrarını sağlamak için faaliyet gösterir ve sabit güç faktörü kontrolü, gerilim-reaktif güç kontrolü, gerilim-güç kontrolü, frekans-güç kontrolü,

gerilim geçişi, frekans geçişi ve manuel aktif ve reaktif güç kontrolü gibi özellikleri içermektedir. Sistem stabilizasyonu için gerekli otonom işlevler, IEEE 1547-2018 standartlarında belirtilmiştir. Test yöntemlerinin uygulanması ve denetim kriterlerinin belirlenmesi, volt-reaktif güç kontrolü (VVC) ve volt-g kontrolü (VWC) gibi anahtar girdi parametrelerinin kullanımını içeren IEC 61850-7-520 tabanlı bir iletişim arayüzünün kullanımını sağlamak üzere düzenlenmiştir (IEEE, 2022) VVC kontrol yöntemi, PV inverterin yaygın bağlantı noktasının (PCC) gerilimini ayarlamaktadır. Önceden belirlenmiş olan VVC eğrisine göre, inverter reaktif güç emebilir veya tedarik edebilir şekilde düzenlenmektedir.

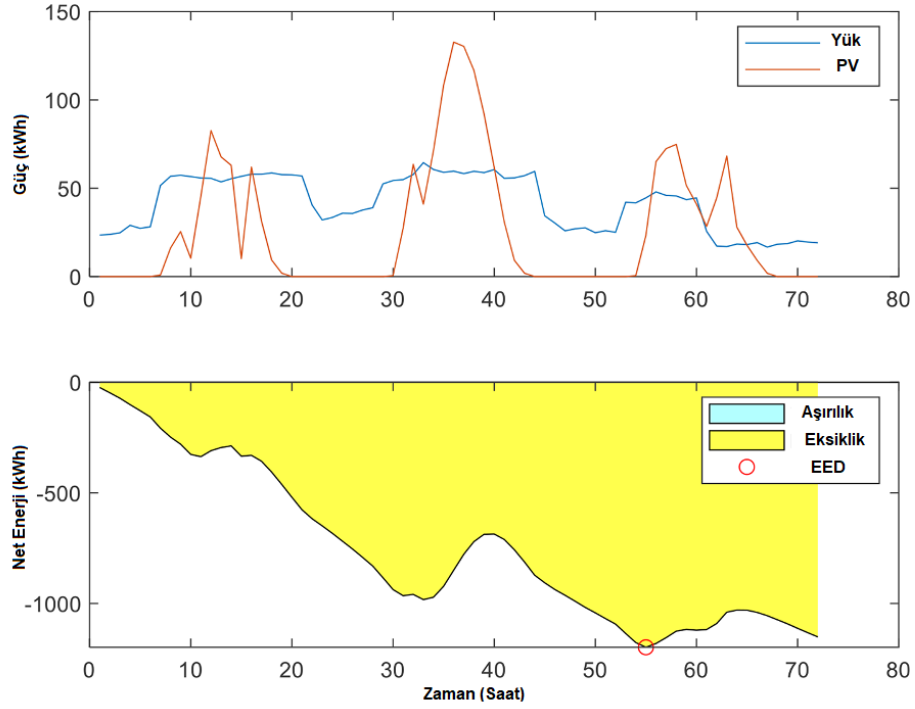
### 3.2.Depolama Yöntemi ile G Dengesi

Akıllı şebekeler, enerji toplulukları ve enerji merkezleri gibi dağıtılmış enerji sistemleri, geleneksel şebekelere alternatif bir çözüm olmuştur. Aynı zamanda şebeke genişleme sorunlarıyla başa çıkabilir, iletim kayıplarını azaltabilir ve çevresel endişeleri hafifletebilirler, çünkü daha yüksek oranda YEK teknolojilerini entegre edebilirler. Son yıllarda, dağıtılmış yenilenebilir enerji sistemleri toplumsal kabulde artış yaşamış ve bazı ülkelerde elektrik üretim payı %10'a kadar çıkmıştır (Tan vd.,2013). Dağıtılmış enerji sistemleri, enerji üretimini talebe yaklaştırma, emisyonları azaltma ve YEK maliyetlerini düşürme gibi birçok avantaja sahip olmasına rağmen, hala YEK'lerin dalgalanma özelliği nedeniyle istikrarlı ve güvenilir enerji sağlama konusunda büyük zorluklar sunmaktadır. RES dalgalanmalarını, yk eşleşmelerini hafifletebilecek ve dağıtılmış enerji sistemlerinin güvenilirliğini artıracak bir potansiyel zm, EDS sistemidir. EDS sistemleri, hibrit sistemlerin ve mikroşebekelerin işletilmesi için hayati öneme sahiptir (Mitra, 2010). Dünya sürdürülebilir enerji sistemlerine geçişte kilit bir teknolojiyi temsil etmektedir. Aktif ve reaktif güç düzenlemesi, frekans, rezerv kapasitesi ve diğer şebeke hizmetleri sağlayarak geçiş için gerekli geniş bir hizmet yelpazesini destekleyebilirler (Das vd.,2018; Moghaddam vd.,2019). Ayrıca, enerji topluluklarının öz-yeterlilik ve öz-tüketim göstergelerini artıracaklardır (Kichou vd.,2020; Egido vd.,1992). EDS 'ler ayrıca şebekenin genel esnekliğini artıracak ve enerji faturalarını düşürebilir; elektrik enerjisi talebinin düşük olduğu saatlerde şebekeden enerji satın alabilir ve talep yüksek olduğunda ağa geri satabilirler [130]. Elektrik depolama maliyetleri son on yılda dramatik bir şekilde azalmıştır. Özellikle Lityum-iyon (Li-ion) piller için maliyetleri, geniş çaplı dağıtımları nedeniyle %85'ten fazla dşmştir.

EDS sistemlerinin boyutlandırılması, YEK tasarımı ve uygulamasıyla ilgilenen topluluk araştırmacıları için her zaman sıcak bir konu olmuştur. Literatürde sunulan çoğu makalede, EDS boyutlandırması bağımsız PV sistemleri kavramıyla ilişkilendirilir; boyutlandırma metodolojileri, belirli bir güvenilirlik düzeyinde enerji sağlayabilen ve kullanıcı gereksinimini karşılayan PV ve EDS boyutları arasındaki en iyi dengeyi bulmaya çalışmaktadır. Bağımsız bir sistemin güvenilirliği genellikle yük kaybı olasılığı (YKO) göstergesi (Hadj vd., 1995; Brendan vd.,2007) açısından değerlendirilir; bu gösterge, tahmini enerji eksikliği ile toplam işletme süresi boyunca talep edilen enerji arasındaki oran olarak tanımlanmaktadır. Bir çeşitlilik arz eden sayısal ve analitik modelleri hesaplamak için YKO'yu hesaplamak üzere kullanılan bir derleme makalesi, sayısal modellerin oldukça karmaşık olduğunu, analitik modellerin ise önemli bir doğruluk eksikliği gösterdiğini belirtmiştir. Bağımsız PV sistemleri için maliyet optimizasyon metodolojisi geliştirmişlerdir; bu metodoloji, uzun vadeli verileri göz önünde bulundurarak güvenilirliklerini hesaba katarak uygulanabilir. Belirli bir YKO için, farklı pil kapasitesi ve PV dizisi boyutu kombinasyonları elde edilmektedir. Daha sonra, optimizasyon boyutlandırma prosedürü, toplam sistem maliyetinin en aza indirildiği PV-pil çiftini belirlemek için uygulanmaktadır.

Geliştirilen metodoloji, uygun EDS boyutunu belirlemek için belirli bir boyutlandırma dönemi boyunca üretim ve talep arasındaki enerji dengesinin değerlendirilmesine dayanmaktadır. Boyutlandırma döneminin seçimi kullanıcı ihtiyaçlarına bağlıdır ve günlerden birkaç yıla kadar değişebilir. EDS bağımsız ve şebeke bağlantılı enerji sistemlerinde boyutlandırılabilir. Ayrıca, ölçülen verileri kullanan metodoloji, mevcut sistemlerde EDS boyutlandırmak için kullanılabilir. Aynı zamanda doğrulanmış simülasyon modellerinden elde edilen tahmini/öngörülen veriler, yeni hibrid sistemlerin tasarımı için kullanılabilir. Bu metodolojinin diğer bir özelliği, EDS'nin pik düşürme amaçları için kullanıldığında ve hizmet sağlama amaçlı şebeke ile bağlantılı olduğunda boyutlandırılabilme yeteneğidir. Son olarak, dağıtık enerji kaynaklarının (akıllı şebeke, mikroşebekeler, enerji toplulukları, ...vb.) yeni çağında, bilgi ve iletişim teknolojilerindeki (BİT) mevcut ilerlemelerle birlikte, önerilen metodoloji oldukça etkili ve uygulaması kolay olabilir. Metodoloji ayrıca boyutlandırma sürecinde enerji depolama verimliliğini de dikkate almaktadır. Enerjinin belirli kayıplarla (değişken  $\eta_{in}$  ve  $\eta_{out}$  olarak temsil edilen) depolandığı (şarj modu) veya serbest bırakıldığı (deşarj modu) varsayıldığında EDS sisteminden (Şekil 3.1'de gösterildiği gibi) elde edilen tahmini EDS

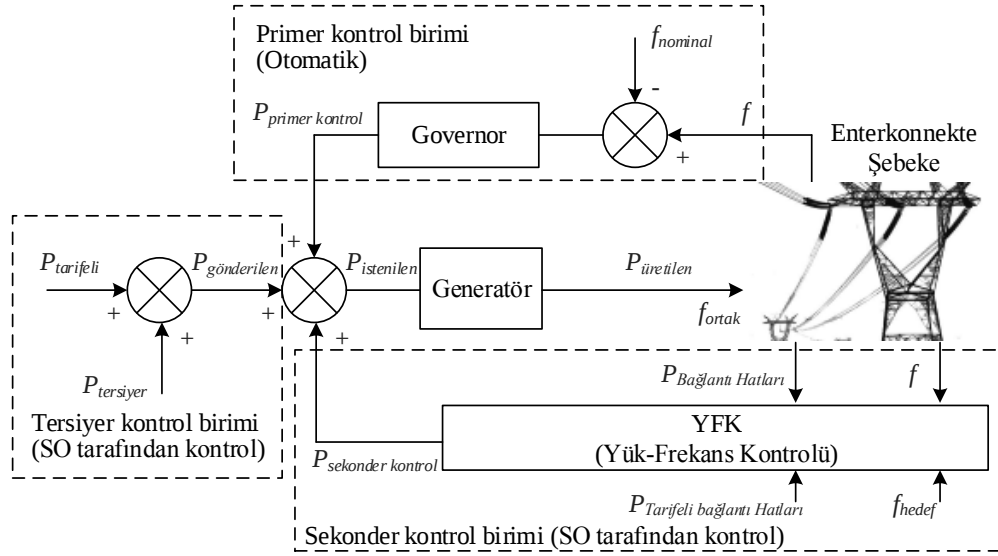
sistem boyutu daha gerçekçidir. Son olarak, bu metodoloji, şarj/deşarj verimliliği değerlerinin seçiminde özgürlük sağlar, çünkü bunlar EDS sistem teknolojisine bağlıdır. Gerçekte, şarj/deşarj verimliliği değerleri ( $\eta_{in}$  ve  $\eta_{out}$ ), birlikten daha küçük ve EDS tipine ve çevresel çalışma koşullarına göre değişmektedir. Daha düşük şarj verimliliği değerleri, artan EDS boyutuna yol açacaktır.



Şekil 3.1. Bağımsız bir PV sisteminde EES boyutlandırma durumu.

### 3.3. Güç Sistemlerinde Aktif Güç Dengesi İçin Frekans Kontrol İşlemi

Frekans kontrolünü sağlayan rezervlerin yapısını açıklayan basitleştirilmiş sistem şeması Şekil 3.2 'de gösterilmektedir. Frekans kontrolü temel olarak üç birimden oluşmaktadır (Tur, 2018). Bunlar; Primer, Sekonder ve Tersiyer frekans kontrolü olarak adlandırılır. Büyük enterkonnekte sistemlerde her üç birim de bulunmaktadır. İzole edilmiş küçük sistemlerde ise sekonder kontrol birimi bulunmayabilir. Frekans kontrolünde kullanılan talep tarafındaki değişkenler bu sisteme dâhil değildir, fakat sistem kavramsal değişiklikler olmadan da düşünülebilir.

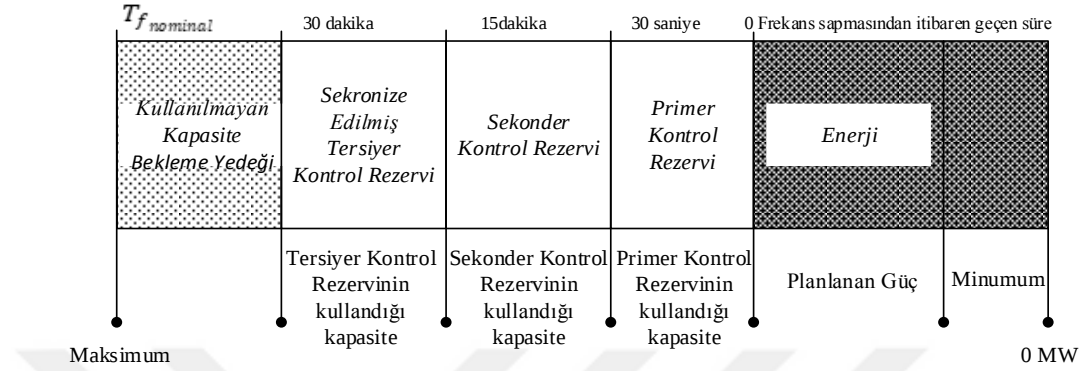


Şekil 3.2 Elektrik iletim koordinasyon biriminin frekans kontrol sistemi

Elektrik İletim Koordinasyon Biriminin Frekans Kontrol Sistemi birimleri aşağıda belirtildiği gibidir (Shobole vd.,2017):

- **Primer Kontrol Birimi:** Yerel otomatik kontrol sistemidir, herhangi bir frekans değişikliğine karşı yedek güç sağlar. İşletme rezervini, hız regülatörlerinin otomatik kullanmak üzere frekansı istenilen seviyede tutmak için kullanılan ve bu sabitleme işlemi için yeterli düzeyde tutulan güç birimidir. Primer Frekans Kontrol (PFK) rezerv miktarı Türkiye Elektrik İletim A.Ş. (TEİAŞ) tarafından belirlenir ve bu rezerv kesintisiz olarak sağlanması esastır. Genel olarak en büyük kurulu güce sahip ünitenin devre dışı kalması göz önünde bulundurularak belirlenir.
- **Sekonder Kontrol Birimi:** Merkezi kontrol sistemidir, frekansı hedeflenen değerine geri getirmek için yedek güç sağlamaktadır. PFK rezervi ile değişimi sabitlenen frekansın nominal seviyesine getirilmesi amacıyla otomatik üretim kontrol programı vasıtasıyla kullanılan birimdir. Güç sistemleri ile olan enerji transferinin planlanan seviyede sağlanması amacıyla yeterli olacak şekilde seçilen kısımdır.
- **Tersiyer Kontrol Birimi:** Bağlantı ve sevkte manuel kontrol sistemidir, sekonder kontrol rezervini geri yüklemeyi ve nihai kısıt yönetimini sağlar. Sekonder Frekans Kontrol (SFK) rezervinin yeterli olmadığı zaman frekansı hedeflenen değerine geri getirmek için kullanılan yedek güç sağlamaktadır. Dengeleme Güç Piyasası (DÜP) kapsamında verilen Yük Alma (YAL) ve Yük Atma (YAT) talimatları ile güç dengeleme birimlerinin belirli bir süre içerisinde gerçekleştirebildikleri çıkış gücü değişimi bu birim ile sağlanmaktadır.

Teoride, bir üretim birimi üç aşamalı rezerv kontrolü biçiminde sınıflandırılmaktadır. Şekil 3.3'te kapasitenin nasıl bölünmesi gerektiği ve devreye girme süreleri gösterilmektedir. Pratikte, bir üretim birimi sadece bir, iki ya da belirli standartlara göre bu rezerv hizmetlerin hiçbirisi bulunmayabilir.

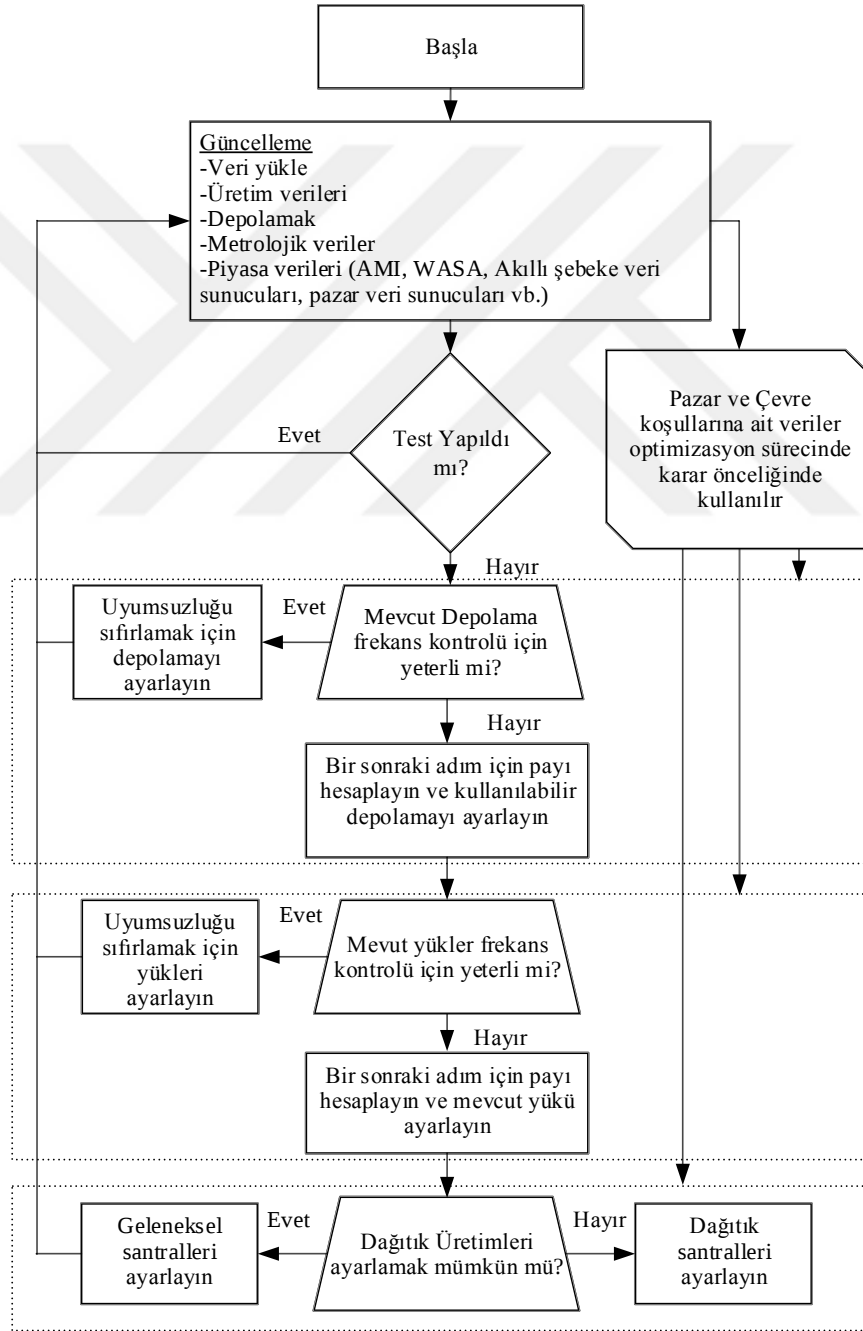


Şekil 3.3 Frekans kontrolüne katılan bir üretim biriminin kapasite tahsisi

### 3.4. Akıllı Şebekelerde Gerilim Kontrolü

Akıllı şebekelerde inverterler PCC voltajına bağlı olarak, volt-var fonksiyonu beslemeyi düzenler ve reaktif gücü emmektedir. Aşırı gerilim oluştuğunda ve voltaj düşürüldüğünde, reaktif güç kontrolü PCC voltajını izler ve voltajı yükseltmek için tahrik edilen reaktif gücü kademeli olarak artırmaktadır. PCC voltajı aşırı gerilim ise, kapasitif reaktif güç salınarak voltaj düşürülmektedir. VWC, aktif gücü voltaj dalgalanmalarına göre kontrol etmektedir. Bu teknik ölçülen PCC voltajını kullanılmaktadır. Voltaj istikrarlı voltaj aralığını aşarsa, VWC aktif güç çıkışını düzenleyerek voltajı azaltmaktadır. VWC fonksiyonu, VVC fonksiyonuyla eş zamanlı olarak veya VVC'den sonra aşırı gerilim oluştuğunda kullanılmaktadır. Dağıtım ağının voltaj stabilizasyon süreci, reaktif gücün kontrolü yoluyla mainly gerçekleştirilir. VVC'nin kullanıldığı yerde, DEK'in PCC voltajına göre reaktif güç çıkışı otonom olarak ayarlanabilir. İnverterin reaktif gücü, Q-V eksilme kontrolünün tanımına göre otomatik olarak belirlenmektedir. Ayrıca, inverter PCC voltajı ölçümü ve reaktif güç kontrolü gerçekleştirilir. DEK'in voltajı üretilen reaktif güç tarafından stabilize edilir ve bu prosedür akıllı inverterde sürekli olarak tekrarlanmaktadır. Bu yöntem, istikrarlı bir çalışma noktasına yakınsar ve bu, istikrarlı işletme için değerlidir. VVC eğrisi aracılığıyla reaktif güç kontrolü, istikrarlı reaktif güç çıkışını takip etmekle karakterizedir ve nihai yakınsak voltaj değeri, akıllı inverterin sistem bağlantı noktasının karakteristiklerine, yani Thevenin eşdeğer empadansı, aktif güç değerleri ve reaktif güç değerleri, bağlı olarak belirlenmektedir.

Akıllı güç sisteminde aktif gücün gerçek zamanlı kontrolü için önerilen yöntemi Şekil 3.4’de göstermektedir. Akıllı şebekenin temel özelliklerinden biri, akıllı şebekenin bileşenleri arasında veri ve bilgi akışını sağlayan uygun iletişim ve bilgi altyapılarının mevcudiyetidir. Ayrıca sisteme yerleştirilen sensörler ve veri toplama cihazları, sistemin sistemdeki her koşuldan daha fazla haberdar olmasını sağlamaktadır. Sonuç olarak, akıllı şebekenin yukarıda belirtilen avantajlarını kullanarak, geleneksel güç sisteminde mümkün olmayan aktif güç üretimi ve tüketimi arasındaki uyumsuzluğu gerçek zamanlı olarak yönetmek mümkündür [134].



Şekil 3.4: Önerilen algoritmanın akış şeması

Önerilen yöntemde yük verileri sistemden AMI aracılığıyla toplanacaktır. AMI, tüketici ve tedarik arasında iki yönlü bilgi iletişimi sağlayabilecektir. Yük, gerçek zamanlı olarak güncellenen yük verileri sunucusundan alınacaktır. Bu gerçek zamanlı veriler, arz ve talep arasındaki uyumsuzluk durumunda sistemi ayarlamak için kullanılabilecek elektrikli araçlar, su ısıtıcıları, kurutucular vb. gibi kontrol edilebilir yüklerin boyutunu da içerebilir. Tüketicilerin, talep tepkisi yoluyla teşvike karşılık yüklerinin bir kısmını sistemin düzenlenmesi amacına yönelik olarak serbest bıraktığı varsayılmaktadır. İşletim sistemleri ile AMI arasında veri ve komut alışverişi için güvenli ve güvenilir iletişim sistemi kullanılacaktır.

Şekil 3.1, akıllı güç sisteminde aktif gücün gerçek zamanlı kontrolü için önerilen yöntemi göstermektedir. Akıllı şebekenin temel özelliklerinden biri, akıllı şebekenin bileşenleri arasında veri ve bilgi akışını sağlayan uygun iletişim ve bilgi altyapılarının mevcudiyetidir. Ayrıca sisteme yerleştirilen sensörler ve veri toplama cihazları, sistemin sistemdeki her koşuldan daha fazla haberdar olmasını sağlayacaktır. Sonuç olarak, akıllı şebekenin yukarıda belirtilen avantajlarını kullanarak, geleneksel güç sisteminde mümkün olmayan aktif güç üretimi ve tüketimi arasındaki uyumsuzluğu gerçek zamanlı olarak yönetmek mümkün olacaktır (Denklem 3,4 ve5).

$$P_{GZT\ddot{U}}(t) = \sum_{i=1}^n P_{GZD\ddot{U}}(t) + \sum_{j=1}^m P_{GZDepolama}(t) + \sum_{k=1}^g P_{GZG\ddot{U}}(t) \quad (3)$$

$$P_{Y\ddot{U}k}(t) = \sum_{l=1}^f P_{KY\ddot{U}k}(t) + \sum_{r=1}^s P_{nonKY\ddot{U}k}(t) \quad (4)$$

$$\Delta P(t) = P_{GZT\ddot{U}}(t) - P_{Y\ddot{U}k}(t) - P_{Kayıp} \quad (5)$$

$$DGP(t) = \Delta P(t) - DP(t) \quad (6)$$

$$DYP L(t) = \Delta P(t) - DP(t) - P_{DKY}(t) \quad (7)$$

$$D\ddot{U}P(t) = \Delta P(t) - DP(t) - P_{DKY}(t) - P_{A\ddot{S}\ddot{U}}(t) \quad (8)$$

Burada,  $P_{GZT\ddot{U}}(t)$  Gerçek Zamanlı Toplam Üretim (MW),  $P_{GZD\ddot{U}}(t)$  Gerçek Zamanlı Dağıtık Üretim (MW),  $P_{GZDepolama}(t)$  Depolamadan şebekeye iletilen Gerçek Zamanlı Sağlanan Güç (MW),  $P_{GZG\ddot{U}}(t)$  Gerçek Zamanlı Dağıtık Üretim (MW),  $P_{Y\ddot{U}k}(t)$  Gerçek Zamanlı Toplam Yük (MW),  $P_{KY\ddot{U}k}(t)$  Gerçek Zamanlı Kontrol Edilebilir Toplam Yük (MW),  $P_{nonKY\ddot{U}k}(t)$  Gerçek Zamanlı Kontrol

Edilemeyen Toplam Yük (MW),  $P_{Kayıp}(t)$  Güç Sisteminde Toplam Kayıp (MW),  $DGP(t)$ , Depolama Tarafından Dağıtılan Dengeleme Payı (MW).  $DP(t)$  dengeleme için ayarlanan depolanan güç (MW),  $P_{DKY}(t)$  Dengeleme İçin Ayarlanan Kontrol Edilebilir Yük (MW),  $P_{AŞÜ}(t)$  Dengeleme İçin Ayarlanan Akıllı Şebeke Üretimi (MW) olarak tanımlanmaktadır.

Geleneksel üretim kaynaklarına ek olarak üretilen enerjinin uyumsuzluğu düzeltilirken, akıllı üretim kaynaklarının yanı sıra dağıtık üretim kaynakları da kullanılabilir, bu kullanımın uygun olup olmadığı incelenebilir (Şekil 3.1’de akış şemasına bakınız). DÜ’nin düzenlemek için kullanılması, DÜ kaynaklarının penetrasyon seviyesi çok yüksek olduğunda ve akıllı üretim kaynaklarının sistem regülasyonu için yetersiz olduğu durumlarda uygulanabilir. Ancak bu amaçla DÜ kaynakları düşük güç kapasitesine sahip hale getirilir, böylece geleneksel üretim kaynakları gibi kullanılabilir. Bu, DÜ kaynaklarından elde edilen gücün azalmasının dezavantajını beraberinde getirmektedir.

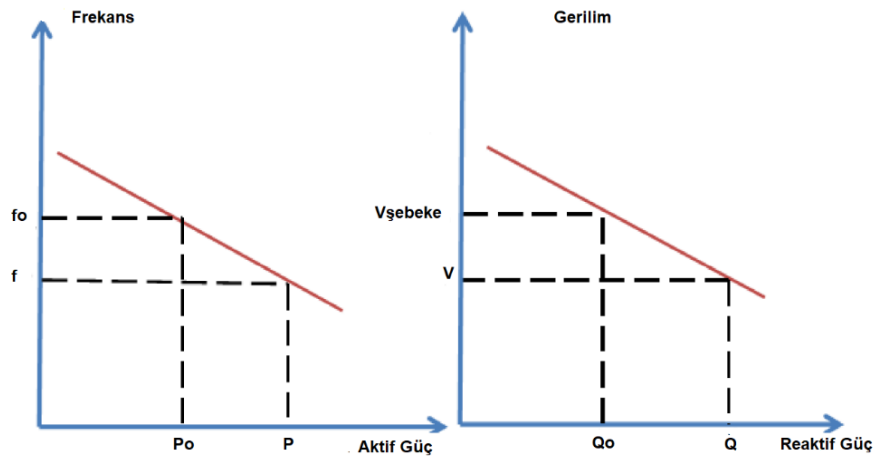
Gerçek zamanlı toplam üretim ve yük eşleşmesi durumu ardından denklem (3)’te gösterildiği şekilde güç değeri hesaplanmaktadır. Eğer arz ve talep arasındaki uyumsuzluk, izin verilen aralıkta ise, yani sistem frekansı ve kararlılığı etkilenmiyorsa, denetleyici belirtilen gecikme süresinin ardından verileri güncellenmektedirler (örneğin, sistem rampalama durumunu önlemek için düzenli aralıklarla veri güncellemesi yapılır). Eğer arz ve talep arasındaki uyumsuzluk izin verilen aralıkta değilse, denetleyici uyumsuzluğu düzeltmek için harekete geçmelidir. Sisteme göre, uyumsuzluğu düzeltmek için tüm mevcut kaynaklar kullanılabilir veya uyumsuzluk büyüklüğüne bağlı olarak bazı kaynaklar kullanılabilir. Örneğin, akış şemasında (Şekil 3.4) gösterilen sırayı dikkate alarak, önce mevcut depolama sistemleri uyumsuzluk gücünü emmek için kullanılır, ardından kontrol edilebilir yükler ve nihayet akıllı üretimler kullanılmaktadır. Örneğin yük artarsa veya üretim azalırsa, dengeleme işlemi denklemlerde (6 ile 8) gösterildiği gibi gerçekleştirmektedir. Uyumsuzluk yeterince büyük ve mevcut depolama kaynağını aşıyorsa, denetleyici önce depolama ile başlar ve en son nihayetinde üretime geçmektedir. Eğer mevcut depolama kaynağı uyumsuzluğu emmek için yeterince büyükse, denetleyici belirtilen aralıkta bir sonraki adım için verileri güncellemeye devam etmektedir. Aksi takdirde, depolama, uyumsuzluğun kalanını kontrol edilebilir yük veya uygun kaynağa aktarır, ki bu kaynak uyumsuzluğu düzeltme yeteneğine sahiptir.

Güç sisteminde frekans, etkin güç, elektrik şebekesi, mikro şebekeler gibi genel parametrelerin istikrarını kontrol etmek için kullanılmaktadır. Mikro şebeke, şebeke-bağlantılı ve izole modda çalışabilmektedir. Güç arzı ile talebi arasında denge, istikrarlı sistem işletimi ve güç sistemleri şebekelerinin güvenilirliği açısından son derece önemlidir. Bu bağlamda frekans kontrolü, güç sistemlerinin işletimindeki temel bir endişe olarak kabul edilmektedir. Frekans kontrolünün amacı, frekans sapmasını normal çalışma aralığında korumaktır. Frekansın normal pozisyonuna dönmesini sağlamak için merkezi ve merkezi olmayan değişikliklere karşı birçok teknik geliştirilmiştir ve her tekniğin olumlu ve olumsuz yönleri bulunmaktadır. Genellikle kullanılan bir teknik büyük güç sistemlerinden Otomatik Üretim Kontrolü'nü izlemektedir. Bu teknikte, Alan Kontrol Hatası (ACE), merkezi bir integral kontrolör ve herkese iletişim kullanılmaktadır. Bu yöntem ayrıca DÜ tesislerinde mikroşebeke mantığıyla çatışmaktadır. Dağıtık bir sistemde, her bir inverter daha yavaş bir integral kontrol sağlamaktadır. Frekans kaydının, ana düşüklik kontrol cihazı ile senkronize olmayan ve hızlı olmayan ikincil integral kontrol cihazı arasındaki zaman ölçeklerinin değişimine dayandığı ve sürekli bir durum olduğu kabul edilmektedir. Sistemde meydana gelen olağan durumda, bu teknik birincil kontrol tarafından elde edilen güç paylaşımı üzerinde çözülemeyen bir etkiye sahiptir ve beklenmedik olaylarla meydana gelen ani yük değişiklikleri sırasında ağ frekansının kontrolü oldukça yavaş olmaktadır. Dengesiz üretim veya sistem işletimi sırasında sistemin kalitesini artırmak için güvenilir ve en iyi kontrol mekanizmaları kullanılmaktadır. Farklı makaleler tarafından açıklanan bu kontrol mekanizmaları aşağıdakileri içermektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Bazı Frekans ve Aktif Güç Kontrol Teknikleri

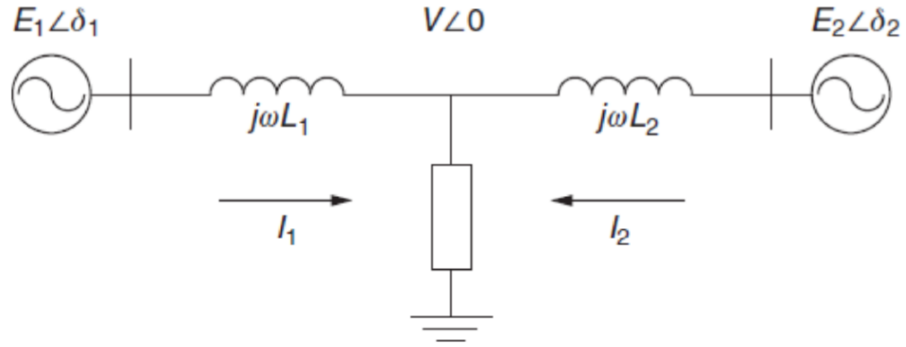
Bu çalışmada, kaynak tarafında bir senkron jeneratör ele alınmıştır. Yük arttığında, jeneratörün yüke daha fazla güç sağlamak zorunda olduğu bir senaryo ele alınmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, güç açısının artırılması gerekmektedir. Bu hedefe ulaşabilmek adına, güç sistemi frekans eğimine dayalı olarak türbin girdi değerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu kontrol mekanizması, enerji üretim ve tüketim dengesini sağlama amacıyla jeneratörün çıkış gücünü düzenlemeyi amaçlamaktadır. Şebeke frekansının değişikliklerine göre, türbin girdi değeri ayarlanarak güç açısının kontrolü gerçekleştirilir. Bu, güç sisteminin istikrarını ve uygun yük dağılımını sürdürmek adına önemli bir adımdır. Literatürde, bu tür frekans eğimi tabanlı kontrol stratejileri, enerji üretim ve tüketim arasındaki dengenin korunmasında etkili bir rol oynamaktadır. Araştırmalar, güç sistemlerinin dalgalanmalara ve yük değişimlerine karşı daha dirençli hale getirilmesinde bu tür yöntemlerin başarılı sonuçlar verdiğini göstermektedir. Bu bağlamda, türbin girdi değerinin kontrol edilmesiyle jeneratör çıkış gücünün düzenlenmesi, enerji sağlama güvenilirliğini artırmak amacıyla önem taşımaktadır. Sonuç olarak, bu çalışma, senkron jeneratörlerin güç üretiminde frekans eğimi tabanlı türbin girdi kontrolünün önemini ve etkinliğini vurgulamaktadır. Güç sisteminin istikrarını sağlamak ve enerji talebinin karşılanmasını güvence altına almak amacıyla bu tür kontrol stratejileri, enerji sektöründe giderek daha büyük bir öneme sahiptir.



**Şekil 3.6.** Frekans Eğimi Karakteristiği

Yukarıdaki frekans eğimi karakteristiği şu şekilde yorumlanabilir: Nominal frekans değerinden ( $f_0$ )  $f$ 'ye düşüş yaşandığında, üreteç ünitesinin güç çıkışına güç gönderme değeri  $P_0$ 'dan  $P$ 'ye kadar artış sağlama yetisi tanınmaktadır. Düşen frekans, artan bir yüklenmeyi işaret eder ve daha fazla etkin güç talebini ifade etmektedir.

Benzer biçimde, senkron jeneratörün bağlama noktası gerilimi  $V$  grid'den  $V'$ 'ye düştüğünde, jeneratörlere reaktif güç çıkışını  $Q_0$ 'dan  $Q$  seviyesine çıkarma yetisi sağlanmaktadır. İki jeneratörün bir yüke güç sağladığı bir senaryoda, her bir jeneratör arasındaki etkin ve reaktif güç paylaşımı, yük açısı ve gerilim farkının büyüklüğüne bağlı olarak belirlenmektedir (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Güç Jeneratörlerinin Paralel Çalışması

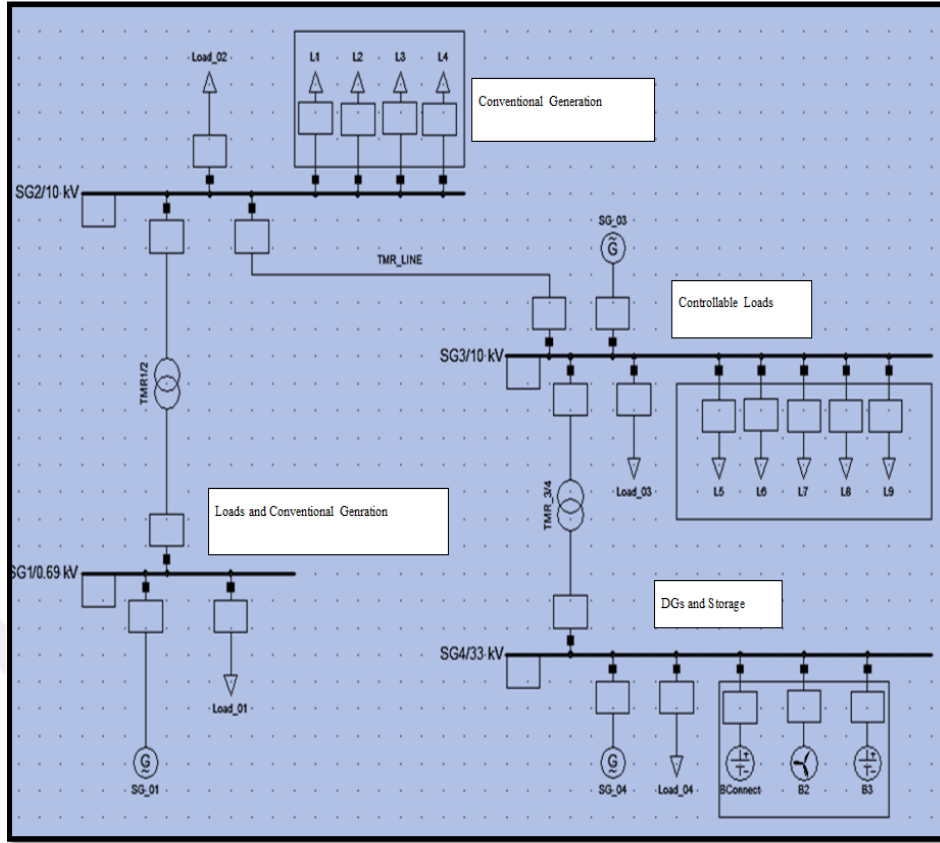
Birden fazla jeneratör paralel olarak çalıştığında, her bir jeneratör frekans eğimi karakteristiğine dayalı olarak yük değişiklikleri için güç seviyelerini otomatik olarak değiştirebilmektedir. Bu, jeneratörlerin yük değişikliklerine tepki verirken frekans değişikliğini girdi sinyali olarak alıp güç hesaplama yöntemi olarak eğim fonksiyonunu kullanmaları nedeniyle faydalıdır. Yük arttığında sistem frekansı azalır ve dolayısıyla jeneratörler eğim eğrisine göre güç seviyelerini artırırlar. Bu durumda, sistem frekansı tekrar artacaktır. Ancak, eğim kontrol mekanizması orantılı bir kontrol sistemidir ve seçilen ayar nokta değeri için frekansı kontrol edemez; her zaman sabit bir durum hatası mevcuttur. Sonuç olarak, kesin frekans kontrolü için ikincil kontrol mekanizması gerekmektedir.

#### 4. ANALİZ BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında akıllı şebekenin, özellikle doğası gereği kesintili olan yenilenebilir enerji sistemleri sisteme entegre edildiğinde, güç sisteminin daha verimli ve istikrarlı olmasını sağladığı kanıtlanacaktır. Akıllı şebekede, yenilenebilir enerji sistemlerini entegre etmek ve sistemi gerçek zamanlı olarak kontrol ederek arz ve talep arasındaki uyumsuzluğun üstesinden gelmek mümkündür. Bu, santraller, yükler, depolama sistemleri, enerji piyasaları vb. verilere erişimi gerektirmektedir. Akıllı şebekelerde bu durum, elektrik şebekesi boyunca döşenen iletişim, bilgi ve sensör altyapıları nedeniyle mümkündür. Bu çalışmada, sistemdeki YEK'lerin oranı çok yüksek olsa bile sistem uyumsuzluğunun giderilebileceği gösterilecektir. Bu yöntem, ağda daha az sayıda senkron makine olduğunda ve sistemin ataleti düşük olduğunda da çok önemlidir. Önerilen yöntem, yükün değişimi veya talep ve arz arasındaki dengeyi bozan herhangi bir beklenmedik durum için de uygulanabilecektir. Depolama, kontrol edilebilir yükler, akıllı santraller veya yük gölgeleme kullanıp kullanmayacağına dair denetleyicinin seçim sırası, mevcut kapasite, çevresel veriler, piyasa verileri, kaynakların konumu vb. faktörlere bağlıdır. Bu, uygulanabilir ve verimli bir çözüm elde etmek için optimizasyon gerektirmektedir.

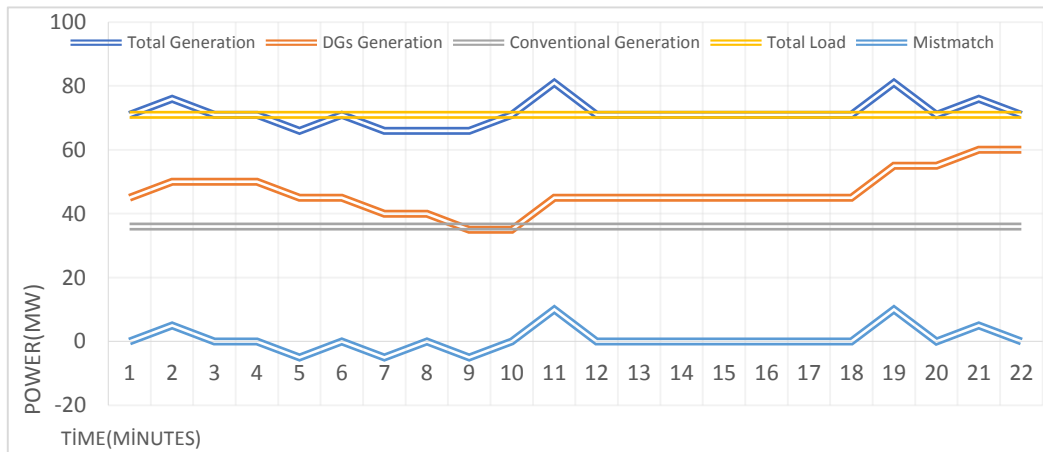
##### 4.1.Tasarlanan Sistem Modeli

Şekil 4.1'de görülen ağ, Etiyopya Elektrik Güç Şebekesi'nin bir parçasını temsil etmektedir. Bu çalışmada, izole çalışma modu (ada modu) benimsenmiştir ve önerilen algoritmanın testi bu modda gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, sisteme enerji depolama sistemleri ve kontrol edilebilir yükler eklenmiştir. Orijinal sistemde depolama sistemi bulunmadığı için bu bileşenlerin entegrasyonu, ağın dinamiklerini ve uyumsuzlukları daha iyi anlamak amacıyla gerçekleştirilmiştir. Bu simülasyon çalışmasında, YEK'lerden kaynaklanan dalgalanmalar ele alınmıştır. Ancak simülasyon, yük değişkenliği veya her ikisinin kombinasyonunu da dikkate almak mümkündür. DÜ'lerden kaynaklanan dalgalanma, Şekil 4'te gösterildiği gibi ele alınmıştır. Geleneksel enerji üretim kaynaklarından gelen güç sabit tutulurken (36 MW), DÜ'lerin (rüzgar enerjisi) üretimi 35 MW ile 60 MW arasında değişmektedir. Yük ise sabit olarak 71 MW'dır. Ayrıca, güç sisteminde bulunan enerji depolama sisteminin kapasitesi 35 MW olarak belirlenmiştir. DÜ'lerden kaynaklanan dalgalanma sonucunda enerji uyumsuzluğu oluşmaktadır ve bu durum Şekil 4.1'de gösterilmektedir.

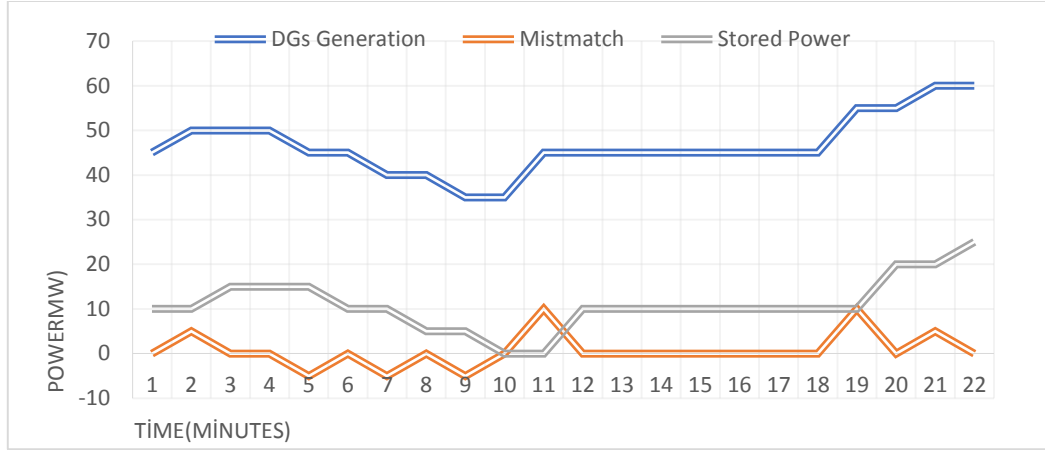


Şekil 4.1. Önerilen algoritmayı test etmek için DigSilent Ağ modeli.

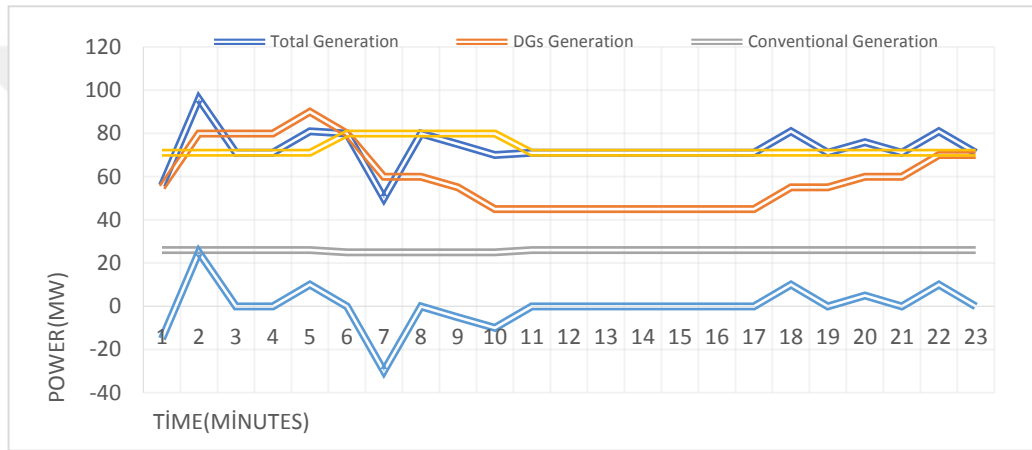
Denetleyici, sistemin farklı noktalarına yerleştirilen sensörler aracılığıyla otomatik olarak veri toplamakta ve bu verilere dayanarak gerçek zamanlı kararlar almaktadır. Denetleyici, uyumsuzluğu ele almak için en uygun kaynağı seçmek üzere algoritma kullanılmaktadır. Örneğin, uygun bir depolama kapasitesi mevcutsa, Şekil 4.2'te tanımlanan algoritmaya göre depolama sisteminin uyumsuzluğu ele almak üzere devreye alınması sağlamaktadır.



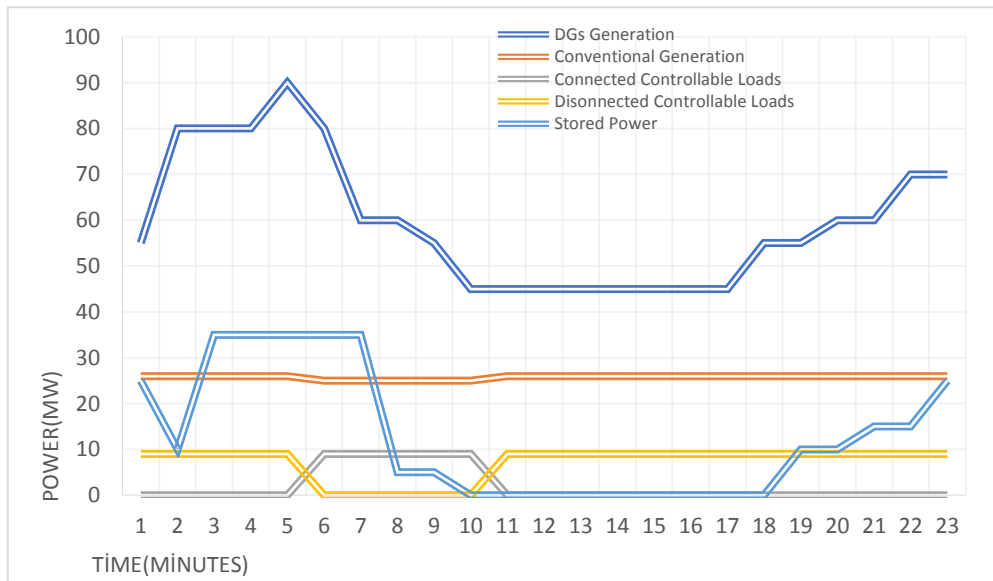
Şekil 4.2. DÜ'lerden Üretim, Konvansiyonel Enerji Santrallerinden Üretim, Toplam Üretim.



Şekil 4.3. Depolama sistemi, DÜ'lerden gelen değişimi izler ve uyumsuzluğu sıfırlar.



Şekil 4.4. DÜ'lerden Üretim, Konvansiyonel Enerji Santrallerinden Üretim, Toplam Üretim.



Şekil 4.5. Depolama, Kontrol edilebilir yük ve akıllı üretim, uyumsuzluğun ayarlanmasında yer alır.

Sonuç olarak, Şekil 4.3'te görüldüğü gibi enerji depolama sistemi, DÜ'lerden kaynaklanan dalgalanmayı izleyerek, DÜ'lerin fazla üretim yaptığı durumlarda enerji depolayarak ve DÜ'lerin üretimi azaldığında ağa enerji sağlayarak dalgalanmayı dengelemektedir. Benzer şekilde, Şekil 4.4'te de DÜ'lerin üretimi 45 MW ile 90 MW arasında değişmektedir. Enerji depolama kapasitesi yine 35 MW ve uyumsuzluğu ele almak üzere tahsis edilen kontrol edilebilir yüklerin toplam kapasitesi 9 MW olarak kabul edilmiştir. Bu durumda, uyumsuzluk yalnızca enerji depolama sistemi kullanılarak ele alınmaktadır. Eğer enerji depolama kaynağı dolu veya boş ise, denetleyici, yük veri sunucusunda, denetleyici tarafından kullanılması için ayrılan yükleri arar (bu yükler, talep yanıtı veya müşterilerin yoğunluğa dayalı olarak tahsis ettikleri yükler olabilir; örneğin, elektrikli araçların şarj veya deşarj işlemleri gibi). Ayrıca, bu durumda enerji depolama veya kontrol edilebilir yüklerle uyumsuzluk ele alınamaz ve sonuç olarak denetleyici, sistemi daha fazla kararlılık sorunundan korumak için akıllı üretim sistemlerini devreye almaktadır. Şekil 4.4'te, enerji depolama kaynağına ek olarak, kontrol edilebilir yüklerin ve akıllı üretim kaynaklarının uyumsuzluğu ele almak için kullanıldığı görülmektedir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Enerji ihtiyacının günümüz koşullarında artan bir önem kazandığı göz önüne alındığında, akıllı enerji şebekelerine geçiş, neredeyse kaçınılmaz bir gereklilik olarak vurgulanmaktadır. Bu geçiş, yeraltı enerji kaynaklarının potansiyelinin artırılmasının sınırlı olduğu bir durumda, mevcut kaynaklardan daha fazla enerji üretimi elde etmek için nasıl daha verimli bir strateji izleyebileceğimizi araştırırken, üretilen enerjinin iletim ve dağıtım süreçlerinde yaşanan kayıpların en aza indirilmesi amacıyla etkili bir enerji sistemi oluşturmanın gerekliliği ortaya çıkmıştır. Bu noktada, enerji üretimi ve tüketimi arasındaki dengeyi sağlayan akıllı enerji şebekelerinin, yer altı enerji kaynaklarına dayalı enerji üretiminin kısıtlamalarını aşmada büyük bir potansiyel taşıdığı görülmektedir. Bu sistemin başarılı bir şekilde işlemesi için, ömrünü tamamlamış ekipmanların akıllı şebeke sistemine entegre edilmesi gerekmektedir. Bu entegrasyon sürecini hızlandırmak ve optimize etmek amacıyla, dijital röleler, trafolar, çift yönlü çalışan sayaçlar, sensörler ve iletişim altyapısı gibi bileşenlerin yanı sıra akıllı operatör yönetiminin de devreye alınması gerekmektedir. Bu adımlar, enerji sisteminin daha sağlam, verimli ve güvenilir bir hale gelmesini sağlayacaktır.

Bu yenilikçi yaklaşımın bir sonucu olarak, enerji kalitesinin artırılması, kesintisiz enerji arzının sağlanması ve YEK'lerin daha geniş bir şekilde kullanılması gibi hedefler daha yakın bir gelecekte mümkün hale gelebilir. Özellikle rüzgar ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir kaynakların kullanımı, tek başına değil, aynı zamanda hibrit sistemlerde de artmaktadır. Bu kaynakların toplam enerji üretimindeki payı büyüdükçe, bu iki üretim yönteminin sorunsuz bir şekilde entegre edilmesi için titizlikle çalışılması gerekmektedir. Elektrik üretiminde kullanılan kaynakların özellikleri, üretim miktarını ve enerji kalitesini etkilerken, enerji üretim ve tüketimini optimize etme potansiyeli de taşımaktadır. Bu nedenle, rüzgar türbinleri ve güneş panelleri gibi popüler yenilenebilir kaynakların detaylı analizi büyük bir öneme sahiptir. Bu analizler, asenkron jeneratörlerin geçici ve sürekli durum analizi gibi konuları da içerir ve bu verilerin akademik literatüre katkı sağlaması amaçlanmaktadır.

Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde kullanılan jeneratörlerin özelliklerinin doğru bir şekilde modellenmesi ve enerji üretimi ile tüketimi arasındaki dengeyi sağlayan akıllı enerji şebekelerinin yönetimi, enerji sisteminin sürdürülebilirliği ve gelecekteki genişlemeleri planlama sürecinde büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, rüzgar türbinlerinde yaygın olarak kullanılan asenkron jeneratörlerin geçici ve sürekli

durum analizleri gerçekleştirilmiştir. Analiz sonuçları, şebekeye bağlı asenkron jeneratörlerin yük akımının artmasıyla çıkış geriliminin düştüğünü göstermektedir. Enerji kalitesinin standartlara uygunluğu açısından, yük akımı ile gerilim düşüşü ciddi bir sorun olarak değerlendirilmelidir. Bu bağlamda, gelecekte yapılacak çalışmaların bu tür sorunları çözmeye odaklanması gerekmektedir.

Bu tez çalışması kapsamında elde edilen sonuçlar, rüzgar türbinleri için asenkron jeneratörlerin uygun bir seçenek olduğunu doğrulamaktadır. Ayrıca, güneş panellerinden elde edilen doğru gerilimi, tüketiciye uygun bir alternatif gerilime dönüştürmek için inverterler kullanılmaktadır. Ancak, çevresel koşulların değişkenliği, inverterlerin matematiksel modellemesinin karmaşıklığı ve enerji dalgalanmaları gibi etmenler, bu entegrasyon sürecini zorlaştırabilir. Bu tezde önerilen model ile yapılan benzetim çalışması, çevresel koşulların güç kalitesine olan etkisini incelemektedir.

Ayrıca, Türkiye'deki bir PV santralindeki çevresel koşulların AC güç, frekans ve güç faktörü üzerindeki etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Bu çalışmanın amacı, çevresel koşulların enerji çıkışına olan etkilerini araştırmak ve en verimli çalışma koşullarını tahmin etmektir. Düşük nem, yüksek güneş radyasyonu ve yüksek sıcaklık gibi koşullar altında, PV jeneratörünün çıkışı ile inverter çıkışı arasındaki güç farkının daha az olduğu gözlenmiştir. Bu durum, sistem verimliliğini artırıcı bir etki yapmaktadır. Elde edilen sonuçlar, farklı çevresel koşullar altında YEK'lerin enerji çıkışını daha iyi öngörmek için kullanılabileceğini göstermektedir. Bunun yanı sıra, gelecekteki talep yönetimi çalışmalarına da yardımcı olabileceği düşünülmektedir. Ancak, harmonik etkilerin bu çalışmada ele alınmamış olması, gelecekte yapılacak araştırmalar için önemli bir konudur.

Sonuç olarak bu araştırma, akıllı şebekenin, özellikle doğal olarak aralıklı olan yenilenebilir enerji sistemlerinin sistem entegrasyonu durumlarında güç sistemini daha verimli ve kararlı hale getirebileceğini kanıtlamaktadır. Akıllı şebekte, yenilenebilir enerji sistemlerini entegre etmek ve talep ile arz arasındaki uyumsuzluğu gerçek zamanlı olarak kontrol etmek mümkündür. Bu, üretimlerden, yüklerden, depolama sistemlerinden, enerji piyasalarından elde edilen verilere erişimi gerektirir. Bu veri erişimi, akıllı şebeke altyapısının içerisine yerleştirilen iletişim, bilgi ve sensör altyapısı sayesinde sağlanabilir. Bu tez çalışması, sistem uyumsuzluğunun sistemin içindeki YEK'lerin oranı çok yüksek olsa bile ele alınabileceğini göstermektedir. Bu yöntem aynı zamanda ağdaki senkron makinelerin sayısının az olduğu ve sistemdeki ataletin düşük

olduğu durumlarda da özellikle önemlidir. Önerilen yöntem, yük veya herhangi diğ r aksilik durumlarında da talep ile arz arasındaki dengeyi sağlamak için uygulanabilir. Depolama sistemleri, kontrol edilebilir yükler, akıllı üretim sistemleri veya yük azaltma gibi denetleyici yöntemlerin seçim sırası, mevcut kapasite, çevresel veriler, pazar verileri, kaynakların konumu gibi faktörlere bağlı olarak belirlenmelidir. Bu, uygun ve verimli bir çözüm elde etmek için optimizasyon gerektirir. Şu anki çalışmanın bu yöndeki çalışmaları devam etmektedir.



## KAYNAKLAR

5. IEEE Std 1547-2018 (Revision of IEEE Std 1547-2003); IEEE Standard for Interconnection and Interoperability of Distributed Energy Resources with Associated Electric Power Systems Interfaces.
- 9th Basic Plan for Electricity Supply and Demand,(BPLE), 2020, Biennial Report Republic of Korea Ministry of Trade, Industry, and Energy. t; Republic of Korea Ministry of Trade, Industry, and Energy: Sejong-si, Korea,
- Akçin, M., Alagöz, B. B., Keleş, C., Karabiber, A., and Kaygusuz, A.,2013, Dağıtık kontrol ile akıllı şebekelerde geniş-alan yönetimi ve geleceğe dönük projeksiyonlar -Wide-area management of smart grid by distributed control and near future projections, SAÜ, *Fen Bilimleri Dergisi*, 17 (3): 457–470.
- Akdeniz E. , Kaypmaz A., E. A. Y., 2006, Yenilenebilir Kaynaklardan Enerji Üretiminin Şebekenin Enerji Kalitesi Üzerine Etkilerinin İncelenmesi, *EMO Bilimsel Dergi*, 2–6.
- Anees A.S., 2012, Grid integration of renewable energy sources: Challenges, issues and possible solutions, *2012 IEEE 5th India International Conference on Power Electronics (IICPE)*, Delhi, India.
- Apaydın M., Arif Kıvanç ÜSTÜN, M. K. ve Ü. B. F., 2009, Rüzgâr Enerjisinde Kullanılan Jeneratörlerin Karşılaştırmalı Analizi, V. *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu*, 103–107
- Appen, J. V. et. al., 2013, Time in the Sun: The Challenge of High PV Penetration in the German Electric Grid, *IEEE Power and Energy Magazine*, 11(2):55-64.
- Arnold GW., Challenges and opportunities in smart grid: A position article. *Proc IEEE* 2011;99:922–7.
- Arnone, D., Rossi, A., & Bertoncini, M. ,2014, Energy Management in a Smart Grid-integrated Hydrogen-based Storage Electric Grid balancing when integrating large-capacity Renewable Energy sources.
- Bird, Leila & Milligan, Michael & Lew, Debra, 2013, Integrating Variable Renewable Energy: Challenges and Solutions.
- Bollen, M. H. ,2000, Understanding power quality problems (Vol. 3). New York: *IEEE press*.
- Brandon Davit, Humayun Tai, and Robert Uhlaner, “The smart grid and the promise of demand-side management”, McKinsey on Smart Grid Summer 2010.

- Brendan, K., 2007, Ancillary Services: Technical and Commercial Insights, Wartsila. North America
- Brown, R. E., 2008, Impact of Smart Grid on Distribution System design, IEEE Power And Energy Society 2008 General Meeting: Conversion And Delivery Of Electrical Energy In The 21st Century, PES, 1–5.
- Brunekreeft, G. et al. 2011, A Raw Model for a North European Capacity Market - A Discussion Paper. Stockholm, Sweden: Elforsk (Report 11:30).
- Cetin, K. B. and N. S., 2014, Electrical Power Production of ADU Faculty of Medicine From Wind-Photovoltaic Hybrid Power System and Environmental Influences, ISEM2014 Adiyaman - TURKEY, 570–579.
- Çetinkaya, H. B., 2014, Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Entegrasyonu, *ICSG İSTANBUL 2014*, 2 (2): 72–75.
- Chang, J. and Jia, S., 2009, Modeling and collaboration of wind-solar power generation system based on multi-agent system, *IEEE International Symposium On Industrial Electronics, (ISIE)*: 1403–1406.
- Chen, Y., Pillay, P., and Khan, A., 2014, PM Wind Generator Topologies, Commission, 2008, Wind Turbine Grid Connection and Interaction.
- Chinchilla, M., Arnaltes, S., and Burgos, J. C., 2006, Control of permanent-magnet generators applied to variable-speed wind-energy systems connected to the grid, *IEEE Transactions On Energy Conversion*, 21 (1): 130–135.
- Cho, J. R., Lee, J. H., Jeong, K. M., and Kim, K. W., 2012, Optimum design of runflat tire insert rubber by genetic algorithm, *Finite Elements In Analysis And Design*, 52: 60–70.
- Chowdhury, S., Taylor, G. A., Chowdhury, S. P., Saha, A. K., and Song, Y. H., 2007, Modelling , Simulation and Performance Analysis of a PV Array in an Embedded Environment , *Universities Power Engineering Conference*.
- Chris Naish, Ian McCubbin, Oliver Edberg and Mr Michael Harfoot, 2008, *Outlook of Energy Storage Technologies*, IP/A/ITRE/ST/2007-07.
- Copçuoğlu O., G. Ö., 2008, Yel Enerjisi Dönüşüm Sistemleri İçin Uygun Jeneratör Türlerinin Değerlendirilmesi, [http://www.emo.org.tr/etkinlikler /yeksem /etkinlik\\_metin.php?etkinlikkod=32&metin\\_kod=424](http://www.emo.org.tr/etkinlikler /yeksem /etkinlik_metin.php?etkinlikkod=32&metin_kod=424) .

- Das C.K., O. Bass, G. Kothapalli, T.S. Mahmoud, D. Habibi, 2018, Overview of energy storage systems in distribution networks—Placement, sizing, operation, and power quality, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 91, 1205–1230.
- Das, C.K. ,2019, Smart management strategies of utility-scale energy storage systems in power networks.
- DEMİRTAŞ, M., 2008, Güneş ve Rüzgar Enerjisi Kullanılarak Şebeke ile Paralel Çalışabilen Hibrit Enerji Santrali Tasarınımı ve Uygulaması, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 60.
- Denholm, Paul & Ela, Erik & Kirby, Brendan & Milligan, Michael, 2010, The Role of Energy Storage with Renewable Electricity Generation. 10.2172/972169.
- DIgSILENT GmbH, “DIgSILENT Technical Documentation”, version 14,1, June 29, 2011.
- Distributed Control Scheme for Voltage Regulation in Smart Grids ,*International Journal Of Smart Grid And Clean Energy*, 1 (1): 53–59.
- Divya, R., Anilkumar, A., & Nair, M.G. ,2022, Intelligent Load Management of a Grid Integrated Microgrid System using Icos  $\Phi$  controller. 2022 *International Virtual Conference on Power Engineering Computing and Control: Developments in Electric Vehicles and Energy Sector for Sustainable Future (PECCON)*, 1-6.
- Dönmez, M., 2014, Akıllı Şebekeler ve Üretim ile Entegre Sistem İletişimi, Smart Grids And Integrated System Operation With Production, 237–243
- Douglas A. Halamay, and Ted K.A. Brekken, 2011, Factorial Analysis for Modeling Large-Scale Grid Integration of Renewable Energy Sources", *PowerTech, IEEE Trondheim*, pp 1-6 June 19-23, 2011.
- Egido M., E. Lorenzo, 1992, The sizing of standalone PV-system—A review and proposed new method, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells* 26 (1–2) , 51–69,
- Elgammal, A., & Ramlal, T., 2021, Minimum Harmonic Distortion Losses and Power Quality Improvement of Grid Integration Photovoltaic-Wind Based Smart Grid Utilizing MOPSO, *European Journal of Energy Research*.
- Erlich, I., Winter, W., and Dittrich, A., 2006, Advanced grid requirements for the integration of wind turbines into the German transmission system, 2006 *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2 (6): 7 pp.

- Ertuğrul, E., Kaygusuz, A., Akçin, M., and İnönü, Ü., 2013, Ölçüm Sistemi ile Yüksek Gerilim İletim Sisteminin Akıllı Şebekelere Adaptasyonu Adaptation of High Power Transmission System to Smart Grid by Using Current Özet 2 . Mevcut İletim Sistemi ve Ölçüm Sistemi, *Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu*, 1–4.
- Eskander, M. N., Jbrahim, W. M., Abdel Aziz, M. M., and Ibrahim, A. M., 2005, Generation control of a wind farm with variable speed wind turbines for high power quality, INTELEC, *International Telecommunications Energy Conference (Proceedings)*, 443–448 .
- Esmail, Y.M., & Dousoky, G.M. ,2022, Power Quality Improvement in Smart Distribution Grid Using Low-Cost Two-level Inverter DVR. *Journal of Advanced Engineering Trends*.
- Ettxeberria A., .Vechiu, J. M. Vinassa, H. Camblong, 2010, Hybrid Energy Storage Systems for Renewable Energy Sources Integration in Micro-grids: A Review, *International Power Electronics Conference (IPEC)*, pp 532-537
- European Smart Grids Technology Platform, 2006, Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of the Future, *European Communities*, ISBN 92-79-01414-5.
- Farag, H. E., El-Saadany, E. F., and Seethapathy, R.,2012, A two ways communication-based distributed control for voltage regulation in smart distribution feeders, *IEEE Transactions On Smart Grid*, 3 (1): 271–281 (2012).
- Florescu, A., Stocklosa, O., Teodorescu, M., Radoi, C., Stoichescu, D. A., and Rosu, S., 2010, The advantages, limitations and disadvantages of Z-source inverter, *Proceedings Of The International Semiconductor Conference, CAS*, 2 (1): 483–486 (2010).
- Fulzele, J. B. and Dutt, S.,2012, Optimum Planning of Hybrid Renewable Energy System Using HOMER, *International Journal Of Electrical And Computer Engineering*, 2 (1): 68–74.
- Ganti V.C., Bhim Singh, S. K. Aggarwal, and T. C. Kandpal, 2012, DFIG-based wind power conversion with grid power leveling for reduced gusts, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 3, no. I, pp 12-20, January.

- Gardner, P., Garrad, A., Jamieson, P., Nicholls, G., Tindal, A., Zervos, A., Millais, C., Kjaer, C., Chandler, H., Douglas, B., Colasimone, L., and Riddell, R., 2003, *Wind Energy an Analysis of Wing Energy in the EU-25*.
- Gardner, P., Garrad, A., Jamieson, P., Nicholls, G., Tindal, A., Zervos, A., Millais, C., Kjaer, C., Chandler, H., Douglas, B., Colasimone, L., and Riddell, R., 2003, "Wind Energy an Analysis of Wing Energy in the EU-25.
- Göransson, L. et al, 2014, Linkages between demand-side management and congestion in the European electricity transmission system, *Energy*, 69:860-872.
- Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2012, Renewable energy sources and climate change mitigation, Special report of the IPCC, ISBN 978-92-9169-131-9.
- Hadj Arab A., B. Ait Driss, R. Amimeur, E. Lorenzo, 1995, Photovoltaic systems sizing for Algeria, *Sol. Energy* 54 (2) , 99–104,
- Hanl H., T.K.A. Brekkenl, A von Jouannel, ABistrika, 2010, A.Yokochi, In-Lab Research Grid for Optimization and Control of Wind and Energy Storage Systems, *49th IEEE Conference on Decision and Control Hilton Atlanta Hotel, Atlanta, GA, USA, December 15-17,*
- Hasanova, L., 2018, Compensation of Reactive Power of Squirrel-Cage Asynchronous Generators, Used in Wind Power Plants and Small Hydroelectric Power Stations", *IFAC-PapersOnLine*, 51 (30): 462–467.
- Holguin, J.P., 2020, Rodriguez, D.C.; Ramos, G. Reverse Power Flow (RPF) Detection and Impact on Protection Coordination of Distribution Systems. *IEEE Trans. Ind. Appl.* 56, 2393–2401
- Hossain, E., Tür, M. R., Padmanaban, S., Ay, S., & Khan, I. ,2018, Analysis and mitigation of power quality issues in distributed generation systems using custom power devices. *Ieee Access*, 6, 16816-16833.
- Ian A. Hiskens, 2006, Load as a Controllable Resource for Dynamic Security Enhancement, *IEEE Power Engineering Society Annual Meeting*, Montreal, Canada.
- Ibrahim, S.A., Prakash, S., & Higginbottom, S.L. ,2013, Power Quality Improvement Performance Using Hybrid (Solar Wind) Energy for Distributed Power Generation.

- IEA, 2017, Plan for Implementation of Renewable Energy 3020, South Korea Ministry of Trade, Industry and Energy
- IEEE, "IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems", (2001).
- International Energy Agency (IEA), 2011, Technology Roadmap Smart Grids", OECD/IEA.
- International Renewable Energy Agency (IRENA), 2013, Smart Grids and Renewables", A Guide for Effective Deployment, November 2013.
- İnternet:T.C. Resmi Gazete, "Elektrik Piyasası Dağıtım Yönetmeliği", <http://www.mevzuat.gov.tr/Metin.Aspx?MevzuatKod=7.5.19217&MevzuatIliski=0&sourceXmlSearch%20%20=Elektrik%20Piyasas%C4%B1>
- İpakchi, A. and Albuyeh, F., "Grid of the Future: We Are Ready to Transition to a Smart Grid?", *IEEE Power And Energy Magazine*, 7 (2): 52–62 (2009).
- Juan Manuel Carrasco, Leopoldo Garcia Franquelo, Jan T.Bialasiewicz, Eduardo Galvan, Ramón C. Portillo Guisado, Ma. Angeles Martin Prats, Jose Ignacio León, and Narciso Moreno-Alfonso, 2006, Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 4, pp 1002 -1017, August.
- Kabalıcı, E., Bayındır, R., & Tür, M. R. ,2021, Mikroşebekeler ve dağıtık üretim sistemleri. Ankara: *Nobel Akademik Yayıncılık*.
- Katiraei, F. and Agüero, J. R., 2011, Solar PV integration challenges, *Power and Energy Magazine, IEEE* , 9(3):62-71.
- Kaygusuz, A., Gül, O., and Alagöz, B. B., 2012, Yenilenebilir Dağıtık Üretim Koşullarının Güç Sistemlerinin Yük Akışına Etkilerinin Analizi-A Load Flow Analysis for Impacts of Renewable Distributed Generation Conditions on Power Systems, *EMO Bilimsel Dergi*, 2 (4): 77–85.
- Khadem S.K., M.Basu,M.F.Conlon, 2010, Power quality In grid connected Renewable energy system: Role of custom power devices, *International Conference on Renewable Energy and Power Qualities*, Granada (Spain), pp 1-6, 23-25 March 2010
- Kichou S., Skandalos N, Wolf P., 2020, Evaluation of photovoltaic and battery storage effects on the load matching indicators based on real monitored data, *Energies* 13, 2727.

- Kim, J., Lee, H., and Park, J., 2007, A Modified Particle Swarm Optimization for Optimal Power Flow, *Journal Of Electrical Engineering And Technology*, 2 (4): 413–419.
- Kolhe, P. ,2017, TeleLab for Decentralized Hybrid Power System with renewables. Janaka Ekanayake, JianzhongWu, Akihiko Yokoyama,Nick Jenkins, ''Smart Grid Technology and Applications'', This edition first published 2012,A John Wiley & Sons, Ltd., Publication, ISBN 78-0-470-97409-4 (cloth).
- Kumari, M. S. and Maheswarapu, S.,2010, Enhanced Genetic Algorithm based computation technique for multi-objective Optimal Power Flow solution, *International Journal Of Electrical Power And Energy Systems*, 32 (6): 736– 742 (2010).
- LeMay, Michael & Nelli, Rajesh & Gross, George & Gunter, Carl, 2008, An Integrated Architecture for Demand Response Communications and Control, UICSS M. 7. 174. 10.1109/HICSS.2008.60.
- Leong Hai KOH, Yen Kheng TAN, Peng Wang, K. J. T., 2009, Renewable Energy Integration Into Smart Grids: Problems and Solutions – Singapore Experience, *IEEE/ASME International Conference On Advanced Intelligent Mechatronics*, AIM, 9 (12): 1–7 (2009).
- Li Wang,and Long-Yi Chen, "Reduction of Power Fluctuations of a Large-Scale Grid-Connected Offshore Wind Farm Using a Variable Frequency Transformer, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 2, no. 3, pp 226-234, July 2011.
- M. Wolsink, 2020, Distributed energy systems as common goods–Socio-political acceptance of renewables in intelligent microgrids, *Renew. Sustain. Energy Rev.*1, 109841.
- Mehdi Dali, Jamel Belhadj, X. R., 1977, Hybrid solar-wind system with battery storage operating in grid-connected and standalone mode: Control and energy management - Experimental investigation, *Folia Haematologica*, 104 (5): 656–662.
- Mitra J, 2010, Reliability-based sizing of backup storage, in: *IEEE Transactions on Power Systems* 25, pp. 1198–1199.
- Moghaddam Z., I. Ahmad, D. Habibi, M.A.S. Masoum, 2019, A coordinated dynamic pricing model for electric vehicle charging stations, in: *IEEE Transactions on Transportation Electrification* 5, March , pp. 226–238,

- Mohammadi, M., Dini, F., and Amrollahi, R., 2012, Optimization of Damavand tokamak poloidal field coils positions and currents with PSO algorithm, *Journal Of Fusion Energy*, 31 (2): 170–174.
- More, R.D., & Bhasme, D.N. ,2021, Smart Grid Power Quality Improvement by using PV-DVR.
- Moslehi, K., Kumar, R., and Member, S., "A Reliability Perspective of the Smart Grid", *IEEE Transactions On Smart Grid*, 1 (1): 57–64 (2010).
- Mujtaba, G., Rashid, Z., Umer, F., Baloch, S.K., Hussain, G.A., & Haider, M.U. ,2020, Implementation of Distributed Generation with Solar Plants in a 132 kV Grid Station at Layyah Using ETAP, *International Journal of Photoenergy*.
- Nair, D.R., Nair, M.G., & Thakur, T., 2022, A Smart Microgrid System with Artificial Intelligence for Power-Sharing and Power Quality Improvement. *Energies*.
- Nakkela, S. ,2021, Comparison of Voltage Regulation of a Smart Load for 3 Bus System and 15 Bus System under High Penetration of Wind Energy System. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*.
- National Institute of Standards and Technology, U.S. Department of Commerce, 2012, NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, *NIST Special Publication 1108R2*.
- Omran A Walid, Kazerani M., and Salama M. M. A, 2011, Investigation of Methods for Reduction of Power Fluctuations Generated From Large Grid-Connected Photovoltaic Systems, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol. 26, no. 1, pp 318- 327.
- Oymak, A., & Tur, M. R., 2022, A Short Review on the Optimization Methods Using for Distributed Generation Planning. *International Journal of smart grid-IJSMARTGRID*, 6(3), 54-64.
- Oymak, A., Altun, M., Çakmak, F., Atiç, S., Tür, M. R., & Bayındır, R.,2022, June). Distributed generation system planning based on renewable energy source. *In 2022 10th International Conference on Smart Grid (icSmartGrid)* (pp. 368-373). IEEE.
- Özdemir, E., Özdemir, Ş., Erhan, K., and Aktaş, A., 2017, Akilli şebekelerde enerji depolama uygulamalarının önündeki fırsatlar ve karşılaşılan zorluklar, *Journal Of The Faculty Of Engineering And Architecture Of Gazi University*, 32 (2): 499–506.

- Ozturk, A., Cobanli, S., Erdosmus, P., and Tosun, S., "Reactive power optimization with artificial bee colony algorithm", *Scientific Research And Essays*, 5 (19): 2848–2857 (2010).
- Paul De Martini, 2013, A Future of Customer Response, Prepared for the Association for Demand Response and Smart Grid..
- Paul Denholm, Erik Ela, Brendan Kirby, and Michael Milliga, ‘‘The Role of Energy Storage with Renewable Electricity ‘’, Technical Report NREL/TP-6A2-47187 January 2010
- Paul W. Parfomak, 2012, Energy Storage for Power Grids and Electric Transportation: A Technology Assessment, *Congressional Research Service* 7-5700, R42455, March 27, 2012.
- Peng, F. Z., 2003, Z-source inverter, *IEEE Transactions On Industry Applications*, 39 (2): 504–510 (2003).
- Persson, M. et al. ,2013, Frequency Support by Wind Farms in Islanded Power Systems with High Wind Power Penetration, *IEEE PowerTech2013 Conference, Grenoble, France*, Jun. 16-20..
- R. A. (Reigh), Robert Saint, Roger C. Dugan, J. B. and L. A. K., 2002, Summary of Distributed Resources Impact on Power Delivery Systems, *International Journal Of Sustainable Development And World Ecology*, 9 (4): 351–368 (2002).
- Rebecca L. Grant, 2012, Smart Grid Implementation Strategies for Success, *Lexington Institute*.
- Reed, E.C. ,2017, Improvement of Reliability Indices in a Microgrid System involving Renewable Generation and Energy Storage.
- Reichenberg, L. et al (2014) Dampening variations in wind power generation - the effect of optimizing geographic location of generating sites, *Wind Energy*, submitted for publication.
- Rona, B., 2014, Rüzgar santrallerinin güç sistemine entegrasyonu ve şebeke yönetmeliğine göre analizi", *İstanbul Üniversitesi Enerji Enstitüsü*, İstanbul, 76-77.
- Saboori, H., Dehghan, S., & Jadid, S. (2016). Evaluation of Energy Storage Technologies and Applications Pinpointing Renewable Energy Resources Intermittency Removal. *Journal of Power Engineering*, 1, 47-56.
- Sajadi, A., Sebtahmadi, S. S., Koniak, M., Biczal, P., and Mekhilef, S., 2012,

- Salih, S. N. et al. ,2014, Optimizing wind power hosting capacity of a distribution system using costs benefit analysis, *IEEE Transactions on Power delivery*, submitted for publication.
- Sanjab, A., Saad, W., Guvenc, I., Sarwat, A., and Biswas, S., 2016, Smart Grid Security: Threats, Challenges, and Solutions, *International Journal Of Smart Grid And Clean Energy Smart*, 1 (971): 1–6.
- Seal, B.,2010, Standard Language Protocols for Photovoltaics and Storage Grid Integration: Developing a Common Method for Communicating with Inverter-Based Systems; Technical Update 1020906; EPRI: Palo Alto, CA, USA.
- Shah, P., 2020, Topic of PhD Thesis Adaptive Control Strategies for Resilient Operation of Grid Interfaced Solar Energy Conversion System Enabling Power Quality Improvement.
- Shobole, A., Wadi, M., Tür, M. R., & Baysal, M. ,2017, Real time active power control in smart grid, *In 2017 IEEE 6th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)* (pp. 585-590). IEEE.
- Shu-Yun Jia and Chang, J., 2009, Modeling and application of wind-solar energy hybrid power generation system based on multi-agent technology", 2009 International Conference On Machine Learning And Cybernetics, (July): 1754–1758
- Singh, A. and Sundar, S.,2011, An artificial bee colony algorithm for the minimum routing cost spanning tree problem, *Soft Computing*, 15 (12): 2489–2499.
- Singh, B. and Singh, S.N.,2009, Wind Power Interconnection into the Power System: A Review of Grid Code Requirements, *The Electricity Journal*, 22(5):24-63.
- Soares, J., Sousa, T., Vale, Z. A., Morais, H., and Faria, P., 2011, Ant colony search algorithm for the optimal power flow problem, *IEEE Power And Energy Society General Meeting*, 5 (11): 1–8.
- Steen, D., Goop, J., Göransson, L., Nursbo, S., Brolin, M., Sarasini, S., & Kåberger, T. ,2014, Challenges of integrating solar and wind into the electricity grid. *Systems Perspectives on Renewable Power*, 94-107.
- Swamy, S. Intermittency Mitigation and Power Quality Improvement of Grid Integrated with Distributed Energy Resources.
- Ta, Z. and Elektrik, L. U., 2008, Rüzgâr Türbinleri Güç Kalitesi ve Şebeke Kodları, 5. *İzmir Rüzgar Sempozyumu*, 1–13.

- Tan X., Q. Li, H. Wang, 2013, Advances and trends of energy storage technology in microgrid, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*
- Tan, Z., Liu, B., & Wu, A., 2022, Artificial Intelligence and Feature Identification Based Global Perception of Power Consumer: Definition, Structure, and Applications. *Frontiers in Energy Research.*
- Taşcıkaraoğlu A. and Uzunoğlu M., 2011, Şebekeye Bağlı Rüzgar Türbinlerinin Fliker Etkileri, *Enerji Verimliliği Ve Kalitesi Sempozyumu*, 37–42.
- Tayyan EL, A. A., 2013, A simple method to extract the parameters of the singlediode model of a PV system", *Turkish Journal Of Physics*, 37 (1): 121–131.
- The Colorado River Commission of Nevada(CRC), 2002, World Fossil Fuel Reserves and Projected Depletion.
- Tur M.R., Wadi M, A. Shobole and S. Ay, 2018, Load Frequency Control of Two Area Interconnected Power System Using Fuzzy Logic Control and PID Controller, *2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Paris, France, 2018, pp. 1253-1258,
- Tur, M. R. ,2020, Reliability assessment of distribution power system when considering energy storage configuration technique. *IEEE Access*, 8, 77962-77971.
- Tur, M. R., & Bayindir, R., 2020, Comparison of Power Quality Distortion Types and Methods Used in Classification. In *2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)* (pp. 1-7). IEEE.
- Tur, M. R., Mohammed, W., SHOBOLÉ, A. A., & Gündüz, H. ,2021, Integration problems of photovoltaic systems-wind power, solutions and effects on power quality. *European Journal of Technique (EJT)*, 10(2), 340-353.
- Tur, M. R., 2018, Solution methods and recommendations for power quality analysis in power systems. *Journal of Engineering and Technology*, 2(2), 1-9.
- Türkay B.E. & Küçüktezcan F., A. B., 2011, Elektrik Enerjisinin Bölgeler Arası Alışverişinin Optimizasyonu, *EMO Bilimsel Dergi*, 1 (1): 31–38.
- UPEC, 2007. *42nd International*, (1): 781–785.
- Verma, O. P., Kumar, P., Hanmandlu, M., and Chhabra, S., 2012, High dynamic range optimal fuzzy color image enhancement using Artificial Ant Colony System", *Applied Soft Computing Journal*, 12 (1): 394–404.
- WÄRTSILÄ, “Smart Power Generation New challenges and better Solutions”, 2011.

- Wei Zhou, Chengzhi Lou, Zhongshi Li, Lin Lu, H. Y., 2014, Current status of research on optimum sizing of stand-alone hybrid solar–wind power generation systems, *Research Journal Of Applied Sciences, Engineering And Technology*, 8 (14): 1684–1690.
- Xu, W., 2000, Comparisons and Comments on Harmonic Standards IEC 1000-3-6 and IEEE Std. 519 Wilsun, *Ninth International Conference On Harmonics And Quality Of Power*.
- Yann Riffonneau, Seddik Bacha, Franck Barruel, and Stephane Ploix, 2011, Optimal Power Flow Management for Grid Connected PV Systems with Batteries, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 2, no. 3, pp 309-320.
- Yılmaz M., 2019, Akıllı Şebekelerde Güç Kalitesinin Optimizasyonu ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları ile Entegrasyonu, Karabük Üniversitesi, *Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi*, Karabük.
- Yu X, Xue Y., 2016, Smart grids: A cyber-physical systems perspective, *Proc IEEE* 2016;104:1058–70.

## ÖZGEÇMİŞ

### KİŞİSEL BİLGİLER

**Adı Soyadı** : Mehmet Necat Tür  
**Uyruğu** : TC

### EĞİTİM

| Derece        | Adı, İlçe, İl                          | Bitirme Yılı |
|---------------|----------------------------------------|--------------|
| Lisans        | : Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul | 1992         |
| Yüksek Lisans | : Batman Üniversitesi, Batman          | 2023         |
| Doktora       | : -                                    |              |

### İŞ DENEYİMLERİ

| Yıl       | Kurum                      | Görevi      |
|-----------|----------------------------|-------------|
| 2013-2023 | Dicle Elektrik Dağıtım A.Ş | Genel Müdür |

### YABANCI DİLLER

İngilizce (İleri Seviye)

### YAYINLAR

M. N. Tur, Ö. F. Ertuğrul and M. R. Tur, "*Comparison of Energy Storage Technologies in Smart Grids, Implementation Challenges of Vanadium Technique*," 2022 Global Energy Conference (GEC), Batman, Turkey, 2022, pp. 395-401, doi: 10.1109/GEC55014.2022.9987133.