



**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AKILLI ŞEBEKELERDE MODELLEME VE DEPOLAMA
YÖNTEMİ İLE KESİNTİSİZ ENERJİNİN SAĞLANMASI**

Medine İZGİ

**Ocak-2025
BATMAN**

**T.C.
BATMAN ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
ENERJİ YÖNETİMİ ANA BİLİM DALI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**AKILLI ŞEBEKELERDE MODELLEME VE DEPOLAMA
YÖNTEMİ İLE KESİNTİSİZ ENERJİNİN SAĞLANMASI**

Medine İZGİ

**Danışman
Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR**

Diğer Jüri Yeleri

Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL

Dr. Öğr. Üyesi Davut ÖZHAN

**Ocak-2025
BATMAN**

TEZ KABUL VE ONAYI

Medine İZGİ tarafından hazırlanan “Akıllı Şebekelerde Modelleme ve Depolama Yöntemi ile Kesintisiz Enerjinin Sağlanması” adlı tez çalışması 17/01/2025 Tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Enerji Yönetimi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Prof. Dr. Ömer Faruk ERTUĞRUL

.....

Danışman

Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Davut ÖZHAN

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Dr. Öğr. Üyesi Ömer Murat ÖTER
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYANI

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 beyan eder, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sorumluluğu kabullendiğimi bildiririm.

ETHICAL DECLARATION

I declare that all the information in this thesis has been obtained within the framework of ethical behavior and academic rules, and that the source of any statements and information that do not belong to me in this study prepared in accordance with the thesis writing rules has been fully cited, and I declare that I accept all kinds of legal responsibility in case of any contrary situation.

İmza

Medine İZGİ

Tarih:17.01.2025

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

AKILLI ŞEBEKELERDE MODELLEME VE DEPOLAMA YÖNTEMİ İLE KESİNTİSİZ ENERJİNİN SAĞLANMASI

Medine İZGİ

Batman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Enerji Yönetimi Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR

2025, 100 Sayfa

Akıllı şebekelerin kullanımı, güvenilirliği artırmak için güncellenmiş bir koruma sistemi gerektirmektedir. Elektrik şebekesi, iletim veya dağıtım sistemlerinde bir arıza meydana geldiğinde, geniş bir alan elektriksiz kalmakta ve bu durum arızanın giderilmesiyle çözüme kavuşmaktadır. Arızanın kök nedenini tespit etmek ve ortadan kaldırmak zaman alıcı bir süreçtir. Enerji şirketleri için en önemli ve kritik faktörlerden biri arıza yerinin tespiti ve şebeke onarım süresidir. Hızlı arıza giderme, iş gücü ve ekonomik kayıpların etkilerini azaltmaktadır. Bu tez çalışmasında, güncellenmiş bir koruma sistemi önerilmektedir. Bu koruma sistemi, depolama desteği ile dış veya iç arızalar sırasında çok hızlı koruma tepkileri ve onarım işlemleri sağlamaktadır.

Akıllı şebeke teknolojisinin uygulanması, iki yönlü bir güç sistemi ve arıza bölgesinin hızlı iyileşmesini kolaylaştıran şebeke dönüşümünü beraberinde getirmektedir. Sürekli elektrik kesintileri, enerji şirketleri ve tüketiciler için büyük bir endişe kaynağıdır. Arızalar meydana geldiğinde, arıza bölgesinde voltaj düşüşleri yaşanmaktadır. Güç sistemlerindeki arızalar, iletim ve dağıtım hatlarındaki çeşitli kesintilerin sonucu olan geçici sinyallerdir. Sonuç olarak, akıllı şebekelerdeki arızalar, elektrikli araçların desteğiyle depolama yöntemi kullanılarak kesintisiz enerji sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Akıllı şebeke, arıza tespiti, depolama sistemleri, elektrikli araçlar, koruma sistemi, iletim sistemleri.

ABSTRACT

MASTER THESIS

PROVIDING UNINTERRUPTIBLE ENERGY IN SMART GRID WITH MODELING AND STORAGE METHOD

Medine İZGİ

Batman University Graduate Education Institute

Department of Energy Management

Advisor: Assoc. Dr. Mehmet Rida TUR

2025, 100 Pages

The use of smart grids requires an updated protection system to increase reliability. When a malfunction occurs in the electricity network, transmission or distribution systems, a large area is left without electricity and this situation is solved by eliminating the fault. Identifying and eliminating the root cause of the malfunction is a time-consuming process. One of the most important and critical factors for energy companies is fault localization and network repair time. Fast troubleshooting reduces the effects of manpower and economic losses. In this thesis study, an updated protection system is proposed. This protection system provides very fast protection responses and repair operations during external or internal faults with storage support.

The application of smart grid technology brings about a two-way power system and grid transformation that facilitates power transmission and rapid recovery of the fault area. Constant power outages are a major concern for energy companies and consumers. When faults occur, voltage drops in the fault region. Faults in power systems are temporary signals that are the result of various disturbances in transmission and distribution lines. As a result, failures in smart grids will provide uninterrupted energy with the storage method with the support of electric vehicles.

Keywords: Smart grid, fault detection, storage systems, electric vehicles, protection system, transmission systems.

ÖN SÖZ

Tez konusunun seçiminden araştırmanın yürütülmesine kadar her aşamada bilgi ve deneyimlerinden yararlandığım, desteğini her zaman hissettiğim değerli danışmanım Doç. Dr. Mehmet Rıda TÜR'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrenim hayatım boyunca beni manevi olarak destekleyen, motivasyonumu her zaman yüksek tutmama yardımcı olan sevgili aileme teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana moral kaynağı olan, ileride bir gün bu satırları okumasını beklediğim biricik kızım Mihra Naz'ı sevgiyle kucaklıyorum.

Medine İZGİ
BATMAN-2025

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
ÖN SÖZ	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	x
ŞEKİL LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı.....	2
1.2. Literatür Araştırması.....	3
2. KLASİK ŞEBEKE MODELİ VE AKILLI ŞEBEKELER.....	6
2.1. Klasik Şebeke Modelinde İletim Dağıtım	6
2.2. Akıllı Şebekeler	7
2.2.1. Akıllı şebekenin önemi	7
2.2.2. Akıllı güç şebekesinin gerekliliği	8
2.2.3. Akıllı şebeke blok diyagramı	10
2.2.4. Akıllı şebeke teknolojisi katmanları	10
2.2.5. Akıllı şebekenin avantaj ve dezavantajları	11
2.2.6. Akıllı şebeke gereksinimleri ve uygulamaları	12
2.2.7. Elektrik şebekelerinde koruma ilkelerine genel bakış	13
2.2.7.1 Akıllı şebekeler için otomatik koruma sistemi	14
2.2.7.2. Fazör ölçüm üniteleri	14
2.2.7.3. İletim sistemleri	15
2.2.7.4. Trafo merkezleri	15
2.2.7.5. Koruma sistemlerinde röleler.....	16
2.2.7.6. Röle performansı.....	16
2.2.7.7. Akıllı şebekenin koruma sistemini iyileştirme	17
2.2.7.8. Güç sistemi iletişim ağı.....	18
2.2.7.9. Algılama ve ölçümler.....	19
2.2.7.10. Sistem işletimi.....	20
2.2.7.11. Mevcut IED'ler ve FÖÜ'lar ile koruma ve hata yerelleştirme	21
2.2.7.12. Akıllı otomatik koruma için akıllı iletişim stratejileri	24
2.3. Mikroşebekeler	25
2.3.1. Tipik bir mikroşebekenin yapısı	27
2.3.2. Mikroşebekelerin enterkonnektive bağlanması.....	30
2.3.3. Mikroşebekelerin teknik ve ekonomik avantajları.....	30

3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ARIZA VE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI ..	32
3.1. Güç Sistemlerinde Arıza Tespiti.....	32
3.1.1. Arıza tespiti zorlukları	35
3.1.2. Yaygın elektrik güç sistemi arızaları	36
3.1.3. Akıllı şebeke güç arızalarının yaygın türleri.....	36
3.1.4. Bir akıllı şebekedeki güç arızası kategorileri.....	38
3.1.4.1. Başlangıç arızaları.....	38
3.1.4.2. Ani arızalar	38
3.1.4.3. Kesikli arızalar	39
3.1.5. Mikro şebekelerde güç arızaları.....	39
3.1.5.1. AC mikro şebekeler	39
3.1.5.2. DC mikro şebekeler	40
3.1.5.3. Hibrit mikro şebekeler	40
3.1.5.4. Ada modu arızaları.....	41
3.1.5.5. Siber saldırılar	42
3.2. Arıza Tespit Yöntemlerinde Yapay Zeka Uygulamaları	43
3.2.1. Akıllı şebekelerde hata konumlandırma tabanlı yöntemler	47
3.2.2. Yapay sinir ağı (YSA) temelli arıza analizi.....	50
3.2.3. Arıza azaltma için kontrol metodolojileri	51
3.2.4. Arıza yerini belirleme için veri özellik çıkarımı ve arıza tespiti ve azaltılması için akıllı yöntemler	53
3.2.5. Alçak gerilim ve DC akıllı şebekelerde hata yeri tespitine dayalı yöntemler	56
3.2.6. Dayanıklı güç üretimini iyileştirmek için hata konumlandırma yöntemleri	56
3.2.7. Meteorolojik faktörleri dikkate alan hata konumlandırma yöntemleri	57
3.2.7.1. Empedans tabanlı yaklaşımlar	58
3.2.7.2. Seyahat dalgası yöntemleri	58
3.2.7.3. Bilgi tabanlı yöntemler	58
4. DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE FREKANS DENGESİ.....	59
4.1. Güç Sistemleri Depolama Teknolojileri	59
4.1.1. Kimyasal enerji depolama sistemleri	61
4.1.2. Elektrokimyasal enerji depolama sistemleri	63
4.1.3. Elektrik enerji depolama sistemleri	65
4.1.4. Mekanik enerji depolama sistemleri	66
4.2. Elektrikli Araçlar için Depolama Teknolojileri	70
4.2.1. Elektrikli araç türleri	70
4.2.1.1. Bataryalı elektrikli araç (BEV)	70
4.2.1.2. Hibrit elektrikli araç (HEV)	71
4.2.2. Şarj şemaları	74
4.2.3. EA'ların bileşenleri	74
4.2.3.1. Motor bileşeni	74
4.2.3.2. Güç elektroniği sürücüsü	75
4.2.4. Elektrikli araçlarda arıza teşhisi.....	76
4.3. Güç Sistemlerinde Frekans Kontrolü.....	78
4.4. Yük Frekans Kontrolünde Batarya Enerji Depolama Sisteminin Kullanımı.....	80
4.4.1. Batarya enerji depolama sistemi	81
5. YÖNTEM	82

5.1. Tasarlanan Test Modelinin Uygulaması	82
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	88
6.1 Sonuçlar	88
6.2 Öneriler	89
KAYNAKLAR	91

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2. 1 Akıllı şebeke ile klasik şebeke arasındaki karşılaştırma	12
Çizelge 3. 1 Literatürde Benzer Çalışmaların Karşılaştırması	34
Çizelge 3. 2 Arıza yer tespit yöntemleri ve teknikleri	48
Çizelge 4. 1 Enerji depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları	69

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 2. 1 Klasik güç sistemi şeması (Tur, vd. 2020).....	6
Şekil 2. 2 Bir elektrik şebekesinin standart altyapısı (Tur, vd. 2020).....	8
Şekil 2. 3 Akıllı şebeke kullanıldıktan sonra (Tur, vd. 2020).....	9
Şekil 2. 4 Akıllı şebekenin blok şeması (Aljahani, vd. 2014).....	10
Şekil 2. 5 Akıllı şebekelerin dört teknoloji katmanı (Martin, vd. 2008).....	11
Şekil 2. 6 Dağıtılmış yenilenebilir enerji ve entegre koruma, izleme ve kontrol sistemi (Tur, vd. 2020).....	18
Şekil 2. 7 Akıllı şebeke teknolojisi için akıllı koruma kullanımının ilişki kavramı	19
Şekil 2. 8 Kendini iyileştiren koruma ağı blok diyagramı (Aljahani, vd. 2014).....	20
Şekil 2. 9 Havai iletim hatlarına kurulan sensörler.....	21
Şekil 2. 10 Elektrik şebekesindeki arızaların giderilmesi süreci	21
Şekil 2. 11 Tipik bir dağıtım sistemi üzerinde sensörler uygulayan güç sistemi şeması	22
Şekil 2. 12 Şebeke içinde iki optimal sensör noktası arasında meydana gelen hata.....	22
Şekil 2. 13 Arıza oluşmadan önce	23
Şekil 2. 14 Arıza oluşuktan sonra	24
Şekil 2. 15 Elektrik güç ağını izlemek için sensörler ve kontrol istasyonu arasındaki kablosuz iletişim (Aljahani, vd. 2014).....	25
Şekil 2. 16 Örnek bir mikroşebeke yapısı (Kabalcı, vd. 2021).....	28
Şekil 3. 1 AŞ'nin dağıtım alanında arıza yeri belirleme zorlukları.....	33
Şekil 3. 2 Güç arızalarının yaygın türleri (açık devre ve kısa devre arızaları)	37
Şekil 3. 3 AŞ'lerde fiziksel bileşenlerdeki güç arızalarının türleri	38
Şekil 3. 4 DC mikro şebeke arızalarının sınıflandırılması.....	40
Şekil 3. 5 Güç sistemleri için arıza yeri belirleme yöntemleri.....	44
Şekil 3. 6 Hata tespiti ve sınıflandırması için önerilen algoritma (Tirnovan, vd. 2019).....	44
Şekil 3. 7 Hata konumu, sınıflandırma ve tespit çerçevesi	46
Şekil 3. 8 AŞ'de yerleştirme teknikleri	49
Şekil 3. 9 EGS'de arıza teşhisi için makine öğrenmesi teknikleri	50
Şekil 3. 10 İleri beslemeli yapay sinir ağı.....	51
Şekil 3. 11 Veri-özellik çıkarma yöntemleri.....	54
Şekil 3. 12 MÖ arıza teşhis yöntemlerinin akış şeması	55
Şekil 4. 1 Hidrojen enerji depolama sistemi	62
Şekil 4. 2 Amonyak bazlı güneş termo kimyasal enerji depolama	63
Şekil 4. 3 Tipik yakıt hücresinin çalışma prensibi	64
Şekil 4. 4 Süperiletken manyetik enerji depolama sisteminin yapısal görünümü	66
Şekil 4. 5 Volan enerji depolama sisteminin ana görünümü	67
Şekil 4. 6 Pompaj depolama sistemlerinin şematik görünümü	68
Şekil 4. 7 Kısa ve Uzun süreli enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması	69
Şekil 4. 8 Seri hibrit elektrikli araç şeması	72
Şekil 4. 9 Paralel hibrit elektrikli araç şeması	73
Şekil 4. 10 Kombine hibrit elektrikli araç şeması.....	73
Şekil 4. 11 Elektrikli bir aracın temel bileşeni.....	74
Şekil 4. 12 Motorların sınıflandırılması.....	75
Şekil 4. 13 Araç bataryası için önerilen hata tespiti uygulaması	77
Şekil 4. 14 Elektrik iletim koordinasyon biriminin frekans kontrol sistemi	79
Şekil 5. 1 Depolama modeli olarak V2G sisteminin 24 saatlik simülasyonu.....	79
Şekil 5. 2 Kesintisiz enerji akış diyagramı.....	80

Şekil 5. 3 Güneş enerjisi santrali, rüzgar türbini, dizel jeneratör enerji üretim değişimi	81
Şekil 5. 4 Elektrikli araç olarak depolama modelinin sisteme entegrasyonu.....	81
Şekil 5. 5 0,2 s ile 0,3 s arasındaki izin verilen AŞS hata değişimi.....	82

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

X	: YSA Giriş Sinyali
W	: Sinaptik Ağırlık
R_j	: Nöron Hedef Değeri
E_j	: Nöron Hata Değeri

Kısaltmalar

AC	: Alternatif Akım
ADİK	: Arızaya Dayalı İşbirlikçi Kontrol
AG	: Alçak Gerilim
AÖM	: Aşırı Öğrenme Makinesi
AŞ	: Akıllı Şebeke
AŞS	: Akıllı Şebeke Sistemi
BEDS	: Batarya Enerji Depolama Sistemleri
BEV	: Bataryalı Elektrikli Araç
CNN	: Konvolüsyonel Sinir Ağı
ÇAS	: Çoklu Ajan Sistemleri
DC	: Doğru Akım
DEK	: Dağıtılmış Enerji Kaynakları
DK	: Devre Kesici
DNN	: Derin Sinir Ağı
DÖ	: Derin Öğrenme
DVM	: Destek Vektör Makinesi
DWT	: Ayrık Dalgacık Dönüşümü
EA	: Elektrikli Araç
EDS	: Enerji Depolama Sistemi
EGS	: Elektrik Güç Sistemleri
EMM	: Enerji Yönetim Modülü
FACTS	: Esnek AC İletim Sistemleri
FÖÜ	: Fazör Ölçüm Ünitesi
GPÜ	: Güç Prob Üniteleri
GY	: Geri Yayılım
HEV	: Hibrit Elektrikli Araç
HHD	: Hilbert-Huang dönüşümü
HVDC	: Yüksek Voltaj Doğru Akım
IED	: Akıllı Elektronik Cihaz
KIG	: Kombine Isı Güç
KKM	: Koruma Koordinasyon Modülü
KNN	: K-en Yakın Komşu
LFC	: Yük Frekans Kontrolü
LSTM	: Uzun Kısa Süreli Bellek

MD	: Merkezi Denetleyici
MK	: Mikroşebeke Kontrolcüleri
M	: Makine ğrenimi
MSE	: Ortalama Kare Hatası
MŐ	: Mikro Şebeke
OG	: Orta Gerilim
PHEV	: Plug-in Hibrit Elektrikli Araç
PnP	: Tak – Çalıştır
PV	: Fotovoltaik Sistem
RBF	: Radyal Baz Fonksiyonu
RMS	: Kök Ortalama Kare
RMSE	: Kök Ortalama Kare Hatası
RMU	: Halka Ana nitesi
RNN	: Tekrarlayan Sinir Ağı
RSCAD	: Time Simulation Software
RTDS	: Gerçek Zamanlı Dijital Simülasyon
SCADA	: Denetleyici Kontrol ve Veri Toplama Sistemi
WAMPC	: Geniş Alan İzleme, Koruma ve Kontrol
WT	: Dalgacık Dönüşümü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynağı
YG	: Yüksek Gerili

1. GİRİŞ

Elektrik güç sistemleri, enerji üretimi, iletimi ve dağıtım süreçlerini kapsayan, modern yaşamın sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahip olan entegre bir yapıya sahiptir. Bu sistemlerin güvenilir bir şekilde çalışması, enerji arzının sürekliliği ve güç kalitesinin korunması için temel bir gerekliliktir. Güç sistemlerinin en hassas ve kritik bileşenlerinden biri olan iletim hatları, enerji üretim noktalarından tüketim merkezlerine elektrik enerjisinin aktarılmasında hayati bir rol oynamaktadır. Bununla birlikte, bu hatlar; karmaşık yapıları, çevresel koşullara karşı duyarlılıkları ve sürekli olarak yüksek gerilim altında çalışmaları nedeniyle arıza riskine açık unsurlardır.

İletim hatlarında meydana gelen arızalar, yalnızca enerji akışını kesintiye uğratmakla kalmaz, aynı zamanda güç kalitesinin düşmesine, şebeke kararlılığının bozulmasına ve enerji arz güvenliğinin tehlikeye girmesine neden olmaktadır. Bu tür arızaların etkilerinin minimize edilmesi, hızlı ve doğru bir arıza tespiti ile yer belirleme süreçlerini gerektirmektedir. Arızanın doğru bir şekilde teşhis edilmesi ve konumunun kesin olarak belirlenmesi, hatanın güvenli bir şekilde izole edilmesini sağlayarak sistemin en kısa sürede normal çalışma durumuna dönmeye olanak tanır. Ayrıca bu süreç, enerji kesintilerinin sürelerini kısaltarak ekonomik kayıpları azaltma ve müşteri memnuniyetini artırma gibi avantajlar sunmaktadır.

Geleneksel arıza tespit yöntemleri, mesafe koruma röleleri, aşırı akım ve gerilim röleleri gibi cihazlara dayanmakta olup, belirli bir ölçüde etkinlik sağlamakla birlikte, günümüz güç sistemlerinin karmaşıklığı ve değişken çalışma koşulları karşısında yetersiz kalmaktadır. Özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, dağıtık enerji üretimi ve akıllı şebekelerin yaygınlaşması ile birlikte, daha hızlı, hassas ve yüksek doğruluk oranlarına sahip tespit yöntemlerine olan ihtiyaç artmaktadır.

Bu kapsamda, yapay zekâ ve makine öğrenimi tabanlı yaklaşımlar, iletim hattı arızalarının tespiti ve yer belirleme süreçlerinde yenilikçi ve etkili çözümler sunmaktadır. Yapay Sinir Ağları (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM), karar ağaçları ve derin öğrenme yöntemleri gibi modern teknikler, karmaşık veri kümelerinden anlam çıkarma ve dinamik sistemleri modelleme yetenekleriyle geleneksel yöntemlere kıyasla daha üstün performans sergilemektedir. Özellikle YSA, çok boyutlu veri setlerinden özellik çıkarma, gürültüye dayanıklılık ve yüksek doğruluk sağlayabilmesi nedeniyle arıza tespiti ve yer belirleme süreçlerinde sıkça tercih edilen bir yöntem haline gelmiştir.

Bu tez çalışmasında, iletim hatlarında meydana gelen arızaların hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi ile yer belirlenmesini sağlayan bir model geliştirilmiştir. Bu amaç doğrultusunda, farklı uzunluklarda üç fazlı bir iletim hattı modeli oluşturulmuş, arıza durumlarında akım ve gerilim verileri toplanmıştır. Toplanan bu veriler, Yapay Sinir Ağları tekniği kullanılarak işlenmiş ve yapılan analizler sonucunda, arıza tespiti için %100, arıza yer belirleme için ise %99,5 doğruluk oranına ulaşılmıştır. Ayrıca, önerilen yöntemin arıza tespit süresi 0.001 µs olarak hesaplanmış, ortalama hata oranının ise %0 ile %0,5 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Geliştirilen modelin, geleneksel yöntemlerle (örneğin, Destek Vektör Makineleri ve Temel Bileşen Analizi) kıyaslandığında daha yüksek doğruluk ve hız sağladığı gözlemlenmiştir. Bu bağlamda, önerilen model, iletim hattı koruma sistemleri ve akıllı şebeke uygulamaları için güçlü bir temel sunmaktadır. Çalışmada elde edilen bulguların, enerji sistemlerinde artan karmaşıklık ve esneklik ihtiyacına çözüm sunması beklenmektedir. İlerleyen bölümlerde, önerilen yöntemin detaylı bir analizi, literatürdeki yaklaşımlar ile kıyaslaması ve enerji sistemleri için potansiyel uygulama alanları kapsamlı bir şekilde tartışılacaktır.

1.1. Tezin Amacı

Güç sistemlerinin güvenilirliğini sağlamada en kritik sorunlardan biri, iletim hatlarında meydana gelen arızaların doğru ve hızlı bir şekilde tespit edilmesidir. Bu nedenle, sistemin çökmesini engellemek için arızaların doğru biçimde saptanması ve konumlarının belirlenmesi zorunludur.

Elektrik güç sistemi, enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı gibi birbirine bağlı süreçlerden meydana gelmektedir. İletim hatları, üretim merkezlerinden tüketicilere enerji iletimi sağladıkları için güç sisteminin temel bir parçasıdır. Bu hatlar, karmaşık yapıları nedeniyle uzaktan yönetilmekte ve çevresel veya teknik faktörlere bağlı olarak arızalara karşı oldukça hassastır. İletim hatlarında meydana gelebilecek sorunlar, ekipmanların yaşlanması, yıldırım düşmesi, insan hataları ve olumsuz hava koşulları gibi etkenlerle daha da ciddi hale gelmektedir. Elektrik şebekesinin en kritik unsuru olan güç kalitesi, iletim hatlarında bir arıza meydana geldiğinde düşmekte ve bu durum, enerji üretim sürecini doğrudan etkilemektedir.

İletim hatlarında arıza tespiti ve yer belirleme işlemleri, şebekenin güvenli ve kesintisiz çalışması için büyük öneme sahiptir. Bu kapsamda, optimum koruma

sağlanması ve arızaların sistem üzerindeki olumsuz etkilerinin önlenmesi amacıyla gerekli tedbirler alınmalıdır. İletim hattındaki arızaların doğru bir şekilde saptanması ve konumlarının hızlıca belirlenmesi, hattın güvenli bir biçimde izole edilmesi için kritik rol oynamaktadır. Arıza tespiti süreci, aynı zamanda arıza noktasının hızlıca belirlenmesine ve enerji geri kazanım sürecinin hızlanmasına önemli katkı sağlamaktadır. Güç sistemlerinde iletim hattı arızalarının yerinin belirlenmesi, hızlı müdahale ve enerji sürekliliğinin sağlanması açısından gereklidir.

İletim hatlarında arıza tespiti ve yer belirleme işlemlerinde geleneksel olarak makine öğrenimi ve derin öğrenme yaklaşımları kullanılmaktadır (Youssef, O.A.S. 2004). Klasik yöntemlerde, arıza koruması için mesafe koruma röleleri ile birlikte aşırı akım ve gerilim rölelerinden yararlanılmaktadır (Jayabharata Reddy, M. Mohanta, D.K. A. 2007). Mobil robotlar, iletim hatlarındaki sorunları tespit etmek ve gözlemlemek amacıyla kullanılmakta olup, ayrıca bulanık mantık, nöro-bulanık sistemler, dalgacık analizi ve bulanık yaklaşımlar da arıza tespiti için uygulama alanı bulmaktadır (Prasad, A. Edward, J.B..2016). Yapay Sinir Ağı (YSA), Destek Vektör Makineleri (DVM) ve karar ağaçları gibi teknikler ise makine öğrenimi yöntemlerinin önde gelen bileşenlerindedir ve arıza tespitinde sıkça tercih edilmektedir. Zaman ve frekans verilerinin analizinde dalgacık dönüşümü yaygın olarak kullanılmakla birlikte, bu yöntemin gürültü ve harmonik sinyallere karşı hassasiyeti gibi belirli sınırlamaları bulunmaktadır (Hossam-Eldin, A., vd.2016).

Performans artırımı sağlamak amacıyla pek çok hibrit yöntem geliştirilmiştir; örneğin, S-dönüşümü ve YSA kombinasyonu ile arıza tespiti gerçekleştirilmiştir. Ancak bu tür yöntemler büyük miktarda veri gerektirmekte ve sürdürülebilirlik açısından zaman alıcı olabilmektedir. Yüksek frekanslı sinyaller için uygun olmayan Hilbert-Huang Dönüşümü gibi teknikler de belirli zorluklar içermektedir. Arıza tespitinde yenilikçi bir çözüm sunan bu teknikler, çeşitli kısıtlamalar barındırmakla birlikte arıza tespit sürecinde önemli ilerlemeler sağlamaktadır.

1.2. Literatür Araştırması

Akıllı şebekeler (AŞ), bilgi alışverişi ve kontrol teknolojilerini, dağıtık hesaplama, ilgili sensörler ve aktüatörleri kullanarak müşteri odaklı güç sağlamayı ve güvenli, güvenilir enerji temin etmeyi amaçlayan elektriksel güç sistemleri olarak tanımlanmaktadır (IEC SRD 62913-1). Dağıtılmış Enerji Kaynaklarını (DEK) elektrik

şebekesine entegre ederek, gelişmiş algılama teknolojileri, kontrol yöntemleri ve iletişim teknolojileri ile güneş enerjisi sistemleri (PV'ler) çift yönlü güç akışı ve kendini iyileştirme yeteneği ile akıllıca işletme fırsatı sunmaktadır (Sarwar *vd.* 2016; Agüero *vd.* 2012). AŞ standart IEC 62913-1 ED2'ye göre farklı alanlara ayrılmaktadır. Bu alanlar, Mimari Yaklaşım kullanılarak tanımlanan Akıllı Şebeke Mimari Modeli ile açıklanmakta olup, küresel üretim, iletim, dağıtım, DEK, müşteri lokasyonları ve kesitsel alan gibi çeşitli bölümleri içermektedir (Estebansari, *vd.* 2019). Ayrıca, dağıtım alanı üç kategoriye ayrılmaktadır: dağıtım ağı yönetimi, mikro şebekeler (MŞ'ler) ve akıllı trafo merkezi otomasyonu.

Dağıtım şebekesine daha fazla yenilenebilir enerji kaynağı (YEK), depolama sistemleri ve kontrol cihazlarının entegrasyonu, sistemin güvenilirliğini garanti altına alacak, sistem direncini artıracak, akım ve gerilimi güvenli aralıklarda tutacaktır. Ancak, şebekeye daha fazla farklı teknolojinin entegrasyonu, uygun şekilde ele alınmazsa, önemli arıza noktalarının sayısını artıracak ve sonuç olarak ardışık arızalar ve elektrik kesintilerine neden olacaktır (Haes Alhelou, *vd.* 2019). Bu nedenle, sistemi normal işlevine döndürmek için arızaları tespit etmek, sınıflandırmak, yerini belirlemek, teşhis etmek, izole etmek ve onarmak amacıyla uygun bir arıza yönetim sistemi gereklidir (Stefanidou-Voziki *vd.* 2022; De La Cruz *vd.* 2023). PV'lerin temel özelliklerinden biri, kesintileri ve arızaları tespit ederek ve izole ederek, arıza sıklığını azaltarak, kritik durumları önlemek için şebeke kaynaklarını yeniden planlayarak, elektrik şebekesinin hizmet sürekliliğini tüm koşullar altında koruyarak ve kesinti onarım süresini kısaltarak kendi kendini iyileştirme yeteneğidir (Baidya *vd.* 2022; Annaswamy *vd.* 2013). Bu kendi kendini iyileştirme yeteneğini, stabilizeyi ve geliştirilmiş sistem performansını sağlamak için, arıza teşhisi ve konumlandırma önemlidir, çünkü istenmeyen etkiler, örneğin elektrik kesintileri ve bileşen arızaları azaltılabilir (Andresen, *vd.* 2018).

Anormal olayların tespiti ve izolasyonu, arıza teşhisinin odak noktasıdır (Sarathkumar, *vd.* 2021). Teşhis süreci, tespitten ardından başlar. Mevcut sorunun türü ve olası nedenleri, sorunun ciddiyeti teşhis edilerek belirlenir. Ayrıca, henüz sistemi tehdit edecek kadar büyük olmayan bir arızanın gelişip gelişmediğini değerlendirmeye yardımcı olabilir (Mousa, *vd.* 2019). Bir arıza yer belirleme stratejisi geliştirirken ana dikkate alınması gereken hususlar; sistemdeki bir elektrik kesintisinin yerini tespit etmek ve müdahale etmek, arıza tespit prosedürünü iyileştirmek ve çevrimiçi veya çevrimdışı bir yer belirleme yaklaşımının kullanılacağına karar vermektir (Mahmoud, *vd.* 2021). İnvvertörler, sensörler ve iletişim sistemlerine dayalı daha fazla üretim kaynağı PV

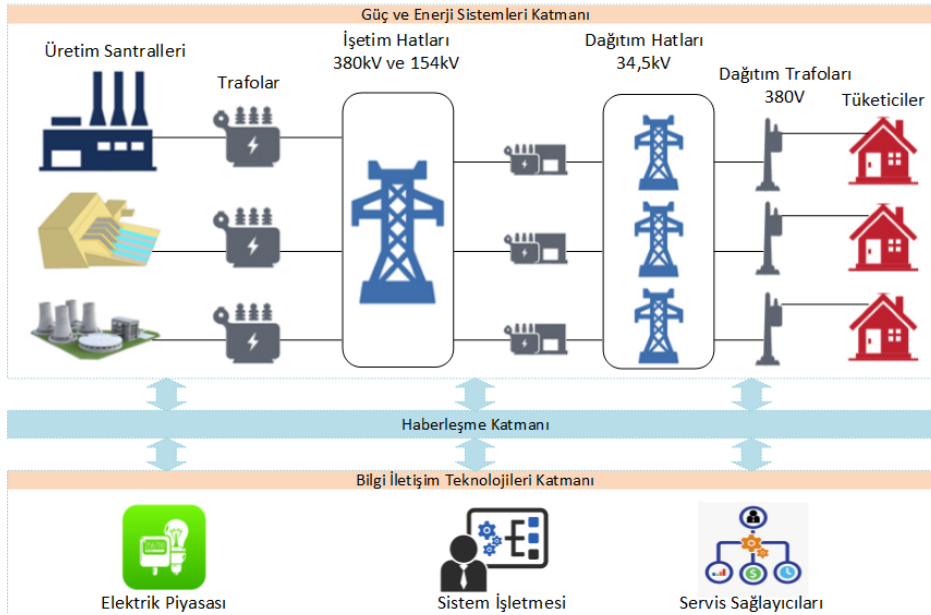
sistemlerine eklendikçe, daha doğru arıza yeri algoritmalarına, arıza tahminlerine ve gizlilik koruma yöntemlerine ihtiyaç duyulmaktadır (Chai *vd.* 2019; Furse *vd.* 2020). Daha dinamik ve dengesiz yükler, kesintili ve dengesiz üretim kaynakları, çeşitli çalışma modları (bağlantılı, izole, birbirine bağlı), farklı topolojiler (yıldız, halka, örgü veya birbirine bağlı), çeşitli arıza noktaları ve farklı iletken boyutları, arıza yerini belirlemeyi kritik bir görev haline getirecektir. Ayrıca, düşük hat empedanslı doğru akım (DC) mikro şebekelerinin entegrasyonu için hızlı iletişim, önemli arıza akımı sapmaları ve yüksek örnekleme hızları gerekmektedir (Biswal, *vd.* 2023).

2. KLASİK ŞEBEKE MODELİ VE AKILLI ŞEBEKELER

Tüketicilere elektrik sağlamak, gerçek zamanlı güç iletimini sağlamak için farklı aşamalardan ve elektrik hizmetlerinden geçen büyük bir zorluktur. Gerçek zaman ifadesi, bir müşteri güç anahtarını açtığı anda elektriğin o anda üretilip dönüştürülerek teslim edileceğini gösterir (Blume, 2016).

2.1. Klasik Şebeke Modelinde İletim Dağıtım

Klasik elektrik güç sistemi yapısı, elektrik üretim ve dağıtım aşamaları Şekil 2.1'de gösterilmektedir.



Şekil 2. 1 Klasik güç sistemi şeması (Tur, vd. 2020).

Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, elektrik enerjisi üretildikten sonra, güç santrallerinde bulunan istasyonlarda Yüksek Gerilimli (YG) güce dönüştürülür. Bu, elektrik enerjisinin tüketicilere verilirken yüksek verimliliğin sağlanmasını garanti eder. Elektrik enerjisi daha sonra, uzun mesafelerde yüksek verimli elektrik gücünün tüketicilere iletilmesini garanti etmek için güç istasyonlarında artırılan YG hatlarıyla taşınır. Sonra, iletim sistemi, YG elektriği farklı yerlere, trafo merkezleri olarak adlandırılan yerlere taşır. Trafo merkezleri, elektrik güç sisteminin iletim aşamasında kullanılan ana ekipman tipleri ile donatılmıştır. Her ekipman türünün belirgin bir fonksiyonu ve güç iletimi boyunca verimliliği sağlamak için benzersiz özellikleri vardır. Bir alt istasyona geldiğinde, YG

elektrik enerjisi Orta Gerilime (OG) ve Alçak Gerilime (AG) indirilir ve dağıtım güç hatları aracılığıyla transfer edilebilir hale gelir. Elektrik enerjisi daha sonra dağıtım ağı aracılığıyla müşterilere ulaştırılır. Uzun mesafe güç hatlarında YG kullanılmasının temel nedeni şudur: Aynı güç için akımı azaltarak gerilimi artırmak, Ohm'un Kanunu olarak bilinen bir prensiptir. Bu, taşıma kaybının iletken içinden akım geçtiği bir işlev olduğu için küçük iletkenlerin kullanımına izin verir (Blume, 2016).

Sonuç olarak, belirtildiği gibi, bir güç sistemindeki son aşama, endüstriyel, ticari ve konut tüketicileri de dahil olmak üzere sistemin nihai hedeflerine elektrik enerjisinin dağıtımıdır. Bu nihai hedefler yükler olarak adlandırılır. Endüstriyel yükler doğrudan hizmet verirken, küçük yükler birincil bir dağıtım ağından hizmet alır (Saadat, 2002). Gerçekten de, güç sistemleri, sistemleri farklı kısımlara ayırmak için kullanılan temel prensiplerle karşılaştırıldığında çok daha karmaşıktır.

2.2. Akıllı Şebekeler

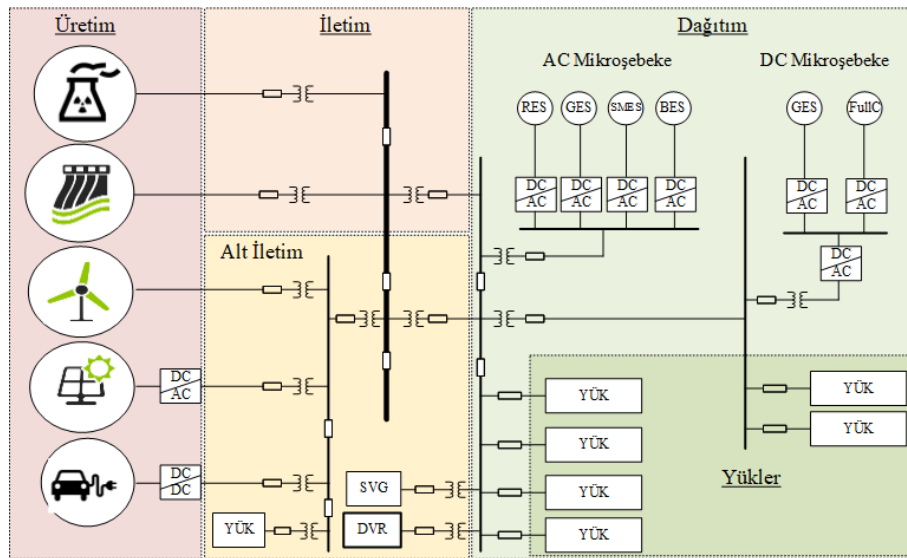
Akıllı Şebeke, dijital teknoloji uygulaması ve elektrik enerji ağıyla ilgili bir kavramdır. Yakın gelecekte kullanılabilecek veya bugün zaten kullanımda olan birçok değerli teknoloji sunar. Akıllı şebeke, akıllı sayaçlar, akıllı cihazlar, yenilenebilir enerji kaynakları gibi çeşitli işletme ve enerji önlemlerini içeren bir elektrik şebekesidir (Aljahani, *vd.* 2014).

2.2.1. Akıllı şebekenin önemi

- Karbon ayak izini azaltma
- Dağıtım yönetimini iyileştirme
- Dağıtım için otomatik kontrol
- Akıllı güç uygulaması
- Akıllı sayaç okuma
- Güvenli ev
- Kendi kendine kararlılık

2.2.2. Akıllı güç şebekesinin gerekliliği

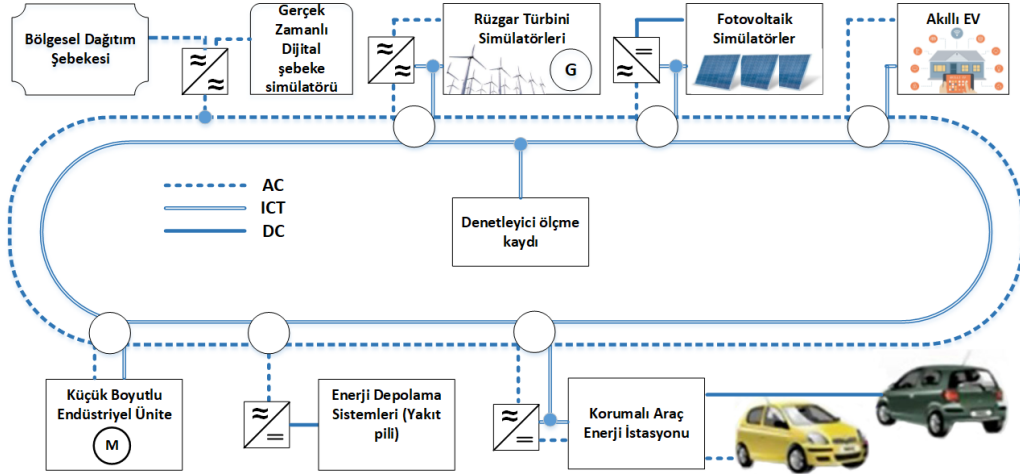
Akıllı bir şebeke, gelişmiş ekipman ve hizmetlerin yanı sıra akıllı izleme, kontrol, iletişim ve akıllı koruma gibi özelliklerin bir araya getirildiği geleceğin güç şebekesinin bir versiyonudur. Uygulanabilir teknolojiler kullanılarak, modern ve entegre bir sistem olması nedeniyle elektrik güç şebekelerinin geleceğinde bir devrim olarak adlandırılır. Artan enerji talepleri ve yenilenebilir enerji kaynaklarının genişlemesi ile güç şebekesi sistemleri düzenlenmeli ve iyileştirilmelidir. Akıllı şebeke, enerji ve teknolojilerin gelecekteki taleplerini karşılamak için tüm elektrik güç kaynaklarını entegre edecek ve enerji üretim ve dağıtımının tüm yöntemlerine uyum sağlayacak şekilde tasarlanmıştır (Saadat, 2002). Güç dağıtımının kalitesi, akıllı şebekenin ana hedeflerinden biridir ve farklı maliyetlerle çeşitli ihtiyaçlar ve seçenekler sunar. Ayrıca, akıllı şebekeler, dijital sensörler, elektronik anahtarlar, akıllı enerji ölçümü, akıllı ve gelişmiş iletişim sistemleri gibi akıllı ekipmanları kullanarak gelişmiş izleme ve kontrol sağlar. Veri toplama ve kontrol sistemleri, etkileşimli yazılım, gerçek zamanlı kontrol ve güç akışı analizi içerir. Tüm farklı türlerde yenilenebilir enerji kaynakları, akıllı ve gelişmiş cihazlar kullanılarak kalite, güvenilirlik ve kararlılığı artırmak için enerji şebekesi sistemine entegre edilir.



Şekil 2. 2 Bir elektrik şebekesinin standart altyapısı (Tur, vd. 2020).

Akıllı şebeke gibi gelişmiş teknolojinin sağlanması, güç iletim verimini artırmak ve kesintileri azaltmak için akıllı ve zeki bir koruma sistemi gerektirir. Akıllı şebekenin kullanılması, enerji tüketicilerinin elektrik talep dengesini kontrol etmek için bilgi ve

seçenekler sağlayarak aktif katılımcılar olmalarına olanak tanır. Düzenli enerji şebekesi ile gelecekteki akıllı şebeke sistemi arasındaki farklar, Şekil 2.2 ve Şekil 2.3'te gösterilmektedir (Blume, 2016).



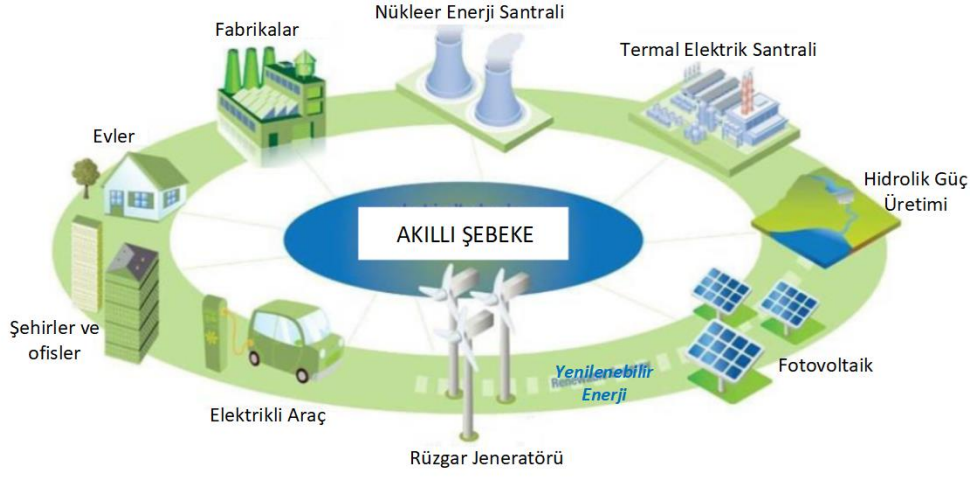
Şekil 2. 3 Akıllı şebeke kullanıldıktan sonra (Tur, vd. 2020).

Akıllı Şebeke, birçok potansiyel ekonomik ve çevresel fayda sağlayabilir. Bunlar:

- Güç kalitesi ve iletim güvenilirliğini artırma
- Güç dağıtım verimliliğini ve korunmasını artırma
- Yenilenebilir enerji, elektrikli araçlar ve dağıtılmış elektrik üretimi ve depolama
- Elektrik hizmetlerine yönelik maliyetleri azaltma
- Haneler ve işletmelerin elektrik üzerindeki harcamalarını azaltma
- Seragazı ve diğer gaz emisyonlarını azaltma

Tümü akıllı şebeke tarafından geliştirilebilir.

2.2.3. Akıllı şebeke blok diyagramı



Şekil 2. 4 Akıllı şebekenin blok şeması (Aljahani, vd. 2014).

2.2.4. Akıllı şebeke teknolojisi katmanları

Akıllı bir şebeke, fiziksel katman olarak adlandırılan uzun mesafeli iletim, yenilenebilir enerji kaynaklarından depolama ve yüklerde tüketme sürecini içeren dört temel yapı taşı içerir. Ardından gelen katman sensör sistemi katmanıdır; bu katman, güvenilir, güvenli ve iyi geliştirilmiş bir sistem sağlamak için kullanılan akıllı sayaçlar, sıcaklık ve tüm IED'leri (Intelligent Electronic Device- Akıllı Elektronik Cihaz) içeren akıllı transformatörler, gerilim transformatörleri, dijital röleler, faz ölçüm üniteleri (FÖÜ) gibi cihazları içerir. ile güvenilir ve güvenli bir sistem sağlamak için kullanılan sensörler. Bilgi toplama, tüm alınan veri ve bilgileri optimal sensörlerden ve akıllı elektronik cihazlardan ileten iletişim katmanı ise önemli bir rol oynar. Son katman ise karar verme zekası katmanıdır. Bu katman, şebeke veya iletişim sistemlerinin durumunda değişiklik gerektiren sensörlerden gelen bilgileri işler ve kontrol sinyalleri üretir (Martin vd. 2008; Santacana vd. 2010).



Şekil 2. 5 Akıllı şebekelerin dört teknoloji katmanı (Martin, *vd.* 2008).

2.2.5. Akıllı şebekenin avantaj ve dezavantajları

Avantajları:

1. Ekonomik Gelişme
2. Yeni İşler: Akıllı şebekenin imalatı, kurulumu, işletilmesi ve bakımı, eyalette yeni işler yaratacaktır.
3. İnovasyon: Akıllı şebekenin inovasyonu, işletmelerin büyümesini sağlayacak ve müşterilere değerli yeni ürünler sunacaktır.
4. Daha Düşük Maliyetler: Maliyetler zamanla artar ve enerji istisna değildir, ancak akıllı şebeke, aksi takdirde mümkün olmayan daha az maliyetli enerji sağlamalıdır. Bu nedenle, müşterilere para tasarrufu sağlayacak ve istedikleri gibi yatırım yapmalarına veya tüketmelerine olanak tanıyacaktır.
5. Daha Yüksek Müşteri Memnuniyeti: Daha düşük maliyetlerin, artan güvenilirliğin ve daha iyi müşteri kontrolünün birleşimi, tüm müşteri türleri arasındaki memnuniyeti artıracaktır.
6. Geliştirilmiş Güvenilirlik: Akıllı şebeke, kesintileri azaltacak ve kısaltacak ve enerji kalitesini artıracaktır.
7. Müşteri Enerji/Maliyet Tasarrufu: Fiyatlandırma daha şeffaf hale geldikçe ve temel ekonomik nesilden ve dağıtımından kaynaklanan ekonomiklerle uyumlu hale geldikçe, müşterilerin para tasarrufu yapma kararları topluma da fayda sağlayacaktır (Aljahani, *vd.* 2014).

Dezavantajları:

Akıllı şebeke bir güç tüketicisi ve sağlayıcısı ile gelişmiş sensörler arasında iki yönlü iletişim sağlar. En büyük endişe, güvenlik ve gizlilik. Otomatik sayaçları

kullanarak binlerce hatta milyonlarca sayaç üzerinde kontrol sağlanarak, güç talebini artırır veya azaltır. Bu duruma bağlı olarak bazı türdeki sayaçlar hacklenebilir (Aljahani, vd. 2014).

Çizelge 2. 1 Akıllı şebeke ile klasik şebeke arasındaki karşılaştırma

Klasik Şebeke	Akıllı Şebeke
Tek yönlü iletişim	İki yönlü iletişim
Merkezi enerji üretimi	Dağıtılmış enerji üretimi
Az sayıda sensör	Tam şebeke sensör düzeni
Manuel izleme	Otomatik izleme
Manuel kurtarma	Otomatik kurtarma
Elektrikli makineler	Dijital
Birkaç kullanıcı seçeneği	Daha fazla kullanıcı seçeneği

2.2.6. Akıllı şebeke gereksinimleri ve uygulamaları

Gerçek dünyada akıllı şebekeleri kullanabilmek için çeşitli gereksinimler karşılanmalıdır. Yeni akıllı şebeke teknolojisi için bağlantılı bilgi ve iletişim hayati önem taşır. Bu, çok yönlü iletişim teknolojilerini içerir. İki yönlü iletişim sistemleri, güç şebekesi içindeki farklı akıllı cihazlar ve bileşenler arasındaki bağlantıyı artırır. Bu cihazlar, yüksek verimli sensörler, gelişmiş ölçüm bileşenleri ve kontrol teknolojilerini içerir. Tüketicilere güç talebini kontrol etmek ve dengelemek için gerekli olan bilgileri sağlamak için gelişmiş yazılım ve donanım sistemleri de gereklidir. Özellikle, akıllı teknoloji uygulandığında, enerji akışı ve iletişim operasyonlarının akıllı şebeke sistemi içinde verimli ve güvenli olduğunu sağlamak için gelişmiş güvenlik yazılımı gereklidir. Akıllı şebeke sistemlerinde, koruma, arıza kayıtları ve güç şebekesinde meydana gelen diğer olayların ölçümleri için gelişmiş dijital röleleme sağlamak için IED'ler gereklidir (Xue-Song, vd. 2010). Ayrıca, geniş alan izleme, koruma ve kontrol (WAMPC) ile birlikte, akıllı şebeke sisteminin güvenliğini ve koruma seviyelerinin verimliliğini artırmak için FÖÜ'ler gereklidir. Bu gerekli gelişmiş cihazların ana hedefi, güç iletim verimini artırmak ve yeni teknoloji akıllı şebekenin yeteneklerini geliştirmektir (Xue-Song, vd. 2010). Önceki olarak bahsedilenlere ek olarak, geliştirilmesi ve uygulanması gereken birkaç teknoloji aşağıda belirtilmiştir:

- Güvenliği artırmak ve güç tüketimini azaltmak için akıllı iletişim ve akıllı cihazlar kullanmak, aynı zamanda güç sisteminin izlenmesini ve kontrol edilmesini kolaylaştırmaktadır.
- Akıllı sayaçlar, tüketicilerin güç talebine hemen yanıt verebilmeleri için doğru ve gerçek zamanlı bilgi sunan bir ekran sağlar.
- Entegre sensörler ve kontrol yazılımı.
- Yüksek gerilimli doğru akım iletimi.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmek ve elektriğin uzun mesafeli taşınmasını kolaylaştırmak için kullanılan Esnek AC İletim Sistemleri (FACTS).
- Yenilenebilir enerji kaynaklarını güç şebekesi sistemine entegre etmek için enerji depolama.

Mevcut güç şebekesi sistemini akıllı bir şebekeye dönüştürmek, temiz bir ortamda güvenilir elektrik enerjisi sağlayarak yüksek kalite ve verimlilik sunacaktır. Bu, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji entegrasyonu, talep yanıtı, FACTS, WAMPC, Yüksek Voltaj Doğru Akım (HVDC) ve geleceğin şebekesi için geliştirilmiş diğer teknolojiler de dahil olmak üzere entegre ve ortaya çıkan teknolojilerin uygulanmasıyla gerçekleştirilecektir (Xue-Song, *vd.* 2010).

Bahsedildiği gibi, akıllı şebeke teknolojisi bilgi ve iletişimi zeki bir şekilde entegre eder. Akıllı şebekelerin dağıtılması, elektrik şebekelerini iyileştirecek ve bilgi yayılmasını ve kontrol araçlarının kullanımını kolaylaştıracaktır. Bu, korumayı ve güvenilirliği artırırken, kesinti maliyetlerini ve bakım maliyetlerini azaltacaktır (Santacana, *vd.* 2010). İyileştirilmiş koruma, doğru ve son derece verimli elektrik enerjisi üretimi ve taşımacılığı sağlamak için güç hizmetlerini geliştirecektir. Akıllı şebeke teknolojileri ve IED'ler gibi zeki veri ve bilgi kaynakları, hata tespit ve lokalizasyon yöntemlerini geliştirmek ve iyileştirmek için kullanılabilir. Hata lokalizasyonu ve hızlı kendi kendini iyileştirme katmanları, sistemleri izlemeye yardımcı olacak ve hızla hataları onararak yüksek güç kalitesi sağlayacaktır.

2.2.7. Elektrik şebekelerinde koruma ilkelerine genel bakış

Akıllı şebekelerin kullanımı, güvenilirliği artıran güncellenmiş bir koruma sistemini gerektirir. Elektrik şebekesinde, iletim veya dağıtım sistemlerinde bir arıza meydana geldiğinde, geniş bir ağ bölgesi elektriksiz kalır ve bu, arızanın giderilmesiyle ancak geri kazanılır. Arızanın ana nedenini bulmak ve gidermek zaman alır. Aslında,

enerji şirketleri için en önemli ve kritik faktörlerden biri, arıza lokalizasyonu ve şebekenin temizlenme süresidir (Argual, *vd.* 2003). Hızlı arıza giderme, insan gücü ve ekonomik kayıpların sonuçlarını azaltır. Bu bölümde, güncellenmiş bir koruma sistemi önerilmektedir. Bu koruma sistemi, dış veya iç arızalar sırasında çok hızlı koruma yanıtları ve onarım işlemleri kullanır.

2.2.7.1 Akıllı şebekeler için otomatik koruma sistemi

Akıllı şebeke teknolojisinin uygulanması, güç iletimini kolaylaştıran ve arıza alanının hızla iyileştirilmesini sağlayan iki yönlü bir güç sistemi ve şebekeye yol açar. Sürekli güç kesintileri, enerji şirketleri ve tüketiciler için büyük endişe kaynağıdır. Arızalar meydana geldiğinde, arızanın olduğu yerde gerilim düşer. Enerji şirketleri, arızalı alanı izole ederek aşırı akımı temizler. Bu, uzun süreli bir elektrik kesintisine neden olur ve kaldırılması zaman alır. Güç sistemlerindeki arızalar, iletim ve dağıtım hatlarında çeşitli bozulmaların sonucu olan geçici sinyallerdir. Bu sinyaller hızla dalgalanır ve beklenmedik değişikliklere uğrayabilir. Ayrıca, geçici sinyaller genellikle sinüs ve kosinüs sinyallerini dönüştürmek için kullanılan Fourier analizi kullanılarak analiz edilemez (Singh, *vd.* 2011). Bununla birlikte, geçici sinyaller, istasyonier olmayan sinyaller için kullanılan dalgalet teorisi kullanılarak modellenabilir ve analiz edilebilir.

2.2.7.2. Fazör ölçüm üniteleri

Fazör ölçüm üniteleri, bir şebekede birden fazla uzak noktadaki gerçek zamanlı ölçümleri almak için zaman senkronizasyonunu kullanır. Bu cihazlar, akıllı bir şebekedeki en önemli ölçüm cihazlarından biri olarak kabul edilir. Bunlar, özel cihazlar olarak kullanılabilirler gibi, koruyucu bir röle veya diğer cihazlara da entegre edilebilirler. FÖÜ'lar, arızalar tarafından oluşturulan istasyonier olmayan dalga şekillerini algılamak için kullanılır ve matematiksel olarak tanımlanan bir fazör olarak adlandırılır. Bir FÖÜ, genellikle saniyede 6-60 örnekleme hızında voltaj, akım ve fazın 50/60 Hz AC dalga şekillerini ölçebilir. Gerilim veya akım sinyallerinden alınan analog AC dalga şekilleri, her faz için bir analog-dijital sinyale (A/D) dönüştürülür. Küresel konumlandırma sistemi ile birlikte çalışan bir faz kilit osilatörü, yüksek hızda senkronize örnekleme sağlamak için referans kaynağı olarak kullanılır ve 1 mikrosaniye doğrulukla

çalışır. Fazörlerin sonuç zamanı, saniyede 6 ila 60 örnekleme hızlarıyla yerel bir denetleyiciye veya uzak bir alıcıya iletilir (Martin, *vd.* 2008; Xu, *vd.* 2009).

2.2.7.3. İletim sistemleri

Üretim istasyonlarından ve birimlerinden elektrik enerjisinin sistem uç terminallerine aktarılması, farklı aşamalarda yer alan havai hatlar ve ekipmanlar gerektirir. Bu işlem, iletim sistemi içinde alt iletim ve trafo merkezleride gerilimi artırıp azaltmayı içerir (Saadat, 2002). Elektrik güç şebekesi sistemleri, 50 yılı aşkın bir süredir var olup, bu geleneksel iletim sistemi zamanın geçişi boyunca varlığını sürdürmüştür. Ancak, artan güç talebiyle birlikte, güç sistem şebekesi son yıllarda daha güvenilir hale getirilmiş ve avantajları daha iyi kullanılmıştır. Güç talebinin artmasının ötesinde, birkaç faktör güç şebekesi sistemlerinde değişikliklere etki etmiştir. İlk olarak, son birkaç yılda yapılan çalışmalar, dağıtık nesil düzenlemelerine artan dikkat çekmiştir (Singh, *vd.* 2011). İkinci olarak, Avrupa Birliği, iklim değişikliğini önleme çabalarının bir parçası olarak sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltmak için alternatif enerji kullanmaya başlamıştır. Kyoto Protokolü'ne göre, Avrupa, dünya çapında diğer yerlere kıyasla yenilenebilir enerjiyi daha fazla kullanmaktadır. Son olarak, gaz salınımlarının (CO₂) azaltılması, enerjinin daha verimli kullanılmasına yönelik çabalar, deregülasyon veya rekabet ve enerji kaynaklarının çeşitlendirilmesi, geleceğin elektrik güç şebekesinde iyileştirmeleri teşvik etmektedir (Gungor, 2011).

2.2.7.4. Trafo merkezleri

Trafo merkezleri, iletim ve dağıtım sistemlerinde kullanılan ana elektrik ekipmanlarını içerir ve güç dalgalanmalarını izlemek ve kontrol etmek için kullanılır. Trafo merkezlerindae, taşınan YG, aynı gücü korurken akımı artırmak için adım adım düşürülür. Ana ekipman trafo merkezleri aşağıdakileri içerir (Aljahani, *vd.* 2014).

- Transformatörler
- Düzenleyiciler
- Aydınlatma bağlantı kesme anahtarları
- Elektrik şebekeleri ve besleyiciler
- Reaktörler

- Koruma sistemleri için devre kesiciler ve tekrar açıcılar
- Ağ korumasını izleme ve kontrol etmek için dijital ve elektromekanik röleler
- Sensörler
- Sabit VAR kompanzatorleri
- Kontrol binası
- Önleyici bakım

2.2.7.5. Koruma sistemlerinde röleler

Güç sistemlerinin korunması için röle uygulamaları 100 yıldır kullanılmaktadır. Rölelerin yapımında kullanılan teknoloji, röle boyutu, ağırlığı, maliyeti ve işlevselliği açısından önemli ölçüde gelişmiştir. Röleler, yapılarına uygulanan teknolojiye göre ve aşağıdaki gibi kullanımlara göre sınıflandırılabilir (Aljahani, *vd.* 2014).

1. **Elektromekanik röleler:** Elektrik sistemlerinde yaygın olarak kullanılan ilk röle türüdür. Rölenin kontaklarını çalıştırmak için mekanik bir kuvvet prensibine dayandığı için, diğer teknolojilerle yapılan rölelerle karşılaştırıldığında, görece ağırlar ve tepki verme hızları daha düşüktür.
2. **Katı hal veya statik röleler:** Bu röleler, 1960'ların başlarında ortaya çıkan analog elektronik devrelerine dayanmaktadır. Statik röleler, elektromekanik rölelere önemli avantajlar sağlamış olsa da, ciddi dezavantajlar da sunmuşlardır.
3. **Dijital röleler:** Gelişmiş dijital röleler, gelen analog sinyalleri örnekleme işlemi için analog-dijital dönüştürücüler kullanır ve rölelerin mantığını tanımlamak için mikroişlemciler kullanır. Yüksek doğruluk ve çok fonksiyonlu algoritmaların entegrasyonu, bu teknolojinin temel faydalarını oluşturur.
4. **Sayısal röleler:** Sayısal röleler genellikle belirli bir dijital sinyal işlemcisi ile kullanılır ve belirli dijital sinyal işleme uygulamalarını gerçekleştirmek ve kullanmak için kullanılır.

2.2.7.6. Röle performansı

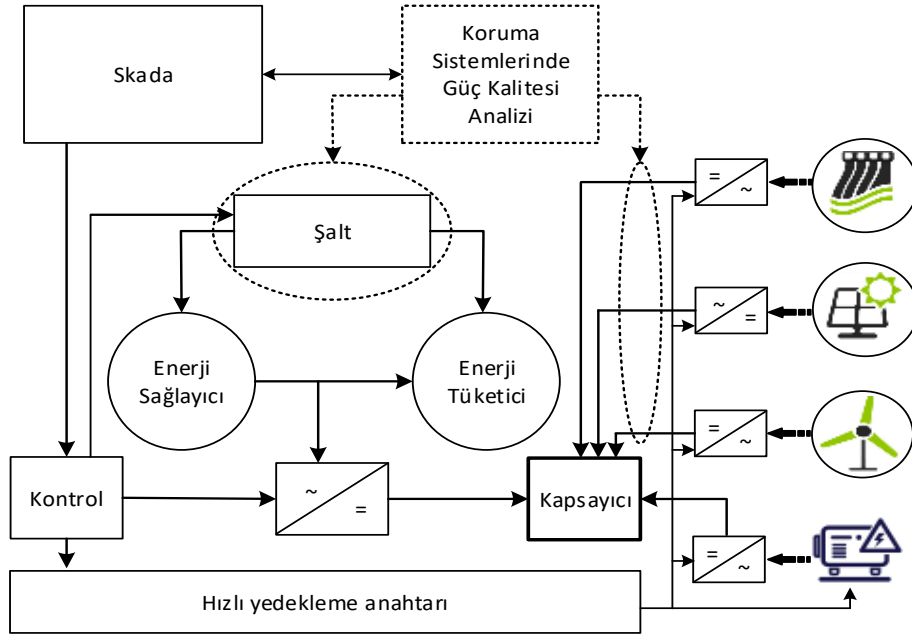
Bir güç sisteminde bir rölenin iyi performansı aşağıdaki karakteristiklerle ilişkilidir:

- **Güvenilirlik:** Bir rölenin doğru şekilde çalışma yeteneğidir. Güvenilirliğin iki unsuru şunlardır.
 1. Hata meydana geldiğinde doğru bir şekilde işlem yapma kesinliğidir.
 2. Gereksiz işlemlerden kaçınma yeteneğidir.
- **Seçicilik:** Rölenin hatayı izole etmek için gereken minimum bölümü devre dışı bırakarak tedarik sürekliliğini sağlama yeteneğidir.
- **Hız:** Bir rölenin bir hatayı temizlemek için minimum işletme süresine ulaşma yeteneğidir ve bu sayede ekipmana zarar verilmesi önlenir.
- **Duyarlılık:** Rölenin belirli bir eşik değerini aşan herhangi bir değişikliği veya anormal işletme durumunu tanıma yeteneğidir (Aljahani, vd. 2014).

2.2.7.7. Akıllı şebekenin koruma sistemini iyileştirme

Elektrik güç şebekesinin geleceğinin, şebekeye yeni teknolojilerin entegre edilmesiyle gelişmesi beklenmektedir. Gelecekteki akıllı şebekenin hedeflerinden biri, verimliliği ve güvenilirliği artırmak için koruma sistemini geliştirmektir. Bu bölümde, OG ve AG şebekesinde kendi kendini iyileştiren otomasyonun sıraları, akıllı şebekenin koruma sistemini iyileştirmek için çeşitli adımlar uygulanarak tartışılmaktadır. Ayrıca, akıllı şebekelerin dağıtım sistemlerinde kendini iyileştiren bir yöntem kullanan gelişmiş bir koruma sistemi, ileri sensörlerin ve IED'lerin uygulanmasıyla tanıtılmaktadır. Elektrik şebekesi işletiminin optimizasyonu, koruma otomasyonunu içeren bir başka hedefdir. Kayıp ve kesinti süresinin azaltılması, yüksek verimlilik ve kaliteyle tüketicilere güç sağlamanın güvenilirliğini artırır. Akıllı şebekelerde kendini iyileştiren sistemlerin uygulanmasındaki amaçlardan biri, kesintisiz güç sağlamanın sürekliliğini artırmaktır. Dağıtım, elektrik güç şebekesinin son aşaması olup, elektrik gücünün tüketicilere iletilmesini içerir. Güç sistemi otomasyonu koruması, hata lokalizasyonunu, hatanın etkilediği alanın izolasyonunu ve etkilenmeyen alanlara güç yeniden sağlanmasını içerir. Bu, güç ağlarını iyileştirmek için en önemli tekniktir. Güç şebekelerinin dağıtım sistemlerinde hatalar meydana geldiğinde, akıllı cihazlar ve FÖÜ kullanılarak gerilim, akım ve faz sinyallerinin değişimi algılanabilir ve kaydedilebilir. Bu akıllı cihazlar, şebeke durumuyla ilgili verilerin konumunu belirlemek, gerçek zamanlı olarak güncellemek ve geri almak için kullanılabilir. Günümüzde, bu, hata algılamayı ve etkilenen alanı ana şebeke kaynağından hızlı bir şekilde izole etmeyi içeren koruma sistemleri kullanarak gelişmiş senaryoları içerir. Devre kesiciler, kesinti ve güç kaybının

ana nedenidir ve ana kaynağı ve dağıtım ağına besleyiciyi izole eder. Bu, adalı koruma sistemlerini daha karmaşık hale getirir ve uygun koruma algoritmalarını, adalı çalışmayı ve güvenilirliği entegre etmek için düşük maliyetli gelişmiş elektrik cihazlarının kullanılmasını gerektirir (Aljahani, vd. 2014).

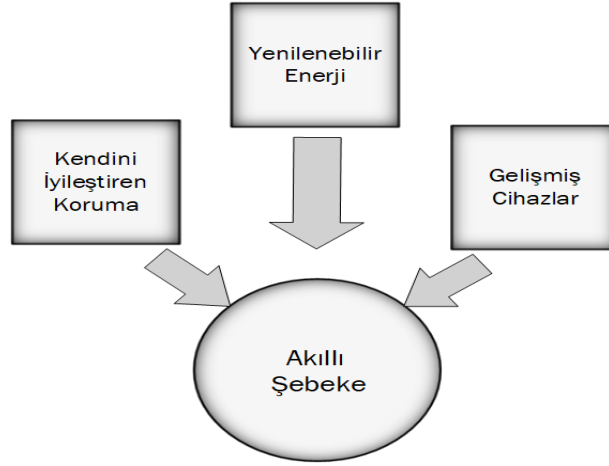


Şekil 2. 6 Dağıtılmış yenilenebilir enerji ve entegre koruma, izleme ve kontrol sistemi (Tur, vd. 2020).

2.2.7.8. Güç sistemi iletişim ağı

Elektrik şebekelerinin işletimi şu anda denetleyici kontrol ve veri toplama (SCADA) sistemleri tarafından izlenir ve kontrol edilir. SCADA, sistem operasyonunu sağlamak için mikrodalga ve optik fiber gibi farklı iletişim ağları aracılığıyla bağlanır. Bunlar, ana jeneratörlerle iletim alt istasyonlarını birleştirerek entegre bir sistem oluşturur. Güç şebekelerinde iletişim sistemlerinin gerçek operasyonu, gelişmiş optik ağlarla birlikte sistem boyunca hatlar kullanılarak gerçekleşir. Bu iletişim hatlarının kaybolması mümkündür ve koruma ve ağı izlenmesini daha karmaşık hale getirebilir. Gelişmiş kablosuz iletişim ve algılama cihazlarının kullanılması, tüm sistemin kontrol ve izlenmesini iyileştirebilir. Akıllı şebeke teknolojisi ve akıllı elektronik cihazlar ile elektrik güç şebekesinin izlenmesi ve kontrolü yüksek volt ve düşük volt seviyede akıllı şebekeleri içerir. IED'ler, ileri elektrik akışı izleme ve koruma için şebeke içerisine kurulabilir ve dağıtılabılır. Bu cihazlar birbirine bağlanabilir ve ana IED'ye iletişim

kurabilir ve bu IED, alt istasyonda uygulanır. Dahası, IED'ler elektrik akış durumunu gerçek zamanlı olarak izleyebilir ve güç şebekesini yönetmek ve kontrol etmek için yüksek volt ve düşük volt seviyede değişim noktalarını içeren kullanılabilir. Şimdiye kadar tartışılan kavramların (örneğin, kendini iyileştirme koruması, yenilenebilir enerji ve gelişmiş cihazlar) akıllı şebeke teknolojisine olan ilişkilerini gösteren Şekil 2.7'de bulunmaktadır.



Şekil 2. 7 Akıllı şebeke teknolojisi için akıllı koruma kullanımının ilişki kavramı

Akıllı ölçüm altyapısı işlevleri, IED'ler tarafından dağıtılan ve şebekeden veri ve bilgi almak için kullanılır. Bu verinin durumu daha sonra bir alıcıya iletilir ve bu alıcı, IED'lerle birlikte çalışacak şekilde entegre edilir. Sensörler, elektrik güç akışı durumunu gerçek zamanlı olarak güncellemek için ağına her düğüm ve dalına kurulur. Bir hata meydana geldiğinde, etkilenen herhangi bir bölgeyi izole etmek için dal ve düğümlerde izolasyon anahtarları veya kesiciler entegre edilir ve kurulur (Khodr, 2013). Ayrıca bunlar gelecekte akıllı şebekelerle kullanılmak üzere elektrik güç sistemlerinin otomasyonunu ve işletimini kolaylaştırmak için kullanılır.

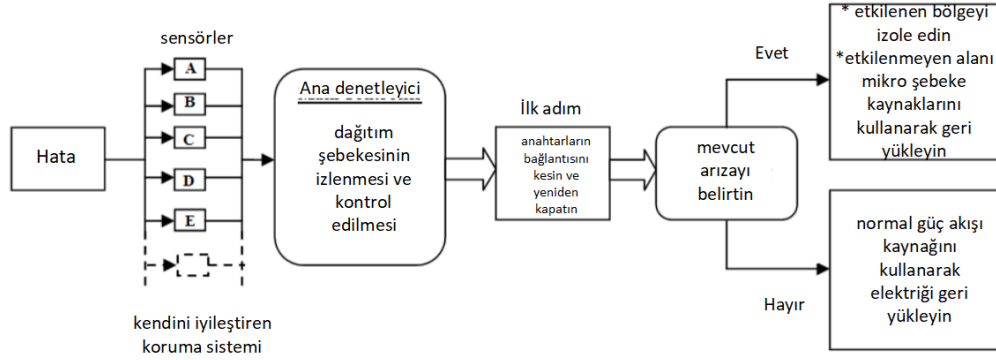
2.2.7.9. Algılama ve ölçümler

İletim ve dağıtım ağlarında meydana gelen hatalar, IED'lerin şebeke içine yerleştirilmesiyle tespit edilip yerleştirilebilir (Ekanayake, vd. 2012). Şebekeye kurulmuş IED'lerde bağlı olan aşırı akım ögesi, hatayı algılayabilir ve daha ileri işlemleri gerçekleştirebilir. Akıllı şebekelerin uygulanmasının temel işlevi, gelişmiş teknoloji ve cihazların kullanılmasıyla elektrik güç ağını izlemek ve kontrol etmektir. Ancak, akıllı şebeke teknolojilerinin gerçek sistemlere uygulanması, elektrik güç şebekesi sisteminin

entegrasyonunu gerektiren synchrophasor cihazları ve FÖÜ'lar ile IED'ler gibi ölçüm cihazlarını gerektirir. Gelişmiş sensörler ve gerçek zamanlı izleme, kontrol ve ölçüm cihazları, sistemi geliştirir ve akıllı şebekelerle güç teslimatının verimliliğini artırır. Ayrıca, elektrik güç şebekesi için koruma ve kontrol amaçları için de kullanılabilirler.

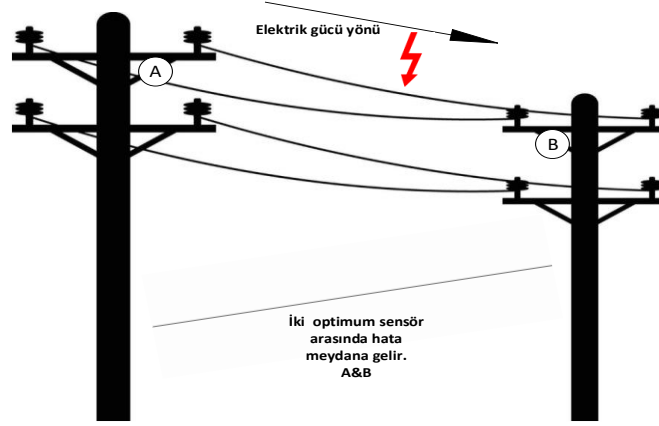
2.2.7.10. Sistem işletimi

Şekil 2.8, yüksek kaliteli ve verimli bir şekilde elektrik gücü iletmek için gelişmiş cihazlar ve sensörler kullanarak kendini iyileştiren koruma sistem yöntemini göstermektedir. Şebeke üzerinde bir hata tarafından oluşturulan bir seyahat dalgasını hayal edin. Sensörler, bu seyahat dalgalarını normal sistem dalgalarından farklı geçici sinyaller olarak kaydeder.



Şekil 2. 8 Kendini iyileştiren koruma ağı blok diyagramı (Aljahani, vd. 2014).

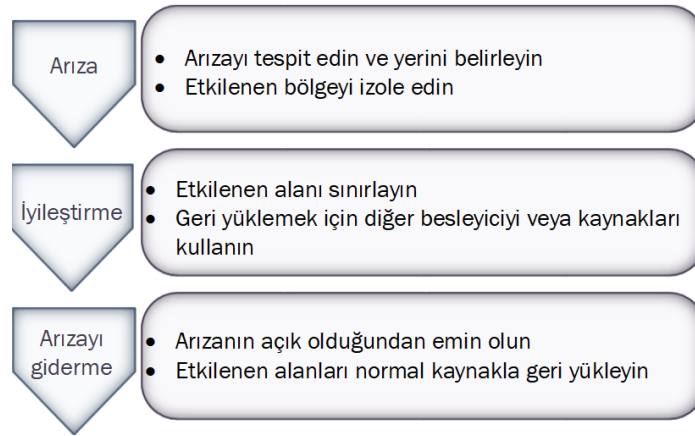
Dalgalara gözetim yapacak sensörler, Şekil 2.9'da gösterildiği gibi, sabit mesafelerde dağıtım güç hatları boyunca kurulabilir. Kurulduktan sonra, sensörler bir kümede doğrudan baş kontrolcüyü kablosuz olarak etkinleştirmek için kablosuz olarak bağlanabilir. Her bir küme, ağı işletmeyi kolaylaştırmak için ana denetleyiciye kablosuz olarak bağlanır ve hızlı bir şekilde bir hataya yanıt vererek hatadaki dalları kurtarır.



Şekil 2. 9 Havai iletim hatlarına kurulan sensörler

2.2.7.11. Mevcut IED'ler ve FÖÜ'lar ile koruma ve hata yerelleştirme

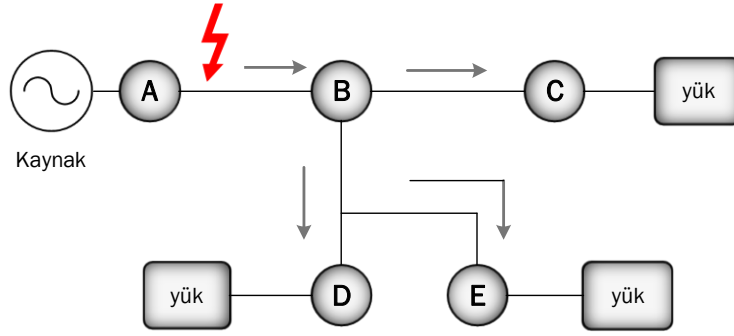
Bu tezde önerilen yöntem, güç sistemini sorunsuz bir şekilde kontrol etmek ve yönetmek için şebeke içine kurulabilecek ve dağıtılabilen IED'lerin tüm özelliklerini kullanır. İlk olarak, bu yöntem, bu akıllı cihazlardan toplanan bilgilerin zenginliğini artıracak daha fazla teknoloji kullanabilir. Ancak, çoğu gelişmiş teknolojiye olduğu gibi, bu cihazların maliyeti, kesinti ve müşteri kayıpları ile karşılaştırıldığında ucuz olabilir. İkinci olarak, FÖÜ'lar özellikle akıllı şebekelerde kullanılabilir ve gerilim veya akım sinyallerindeki herhangi bir değişikliği veya değişikliği göstermek için işlev görebilir. Üçüncü olarak, otomatik koruma süreci, zamanı sistemdeki önemli bir faktör olarak düşünerek gelecekteki şebekelerde koruma sistemini iyileştirebilir. Şekil 2.10, bir hata meydana geldiğinde elektrik gücünün kesintiler sırasında kurtarılmasını kolaylaştırmak için işlem sıralarını göstermektedir.



Şekil 2. 10 Elektrik şebekesindeki arızaların giderilmesi süreci

Şekil 2.11'de gösterilen A ve B arasında bir arıza meydana geldiğinde normal süreç şu şekildedir:

Sensörler A ve B, akım sinyalinde bir değişiklik, gerilim düşüşü veya diğer geçici sinyallerin meydana geldiğini belirten bir sinyal gönderir. Hemen ardından, IED, aşırı akımın şebeke genelinde geniş bir alanı etkilemeden önce arızalı bölgeyi izole etmek için bir komut gönderir ve istasyonda bir kesme işlemi başlatır.



Şekil 2. 11 Tipik bir dağıtım sistemi üzerinde sensörler uygulayan güç sistemi şeması

Tüm yüklerde ve etkilenen alanda tekrar açma cihazları kurulduktan sonra, hata hattın izole edilecektir. Dağıtımda bir hata meydana geldiğinde, hata akımı müşteriler ve ekipman etkilenmeden önce izole edilip kesilmelidir.

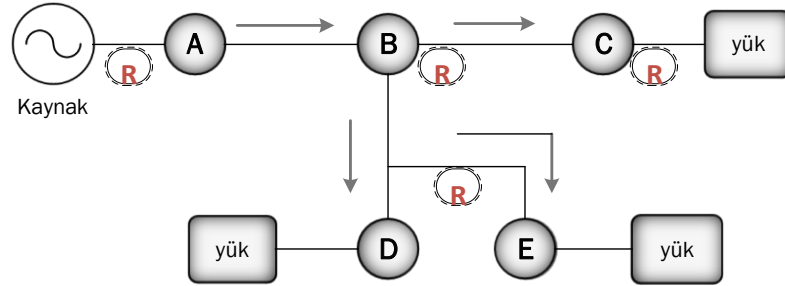


Şekil 2. 12 Şebeke içinde iki optimal sensör noktası arasında meydana gelen hata

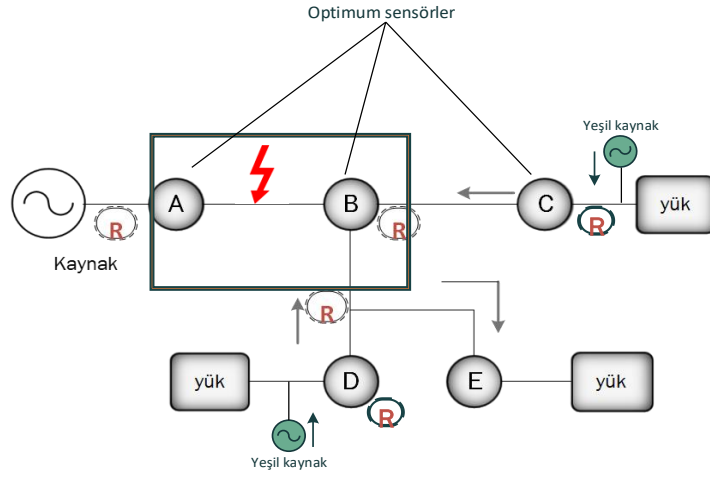
Şekil 2.12, bir şebekede nokta A ve B'deki sensörler arasında meydana gelen bir hatayı göstermektedir. A ile B arasındaki mesafe sabittir, bu da iki nokta arasındaki hatanın kolayca bulunabilmesini sağlar. Nokta B, hata nedeniyle bir voltaj düşüşü algılar. Bu durumda, etkilenen alan hızla izole edilmeli ve yeniden düzeltilmelidir. Bu nedenle, hata meydana geldiğinde, recloser trip sinyali göndererek anahtar kesicinin açılmasını sağlar. Recloser ve kesici birimleri, halka ana ünitesi (RMU) olarak adlandırılan bir birimde birleştirilmiştir. Mümkün olan bir otomatik koruma yöntemi şu şekildedir. (Şekil 2.13 ve 2.14).

1. Hat üzerinde A ve B noktaları arasında bir hata meydana gelir.

2. Sensör B, bir voltaj düşüşü algılar ve durumu teşhis etmek ve en yakın RMU'yu hızla işletmek için kontrol istasyonuna bir sinyal gönderir.
3. Hatanın neden olduğu bir seyahat dalgası nedeniyle, sensör A da bir voltaj düşüşü algılar ve güncellemeyi baş kontrol cihazına gönderir.
4. Kontrol cihazı hemen, sensör A'nın en yakın RMU'sine bağlı olan anahtar kesiciyi çalıştırarak hata alanını izole eder.
5. A ile B arasındaki etkilenen alan, aşırı akımın şebeke geri kalanından gelmemesi için RMU'nun trip ve kesiciyi çalıştırarak izole edilir.
6. Aynı zamanda, akıllı şebeke tarafından kullanılan yeşil enerjiyi kullanarak kesintiden etkilenen geri kalan şebekenin (C, D, E ve yükleri) yeniden sağlanması gerekir.
7. Etkilenen alan, iki FÖÜ göstergesi arasında izole edildiği için kolayca bulunabilir. Bu şekilde, hata temizleme süresi kısaltılabilir ve etkilenen alan sınırlı tutulabilir. Akıllı şebeke teknolojisinde ve çift yönlü sistemde uygulanan yedek kaynaklar ayrıca sistemin diğer etkilenen ve yakın bölgelerinin yeniden sağlanmasına yardımcı olur.
8. Hata giderildiğinde, izole edilen hatlar, RMU'lar kullanılarak kesildiğinde diğer kaynaklarla senkronize edilmiş olmalıdır.



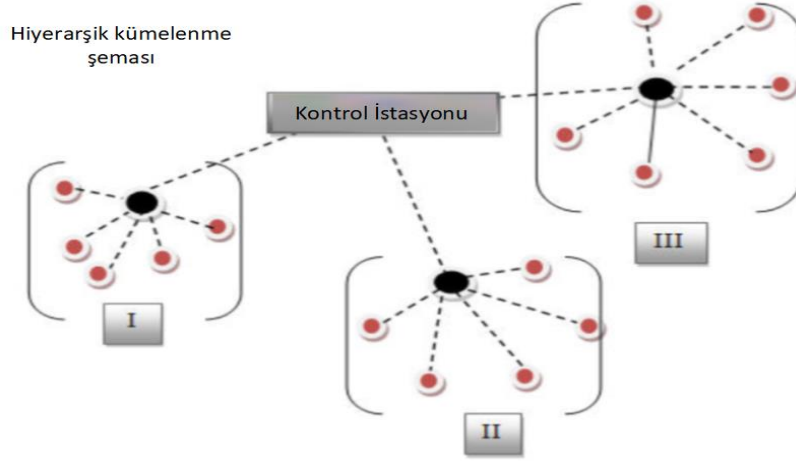
Şekil 2. 13 Arıza oluşmadan önce



Şekil 2. 14 Arıza oluşuktan sonra

2.2.7.12. Akıllı otomatik koruma için akıllı iletişim stratejileri

Dağıtık sensörler arasındaki bağlantıların izlenmesi ve kontrol edilmesi, iletişimi kolaylaştırmak için daha uygun akıllı, yeni bir kümelenme şeması gerektirir. Bu şemalardan biri hiyerarşik kümelenme olarak adlandırılır. Bu strateji ile, güç şebekesinin korunması akıllı ve zeki cihazlar kullanılarak kontrol edilebilir ve yönetilebilir. Şekil 2.15'te gösterildiği gibi, her kümelenmedeki sensörler ana kümelenme başı ile bağlanabilir, bu da bilgiyi kontrol istasyonuna ileten bir yapıya sahiptir. Kontrol istasyonu, sensörlerden ve FÖÜ'lardan alınan güncellenmiş verileri gönderir ve aynı zamanda şebeke üzerindeki herhangi bir değişikliği yönetir ve kontrol eder. Örneğin, kümelenme I'deki sensörler veya FÖÜ'lar belirli bir bölge içinde şebeke üzerine dağıtılmıştır. Ana kümelenme başı, her bir FÖÜ veya IED'den gelen bilgilere hemen yanıt verir ve bu bilgileri kontrol istasyonuna iletir. Her ana kümelenme, farklı birleştirmeleri yönetmek ve kontrol etmek için hemen kontrol istasyonuna veri gönderir. Bu strateji, sensörler ve FÖÜ'larla iletişimi kolaylaştırmanın yanı sıra güç hatlarındaki kesicileri ve yeniden kapamaları kontrol etmeyi de sağlar.



Şekil 2. 15 Elektrik güç ağını izlemek için sensörler ve kontrol istasyonu arasındaki kablosuz iletişim (Aljahani, vd. 2014).

Herhangi bir hata döneminde, farklı otomatik işlemler akıllı cihazları kontrol edebilir, böylece koruma akıllı şebekeye uygulanabilir. Aslında, dağıtım şebekesi, ileri ve akıllı bir strateji kullanılarak hızlı koruma için farklı bölgelere ayrılabilir. Sensörler ile kümelenme başları arasındaki sinyaller kablolu veya kablosuz bağlantılar aracılığıyla gönderilebilir, bu da bu mimariyi oluşturmanın maliyetine bağlıdır (Argual, vd. 2003). Bu sensörler, güç şebekesinde kritik değişiklikler meydana geldiğinde veri göndermek için ayarlanabilir. Ayrıca, belirli bir zaman aralığında veya periyodik olarak veri ve bilgiyi güncellemek üzere ayarlanabilirler. Kesinlikle, güç şebekesi korumasının analiz edilmesi ve iyileştirilmesi, çoğu kesintiye hızlı bir şekilde yönetmek için yük terminallerinin uzak ucundan başlamalıdır.

2.3. Mikroşebekeler

Mikroşebekeler; küçük ölçekli ticari bir bölge, bir toplu konut ya da bir banliyö mevkiinde, kamu topluluğu olarak küçük bir sanayi sitesinde, bir belediye bölgesinde elektrik enerjisi ve ısı tedarik için tasarlanmış AG sistemler, Kombine Isı Güç (KIG) üretim şebekeleri olarak tasarlanmıştır. Mikroşebekeler esasen aktif dağıtım şebekeleridir çünkü dağıtım gerilim seviyesinde Dağıtık Üretim sistemleri ve farklı yüklerin bir arada bulunduğu bir sistemdir. Jeneratörler veya mikrokaynaklar, mikroşebekelerde genellikle dağıtım geriliminde güç üretmek için konvansiyonel olmayan yenilenebilir DEK'lerin entegrasyonu olarak birlikte çalışırlar. Operasyonel açıdan bakıldığında ise mikrokaynakların tek birleştirilmiş bir sistem olarak çalışmasını sağlamak için gerekli

esnekliği sağlamak ve belirtilen güç kalitesi ile enerji çıktısını korumak amacıyla mikroşebekenin güç elektroniği ara yüzleriyle ve kontrolcleriyle donatılmış olması gerekir. Bu kontrol esnekliği, mikroşebekenin güvenilirlik ve güvenlik için yerel enerji ihtiyaçlarını karşılayan bir birim olarak ana şebekeye bağlanmasına izin verecektir. Bir mikroşebeke ile geleneksel enerji santrali arasındaki önemli farklar şunlardır:

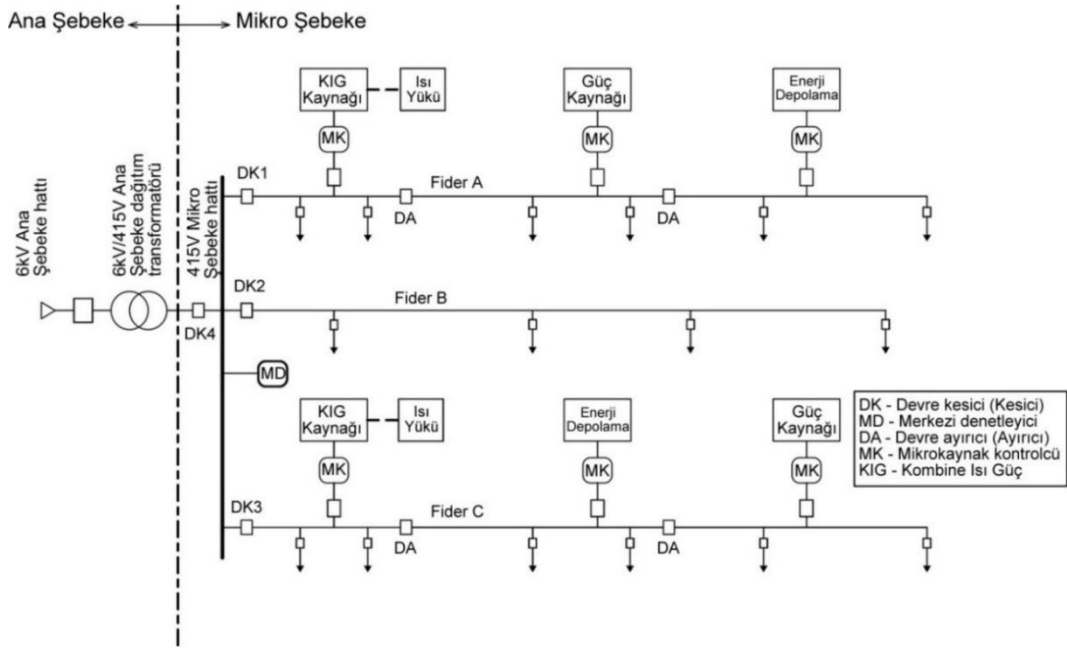
- (i) Mikro kaynaklar geleneksel güç tesislerinde kullanılan büyük alternatrlere göre çok daha kk bir kapasiteye sahiptir.
- (ii) Dağıtım geriliminde üretilen güç, doğrudan doğruya dağıtım şebekesini besleyebilir
- (iii) Mikro kaynaklar normalde tüketicilere yakın yerlere kurulur ve böylece elektrik/ısı yükleri için kararlı gerilim ve frekans profili ile çok düşük düzeyde hat kayıpları elde edilebilir (Kabalcı, *vd.* 2021).

Bir mikroşebekenin teknik özellikleri, ulusal şebeke sisteminden kaynaklanan kesintilerden dolayı beslemenin zor olduğu yerlerde ve ülkenin uzak bölgelerinde tüketicilere güç sağlamak için mikroşebekeli enerji üretimini uygun hale getirir. şebeke açısından bakıldığında, mikroşebekenin ana avantajı, güç sistemi içinde kontrollü bir varlık olarak kabul görmesi ve birleştirilmiş tek bir yük olarak alıştırılabilmesidir. Bu da g sisteminin güvenilirliğini ve güvenliğini engellemeden mikroşebekenin ana şebeke kural ve düzenlemeleriyle uyumlu, kolay kontrol edilebilir olduğunu gösterir. Müşterilerin bakış açısından, mikroşebeke yerel elektrik/ısı ihtiyaçlarını karşılamak için yararlıdır. Mikroşebeke tüketicilere kesintisiz güç kaynağı, yerel enerji güvenliğinin arttırılması, hat kayıplarının azaltması ve yerel gerilim desteği sağlayabilir. Çevresel açıdan bakıldığında ise mikroşebekeler düşük karbonlu teknoloji kullanımı ile vre kirliliği ve küresel ısınmayı azaltır. Mikroşebekelerin sıradan hale gelebilmesi ancak teknik mevzuat ve ekonomik konulardaki sıkıntıların, istikrarlı ve güvenli bir operasyonla zlmesiyle olacaktır (Kabalcı, *vd.* 2021).

DEK'lerin dikkat gerektiren bazı sorun alanları, kullanılan enerji kaynaklarının aralıklı olması ve iklime bağımlı doğası, yakıtların düşük enerji potansiyeli ve mikroşebekeleri merkezi elektrik santraliyle senkronize olarak çalıştırmak için gerekli olan standartların ve düzenlemelerin eksikliğidir. Bu tür konularda yapılacak çalışmalar, geniş gerçek zamanlı ve ada modu araştırmaları gerektirir.

2.3.1. Tipik bir mikroşebekenin yapısı

Tipik bir mikroşebeke yapısı Şekil 2.16'da gösterilmiştir. Bu mikroşebeke modeli, bir AG dağıtım şebekesine bağlı elektrik/ısı yüklerinden ve mikrokaynaklardan oluşur. Yükler (özellikle ısı yükleri) ve kaynaklar, ısı iletimi sırasında ısı kaybını en aza indirmek için birbirine yakın yerleştirilir. Mikrokaynaklar, tak-çalıştır özelliğine sahiptir. Bu yükler tek başına çalışma ve şebekeye bağlı çalışma modları sırasında kontrol, ölçme ve koruma işlevlerini gerçekleştirmesi için güç elektroniği arabirimleri kullanır. Bu özellikler aynı zamanda mikroşebekenin bir moddan başka bir moda kesintisiz geçişine yardımcı olur. Şekilde verilen mikroşebeke örneği elektrik ve ısı yüklerinin bağlantısını sağlamak için üç ayrı radyal besleyici (A, B ve C fiderleri) içerir. Aynı zamanda iki adet klasik KIG ile mikrokaynak ve depolama aygıtları olmayan iki ayrı KIG daha içerir. Mikrokaynakları ve depolama cihazları, A ve C fiderlerine mikrokaynak kontrolcülerıyla bağlanır. B fideri, sadece öncelikli olmayan elektrik yüklerinin bağlandığı besleyici olarak modellenmiştir. Mikroşebeke, standart ara yüz düzenlemeleri uyarınca devre kesici DK4 ile ortak bağlantı noktası üzerinden ana OG şebekesiyle birleştirilir. DK4 seçilen işlem modunda ana şebekeden tüm mikroşebekeleri bağlamak veya kesmek için çalıştırılır. A, B ve C Fiderleri ancak sırasıyla devre kesicilerden DK1, DK2 ve DK3'ün kesilmesiyle ya da bağlanmasıyla çalışabilir. A ve C fiderlerindeki mikrokaynaklar hat kayıplarını azaltma, iyi bir gerilim profili oluşturma ve atık ısının optimum kullanımını sağlamak için mikroşebeke hattının oldukça dışına yerleştirilir. Mikroşebekenin tak-çalıştır özelliği için birkaç mikrokaynak ve ortak bir jeneratör barası, ortak bir radyal besleyiciye bağlanır. Mikroşebeke normal mod olarak adlandırılan şebeke bağlantılı modda ve ada modunda olmak üzere iki ayrı modda çalıştırılır.



Şekil 2.16 Örnek bir mikroşebeke yapısı (Kabalcı, vd. 2021).

Şebekeye bağlı modda, mikroşebeke ya tamamen ya da kısmen ana şebekeye bağlı kalır ve ana şebekeyle güç alışverişi yapar. Ana şebekede herhangi bir bozulma olması durumunda, mikroşebeke hala öncelikli yüklere güç beslerken bağımsız moda yani ada moduna geçebilir. Bu durumda DK1 ve DK3 açıp fider A ve C’yi keserek ya da DK4’ü açarak mikroşebekenin tamamını kesme işlemi gerçekleştirilir. Farklı modlarda mikroşebeke işletme ve yönetim kontrollü ve fonksiyonları Şekil 2.16’da gösterildiği gibi yerel mikroşebeke kontrolcülerini (MK) ve merkezi denetleyici (MD) ile koordine edilir. Bu elemanların fonksiyonları aşağıda listelendiği gibidir;

1-Mikrokaynak kontrolü: MK’nın ana işlevi, şebekede herhangi bir bozulma ve yük değişimi olması durumunda mikrokaynak güç akışını ve yük uç gerilim profilini kontrol etmektir. Burada gerçekleştirilen “bağımsız” çalışma yapısı, MD’nin herhangi bir iletişimi olmadığını ifade etmektedir. MK, depolama aygıtlarını kontrol ederek yük izleme/yönetim ve talep tarafı yönetimiyle ekonomik üretim planlamasına katılmaktadır. Aynı zamanda, her mikrokaynağın hızla ada moduna geçerek üzerine düşen yükü alıp otomatik olarak MD yardımı ile geri şebekeye bağlı moda gelmesi sağlanmalıdır. MK’nın en önemli yönü, komşu MK’lardan gelen verilere bakılmaksızın, izlenen yerel gerilim ve akımların hızla yanıtlanmasıdır. Bu kontrol özelliği, mevcut birimlerin kontrol ve korumasından etkilenmeden mikroşebekeye herhangi bir noktada yeni mikrokaynakların eklenmesini kolaylaştırır. Diğer iki önemli özelliği ise MK’nın mikroşebekedeki diğer

MK'lerden bağımsız etkileşimde olmaması ve mikrokaynak için tehlikeli görünen durumlarda MK direktiflerini geçersiz saymasıdır (Kabalcı, *vd.* 2021).

2-Merkezi denetleyici (MD): Bu denetleyiciler, mikroşebekenin işletme ve koruma açısından genel kontrolünü MK'ler aracılığıyla yürütür. Mikroşebeke enerji optimizasyonunu sağlamak yoluyla yük ucunda belirtilen gerilim ve frekansı korumayı amaçlar. MK, koruma koordinasyonu yapar ve tüm MD'ler için güç sevki ve gerilim ayar noktaları sağlar. MK gerektiğinde elle müdahalenin sağlanabilmesi için otomatik moda çalışmak üzere tasarlanmıştır. MK'nin iki ana fonksiyonel modülü, Enerji Yönetim Modülü (EMM) ve Koruma Koordinasyon Modülü (KKM) olarak tanımlanır.

3-Enerji yönetim modülü (EMM): Bu modül, her MD için aktif ve reaktif güç çıkışı ile gerilim ve frekans ayar noktaları sağlar. Bu işlev, en modern iletişim ve yapay zeka teknikleri ile koordine edilir. Ayar noktalarının değerlerine mikroşebekenin operasyonel ihtiyaçlarına göre karar verilir.

4-Koruma koordinasyon modülü (KKM): Mikroşebekenin doğru koruma koordinasyonunu sağlayan bir biçimde ana şebeke arızaları ve şebeke kaybı senaryolarına yanıt vermesi gerekir. Aynı zamanda şebekeye bağlı ya da bağımsız moddan gelen değişim sırasında akım seviyesinde mevcut arızalara uyarlanır. Bunu başarmak için KKM, MD ve yukarı ana şebeke denetleyicileri arasında doğrudan iletişim kurmaktadır. Ana şebeke arızasında, KKM hemen mikroşebekedeki öncelikli yüklere güç sağlamak için şebekeden ayrılır ve ada moduna geçer. Ancak KKM, bazı küçük arıza durumlarında şebekeye bağlı moda geçmek için mikroşebekeye bir süre izin verir. Eğer bu süreçte herhangi bir geçici arıza meydana gelirse bu arıza uyarısı kaldırılır. Meydana gelen şebeke arızası, mikroşebekenin istikrarını tehlikeye sokacak olursa bu durumda KKM mikroşebekeyi tüm ana şebeke yüklerinden ayırabilir. Eğer mikroşebekenin herhangi bir yerinde bir arıza meydana gelirse (fider A ya da C), bu durumda da sağlıklı bölümlere enerji naklinin devam etmesi için mümkün olan en küçük besleme bölgesindeki fiderin çalışması elimine edilir (Kabalcı, *vd.* 2021).

Şebekeye bağlı modda MD'nin görevleri aşağıdaki gibidir:

- (i) Mikrokaynaklardan ve yüklerden bilgi toplayarak izleme ve sistem teşhisi yapar,
- (ii) Toplanan bilgileri kullanarak güvenlik değerlendirilmesi, ekonomik üretim planlama, mikrokaynaklar ve talep tarafı yönetimi fonksiyonlarının aktif ve reaktif güç kontrolü, performans seviye tahmini ve güvenlik değerlendirmesini yapar,

(iii)Öncelikli sözleşme noktalarında güç alışverişini sağlamak ve ana şebeke ile senkronize çalışmasını sağlamak gibi görevleri takip eder,

Ada modunda çalışan MD'nin görevleri ise aşağıdaki gibidir:

- (i) Yük uçlarında kararlı gerilim ve frekansı korumak için mikrokaynakların aktif ve reaktif güç kontrolünün yapılması,
- (ii) Güç dengesi ve bara gerilimini korumak için depolama aygıtı desteği ile talep tarafı yönetimi kullanarak yük kesinti/yük sızıntısı stratejilerine adapte olma,
- (iii) Geliştirilmiş güvenilirlik ve hizmet sürekliliğini sağlamak için yerel yeniden başlatma yapma,
- (iv) Ana şebeke beslemesi ve şebeke istikrarını engellemeden geri yüklendikten sonra mikroşebeke üzerinde şebekeye bağlı moda geçiş (Kabalcı, *vd.* 2021).

2.3.2. Mikroşebekelerin enterkonnekteye bağlanması

Mikroşebeler atık ısının kullanımı ile dağıtım gerilim seviyesinde enerji üretmek için tasarlanmış olduğundan enerji kullanma kapasiteleri kısıtlıdır. Bu nedenle, maksimum kapasitesi yaklaşık olarak 10 MVA ile sınırlıdır. Bunun sonucu olarak, her bir birimin bir mikroşebeke tarafından temin edilmesiyle çok sayıda kontrol yükü birimler halinde birçok yük grubuna bölünmüş dağıtım şebekesi üzerinden beslenir. Bu şekilde, mikroşebekeler toplu güç taleplerini karşılayacak daha büyük güç havuzları oluşturmak için birbirine bağlanabilir. Birbirine bağlı mikroşebekeler için her MD komşu MD ile yakın iş birliği ve koordinasyon içinde kontrolünü yürütmelidir. Böylece, birbirine bağlı bir mikroşebeke dağıtılmış kontrol yapısı ile daha fazla istikrar ve kontrol edilebilirliğe ulaşabilir. Aynı zamanda daha iyi arz güvenilirliği sağlamak için de detaylı kontrol gerçekleştirilebilir.

2.3.3. Mikroşebekelerin teknik ve ekonomik avantajları

Mikroşebeke gelişimiyle meydana gelen çeşitli avantajlar elektrik enerjisi sektörü için oldukça umut vericidir. Mikroşebekelerin büyük geleneksel termik santrallerden çok daha az çevresel etkiye sahip olacağı bilinmektedir ancak, termik santraller için karbon yakalama ve depolama programlarının başarılı bir şekilde uygulanmasının çevresel etkileri büyük ölçüde azaltacağı belirtilmelidir. Mikroşebekenin bu konudaki avantajları; gaz ve partikül emisyonu indirgenmesiyle yanma sürecinin kontrolünü kapatmasından

dolayı küresel ısınmayla mücadele yardımcı olabilir. Ayrıca, mikrokaynakların rasyonel enerji kullanımına yönelik tüketici farkındalığı artırmak için yardımcı olacağı da açıktır (Kabalcı, *vd.* 2021).

Mikroşebekenin çalışma ve yatırım sorunlarını çözmeye olan katkıları ise iletim ve dağıtım sistemindeki kayıpların azaltılması, varlık yönetiminin kolaylaştırılması ve bütün sistemlere reaktif destek geliştirilerek gerilim profilinin artırılması olarak sayılabilir. Güç kalitesi konularında ise bölgesel kaynakların kullanılması, arz ve talebin daha iyi eşleştirilmesi, büyük ölçekli iletim ve üretim kesintilerinin etkisinin azaltılması sonucunda iyileştirmeler sağlamak şeklinde tanımlanabilir. Mikroşebekenin en önemli tasarruf çalışmalarının başında maliyet yönünden KIG modunda atık ısının kullanımı gelmektedir. KIG kaynakları, tüketici yüklerine yakın konumda olduğundan ısı iletimi için çok önemli bir altyapı sistemi gerekmez. Bu durum, geleneksel bir güç sistemi ile karşılaştırıldığında %80'den daha fazla bir oranda enerji verimi sağlar. Birkaç mikrokaynağın entegrasyonundan maliyet tasarrufu da olumlu yönde etkilenir. Yerel kullanımda tak çalıştır modunda olarak iletim ve dağıtım şebekesi maliyetleri önemli ölçüde azalır veya ortadan kalkar.

Mikroşebekeler, pazar odaklı çalışma prosedürlerinin geliştirilmesi için kurulan üretim şirketleri tarafından harcanan şebeke gücünün fark edilir şekilde azalmasına yol açacaktır. Mikroşebekeler yan hizmet sağlamak için kullanılabilir ve böylece modüler tak çalıştır mikrokaynakların yaygın uygulamaları güç piyasasındaki enerji fiyatlarındaki azalmaya katkıda bulunabilir. Şebeke yatırımı ve Dağıtık Üretim kullanımı arasında uygun ekonomik denge ile uzun süreli elektrik tüketicilerinin giderlerini yaklaşık %10 oranında azaltmak mümkündür (Kabalcı, *vd.* 2021).

3. GÜÇ SİSTEMLERİNDE ARIZA VE YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

AŞ'ler temel özelliklerinden biri, kesinti ve arızaları tespit edip izole ederek, arıza sıklığını azaltarak, kritik durumları önlemek için şebeke kaynaklarını yeniden planlayarak, her koşulda elektrik şebekesinin hizmet sürekliliğini koruyarak ve kesinti onarım süresini kısaltarak kendini iyileştirme yeteneğidir (Andresen, *vd.* 2018; Sarathkumar, *vd.* 2021). Bu kendini iyileştirme yeteneğini, stabiliteyi ve gelişmiş sistem performansını sağlamak için arıza teşhisi ve konumlandırma önemlidir, çünkü bu sayede elektrik kesintileri ve bileşen arızaları gibi istenmeyen etkiler azaltılabilir (Mousa, *vd.* 2019).

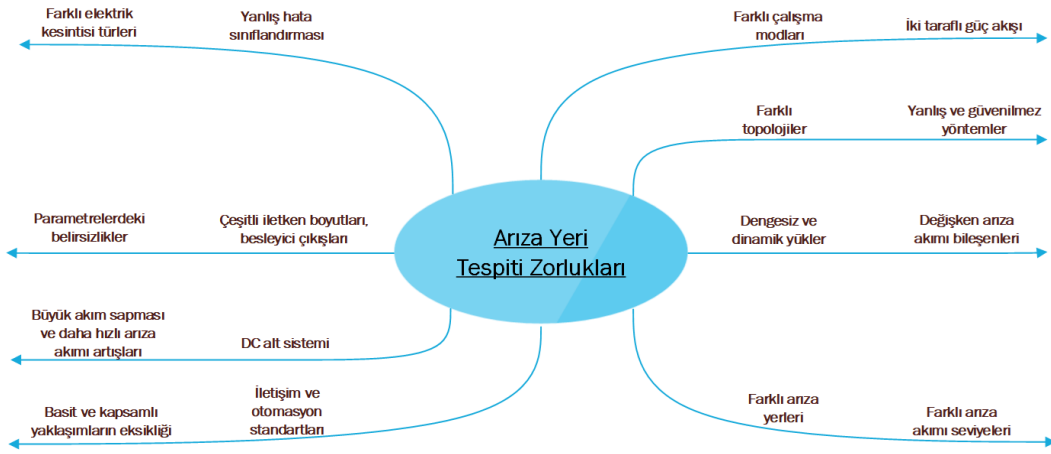
3.1. Güç Sistemlerinde Arıza Tespiti

Anormal olayların tespiti ve izolasyonu, arıza teşhisinin odak noktasıdır (Chai, *vd.* 2019). Teşhis süreci tespit sonrasında başlar. Mevcut sorunun türü ve muhtemelen neyin sebep olduğu, problemin şiddeti teşhis edilerek belirlenebilir. Ayrıca, henüz sistemi tehdit edecek kadar büyük olmayan ancak gelişmekte olan bir arızanın olup olmadığını değerlendirmeye de yardımcı olabilir (Furse, *vd.* 2020). Arıza yerini belirleme stratejisi geliştirilirken ana hususlar, sistem içindeki elektrik kesintisinin yerini belirleyerek müdahale etmek, arıza tespit prosedürünü iyileştirmek ve çevrimiçi veya çevrimdışı bir yer belirleme yaklaşımının kullanılacağına karar vermektir (Zangeneh, *vd.* 2020).

AŞ sistemlerine invertörler, sensörler ve iletişim sistemlerine dayalı daha fazla üretim kaynağı eklendikçe, daha doğru arıza yer belirleme algoritmalarına, arıza tahminlerine ve gizliliği koruyan şemalara ihtiyaç duyulmaktadır (Dashti, *vd.* 2021; Ferrag, *vd.* 2018). Daha dinamik ve dengesiz yükler, kesintili ve dengesiz üretim kaynakları, çeşitli çalışma modları (bağlı, izole, birbirine bağlı), farklı topolojiler (yıldız, halka, örgü veya birbirine bağlı), farklı arıza noktaları ve çeşitli iletken boyutları, arıza yeri belirlemeyi kritik bir görev haline getirecektir. Ayrıca, düşük hat empedanslı doğru akım mikro şebekelerinin entegrasyonu için hızlı iletişim, önemli arıza akımı sapsmaları ve yüksek örnekleme oranları gereklidir (Javed, *vd.* 2019). Şekil 3.1, literatürde tartışılan arıza yer belirleme ile ilgili bazı zorlukları göstermektedir.

AŞ'lerin arıza yönetim sistemi üzerine, çok çeşitli arıza türleri, MŞ'lerin arıza teşhisi ve tespit yöntemleri, hibrit MŞ'lerdeki arıza yönetimi dikkate alınarak çeşitli

incelemeler yapılmıştır (Dahiwale, *vd.* 2019). AC/DC'nin hataya dayanıklı kontrol sistemleri, MŞ'nin makine öğrenimi (MÖ) tabanlı yaklaşımı, arıza tespiti, konum, izolasyon, hizmet restorasyonu ve alçak gerilim DC şebekelerinde koruma yöntemleri akıllı dağıtım şebekelerinde ve güç sistemi korumasında (Farkhani, *vd.* 2020). Dağıtım şebekesi yönetimi, MŞ'ler (AC, DC ve hibrit MŞ'ler) ve akıllı trafo merkezi otomasyonu (iletişim ve saldırı arızaları) dikkate alınarak, AŞ'nin dağıtım alanındaki arıza tespit yöntemleri ve tekniklerinin gözden geçirilmesine hâlâ ihtiyaç vardır. Tablo 3.1, bu çalışmada ele alınan temel konuları diğer AŞ'lerin incelemeleriyle karşılaştırmaktadır.



Şekil 3. 1 AŞ'nin dağıtım alanında arıza yeri belirleme zorlukları

Çeşitli yazarlar, AŞ'ler ve MŞ'ler için çeşitli arıza yeri belirleme teknikleri ve yöntemlerini tartışmaktadır. Bu teknikler ve yöntemler arasında empedans tabanlı yöntemler (Jadidi, *vd.* 2022), seyahat dalgası tabanlı arıza yeri belirleme yöntemleri (Aftab, *vd.* 2020), yüksek frekans bileşeni tabanlı yöntemler (S-dönüşümü) (Jia, *vd.* 2016), bilgi tabanlı yöntemler (Srivastava, *vd.* 2022), akıllı yaklaşımlar (Hosseinzadeh, *vd.* 2019; Anjaiah *vd.* 2022), yük tahmini ile birlikte benimseme yöntemleri (Arritt, *vd.* 2013; Wang *vd.* 2020), SCADA sistemleri aracılığıyla konum belirleme ve çok sayıda akıllı elektronik cihaz verisi (Kezunovic *vd.* 2011; Rangel-Damian *vd.* 2017) ile akıllı sayaçlar, akıllı sensörler, fazör ölçüm üniteleri ve anahtarlama cihazları (Zhang *vd.* 2014; Pakonen *vd.* 2016), gibi akıllı cihazların kullanılması yer almaktadır. Ancak, bu yöntemler AŞ'lerdeki dağıtım alanında arıza yeri belirleme konusunda tam bir araştırma yapmak için yeterli değildir. Bu araştırmanın katkıları ve artırılmış değeri şu şekilde özetlenebilir:

Elektrik güç sistemlerini (EGS), AŞ'leri ve MŞ'leri etkileyen arıza yeri belirleme teknikleri ile arıza türlerindeki zorluklar da kısaca özetlenmiştir.

1. Ayrıca AŞ'ler ve MŞ'ler için sorun giderme konusunda en son metodolojileri kapsamaktadır. Arıza izleme sistemleri, arızaya dayanıklı kontroller, kendi kendini iyileştirme ve otomatik arıza yer belirleme sağlamak için kullanılan iletişim yapıları ve riskleri tespit etmek ve azaltmak için kullanılan akıllı algoritmaların uygulanması göz önünde bulundurulmaktadır;
2. DC ve düşük voltajlı ağlar için arıza yeri belirleme tekniklerini ve bu akıllı sistemlerin dayanıklılığını artırmaya yönelik arıza yeri belirleme tekniklerini analiz edilmektedir. Meteorolojik faktörleri dikkate alarak ve sistemlerin dayanıklılığını destekleyen ancak önceki çalışmalarda yeterince değerlendirilmeyen depolama sistemleri ve elektrikli araçlar için arıza yeri belirleme tekniklerini incelenmektedir.
3. Mevcut araştırma eğilimleri, sorunlu alanlar ve arıza yeri belirleme tekniklerinin gelecekteki potansiyel kullanımları ele alınmaktadır (De La Cruz, vd. 2023).

Çizelge 3. 1 Literatürde benzer çalışmaların karşılaştırması

Referans	Dağıtım Şebekesi	Mikroşebekeler	Dağıtılmış enerji Kaynakları	Enerji Depolama Sistemi	Elektrikli Ulaşım	Arıza Konumu için sensör boşluklarının tanımlaması
Stefanidou-Voziki vd. 2022; De La Cruz, vd. 2023	✓	—	✓	—	✓	✓
Jadidi vd. 2020; Baidya, vd. 2022	—	✓	✓	—	—	✓
Mousa, vd. 2019; Mahmoud, vd. 2021	✓	✓	✓	✓	—	—
Dashti, vd. 2021; Xie, vd. 2023	✓	✓	✓	—	✓	✓
Javed, vd. 2019; Dashti, vd. 2021	—	✓	✓	—	—	✓
Hare, vd. 2014; Mar, vd. 2019	✓	✓	✓	—	—	✓
Hao, vd. 2020; Aljohani, vd. 2020	✓	—	—	—	—	—
Bansal, vd. 2018; Patnaik, vd. 2020	—	✓	✓	—	✓	✓
Hussain, vd. 2020;	✓	✓	✓	✓	—	✓

Vuddanti, vd. 2021						
Hare, vd. 2016; Husin, vd. 2021	✓	✓	✓	—	—	✓
Dahiwale, vd. 2019	—	✓	✓	—	—	✓
Ortiz, vd. 2020; Fotopoulou, vd. 2021	✓	✓	✓	—	—	✓
Rahman Fahim, vd. 2020; Hernandez-Matheus, vd. 2022	—	✓	—	—	—	✓
Hallems, vd. 2019;	—	✓	✓	—	—	✓
Srivastava, vd. 2022;	—	✓	✓	—	—	—
Ali, vd. 2021; Altaf, vd. 2022	—	✓	✓	✓	—	✓
Srivastava, vd. 2022	✓	—	✓	—	—	✓
Khalid, vd. 2020; Bhuiyan, vd. 2020	—	✓	✓	—	—	✓
Farkhani, vd. 2020; Bharathidasan, vd. 2022	✓	✓	✓	—	✓	✓

✓ sembolü konunun tezde ele alındığını, — sembolü ise konunun ele alınmadığını gösterir.

Bu tezin amacı, AŞ arıza yeri tespiti metodolojilerini, AŞ bozulmalarının getirdiği zorlukları dikkate alarak ve belirgin arızaları ele alarak kapsamlı bir şekilde gözden geçirmektir. Ayrıca, AŞ ve MŞ ile ilgili literatürde önerilen çeşitli arıza yeri tespit yöntemlerinin ve tekniklerinin avantajlarının kapsamlı bir analizini sunulmaktadır.

3.1.1. Arıza tespiti zorlukları

Geleneksel koruma sistemlerinin arıza yeri tespiti için kullandığı yöntemler, çift yönlü arızalar olduğunda sorunlu olabilir, bu nedenle AŞ'ler için koruma sistemleri, ölçeklenebilir matematiksel modellere dayanabilen ve onları sayısal röleler gibi son teknoloji teknolojilerle destekleyerek duyarlılık ve operasyonel hızı sağlayan arıza yeri tespiti yöntemlerini kullanmalıdır.

AŞ, geleneksel merkezi bir ağda meydana gelebilecek aynı türden arızalara duyarlıdır; böyle bir durumda, akıllı sistem, sistemin bileşenlerini korumak ve normal işleyişi sürdürmek için başarılı bir şekilde arıza türünü hızlı bir şekilde yönetmek, teşhis

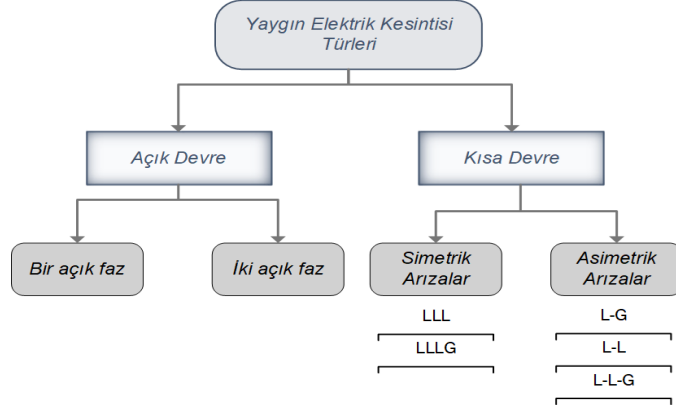
etmek ve izole etmek görevlerini üstlenmelidir. AŞ, arıza göstergeleri, ekipman otomasyonu, bir kontrol merkezi, akıllı cihazlar aracılığıyla sinyal izleme ve sistemin doğru teşhisi, tanımlanması ve korunması için gelişmiş iletişim tekniklerinin yanı sıra birçok bileşenin entegrasyonunu gerektirir. Bu, tüm koruma sistemlerinin beklenildiği gibi çalışmasını sağlamak için yapılır. (De La Cruz, *vd.* 2023).

3.1.2. Yaygın elektrik güç sistemi arızaları

Şimşek, rüzgarlar, fırtınalar, yalıtım malzemelerinin kirlenmesi, kablo bozulması, hayvanlarla fiziksel temas, devrilen ağaçlar, aşırı yükler ve akım dalgalanması gibi faktörlerden kaynaklanan koruma arızaları gibi unsurlar, geleneksel bir sistemde olduğu gibi AŞ'de de arızalara neden olabilir (Jadidi *vd.* 2022; Mousa *vd.* 2019). "Bir elektrik arızası, elektrik güç sisteminde anormal bir elektrik akımı olarak tanımlanır", bu, iki kategoriye daha ayrılabilir. (Korada, *vd.* 2016) Örneğin, bir dönüştürücünün AC tarafında veya enerji depolama sistemine ait DC sistemde olabilecek dahili arızalar ve faz-toprak arızası gibi dış arızalar gibi iç arızalar (Mousa, *vd.* 2019).

3.1.3. Akıllı şebeke güç arızalarının yaygın türleri

Açık devre arızaları (seri arızalar) ve kısa devre arızaları (şönt arızaları), bir AŞ'de meydana gelebilecek iki temel güç arızası türüdür. Örneğin, şönt arızaları, iki faz arasındaki birleşimden kaynaklanabilirken, seri arızalar, kopuk hatlara neden olan kırık iletkenler tarafından oluşturulabilir (Mousa, *vd.* 2019). Kısa devre arızaları, bir AŞ'de meydana gelen güç kesintilerinin %75 ila %80'ini oluşturur (Glover *vd.* 2017; Batiyah *vd.* 2018) AŞ'lerde tipik güç arızalarının türleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Simetrik ve asimetrik arızalar, kısa devre arızalarının iki farklı kategorisidir. Üç fazlı toprak arızaları (LLLG) ve üç fazlı arızalar (LLL), simetrik arızaların örnekleridir. Faz-toprak arızaları (L-G), faz-faz arızaları (L-L) ve iki fazın toprağa arızaları (L-L-G), asimetrik arızaların örnekleridir.

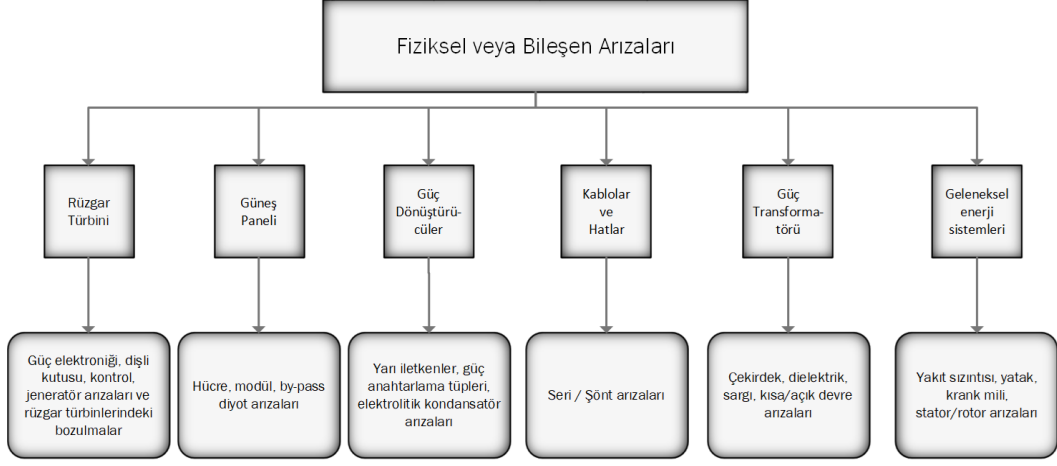


Şekil 3. 2 Güç arızalarının yaygın türleri (açık devre ve kısa devre arızaları)

Güç sistemlerindeki diğer arızalar ve/veya anormal koşullar, bir transformatörün manyetize olma akımı, bir endüksiyon motorunun başlangıç akımı ve güç salınımı sırasındaki koşulları içerir. Ancak, normal ve normal olmayan koşullar arasında ayırım yapmak zor olabilir. Elektrik sisteminde normal olmayan bazı içsel işletme koşulları vardır.

Farklı AŞ katmanlarına göre AŞ arızalarını, fiziksel veya bileşen arızalarını, iletişim arızalarını ve yazılım veya donanım düzeyindeki arızaları içeren üç kategoriye ayırdılar. Ayrıca, AŞ mimarisindeki çeşitli fiziksel sistemler ve bileşenler için farklı arızalar hakkında yeterli ayrıntıları sağladılar. Şekil 3.3'te, açıklanan AŞ altyapısındaki arıza türlerini göstermektedir (Rivas, *vd.* 2020).

Dizel jeneratörler ve senkron makineler gibi geleneksel enerji kaynaklarında, stator, rotor, krank mili ve yakıt sızıntıları gibi sorunlar olasıdır. Geleneksel güç transformatörlerinde lokalize aşırı ısınma, sarım arızaları ve çekirdek arızaları, dielektrik kapasitelerini azaltabilir ve transformatörlerde hasara neden olabilir. Benzer şekilde, akıllı transformatörler, DEK ve güç dönüştürücüleri etkileyen kısa ve açık devre arızaları gibi aynı kusurlara duyarlıdır. Dağıtım şebekesindeki yeraltı kabloları, mekanik sorunlar, termal aşırı ısınma ve genel aşınma ve yıpranma yaşayabilir. Ayrıca, yıldırım düşmesi, kısa devreler, insan hatası ve bakım eksikliği gibi birçok nedenle havai hatlar arızalanabilir. Azalan gerilim ve akım sinyallerine neden olan fotovoltaik (PV) paneller gibi DEK'lerde hücreler, modüller ve by-pass diyot kusurları. Rüzgar türbinlerindeki dişli kutusu, jeneratör, güç elektroniği ve güç dönüştürücülerindeki arızalar, bozulma, dengesiz gerilim ve akım ve düşük üretim verimliliğine neden olabilir.



Şekil 3.3 AŞ'lerde fiziksel bileşenlerdeki güç arızalarının türleri

3.1.4. Bir akıllı şebekedeki güç arızası kategorileri

Akıllı şebekelerdeki güç arızaları, süreleri ve arızanın meydana geldiği sıradaki şebekenin çalışma durumuna göre sınıflandırılmaktadır.

3.1.4.1. Başlangıç arızaları

Belirli bir süre boyunca meydana gelen sistem arızalarıdır. Fourier ve Laplace dalga dönüşümleri gibi teknikler, arızaların genliğini ve süresini kontrol ederek tespit ve sınıflandırmak için kullanılır. Ayrıca, yer altı kablolarındaki sorunları tespit ve sınıflandırmada faydalı olan empedans bazlı teknikler de kullanılmaktadır (Mousa, *vd.* 2019).

3.1.4.2. Ani arızalar

Ani arızalar, sistem wtgüç kaynağındaki bir arıza nedeniyle sinyallerde meydana gelen ani değişikliklerdir. Bu hataların tespiti ve sınıflandırılması için genellikle dijital röleler ve dalgacık dönüşümü (WT) gibi dijital işlem dönüşüm teknikleri kullanılır, ancak bu teknikler frekans hassasiyetlidir (Mousa, *vd.* 2019).

3.1.4.3. Kesikli arızalar

Bu tür arızalar, nihayetinde kalıcı bir arızaya neden olan geçici başlangıç arızalarıdır. Bu tür arızaları tespit etmek için EGS düğümleri genellikle mesafe röleleri ve taşıyıcı sinyal izleme sistemleri kullanır (Mousa, *vd.* 2019).

3.1.5. Mikro şebekelerde güç arızaları

Bir MŞ, Akıllı şebekelerin dağıtım alanının bir parçasıdır ve hem şebeke bağlı hem de ada modlarında çalışabilir. Ada modu, ana güç kaynağına bağlı olmadan bağımsız olarak çalışabileceği anlamına gelir. Ada modunda görülen arızalar, MŞ'nin şebekeye bağlı olduğu durumlardakinden daha az olduğundan, geleneks, arızayı ağ kesintilerinden ayırt edemez ve bu durumda iyi performans gösteremez (Rezaei, *vd.* 2021).

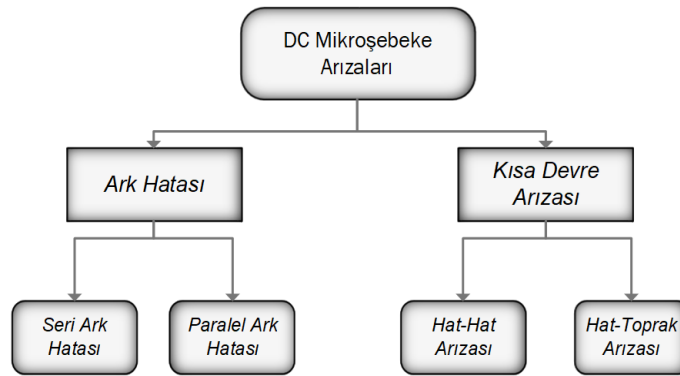
MŞ'nin korunmasını sağlamak için, genel özellikler olarak güvenilirlik gibi unsurların yanı sıra, yükteki herhangi bir değişikliğe yanıt verme yeteneğini daha da önemseyerek çeşitli yöntemler ortaya konulmuştur. Genel olarak, bir MŞ için doğru teknik, ana şebekeyi ve güç ekipmanlarını korumanın yanı sıra, MŞ içinde veya dışında meydana gelen arızalar durumunda hızlı bir şekilde hareket etmeyi de dikkate almalıdır (Rezaei, *vd.* 2021).

3.1.5.1. AC mikro şebekeler

Aktif güç, reaktif güç, dengesizlik bileşeni ve harmonikler, bir AC MŞ'nin senkronize edilmesi gereken dört ana parçasıdır. Ancak, dağıtık enerji kaynakları DC olduğundan, güç dönüştürücü uygulaması gereklidir ve bu, harmoniklerin ortaya çıkma şeklini olumsuz etkiler. Ayrıca, AC devrelerindeki arızalara karşı koruma, sözde aşırı akım ilkelerine dayanır. Mikro şebekelerin hem ada modunda hem de şebeke bağlantılı modda çalışabilmesi, koruma sistemleri için büyük kısa devre akımı değişimi nedeniyle bir zorluk teşkil eder (Dagar, *vd.* 2021). AC MŞ arızalarının çoğunluğu geçici ve çok kısa süreli olur (Patnaik *vd.* 2020; Shanmugapriya *vd.* 2021). Şönt ve seri arızalar, MŞ güç hattında görülen iki tür arızadır (Altaf, *vd.* 2022).

3.1.5.2. DC mikro şebekeler

Güvenilirlik, verimlilik, kontrol kolaylığı, yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu ve DC yüklerin bağlanması açısından, bir DC mikro şebeke, AC mikro şebekeye göre daha üstündür; çünkü çoğu dağıtık enerji kaynağının DC ile çalıştığı (fotovoltaik paneller, enerji depolama, elektrikli araçlar, vb.) dikkate alınmalıdır. DC mikro şebekelerin birçok faydasına rağmen, arıza akımının özellikleri nedeniyle güvenilir bir koruma sistemi tasarlamak zor olabilir. Bir DC mikro şebekede, hat empedansı nispeten düşük olduğundan, arıza akımı oldukça büyük olup birkaç saniye içinde aşırı değerlere ulaşabilir (Beheshtaein, *vd.* 2019). DC mikro şebekelerdeki arızalar, Kısa devre arızası ve ark arızası olmak üzere iki kategoriye ayrılabilir, Şekil 3.4'te gösterildiği gibi. DC sistemlerinde potansiyel arıza yerleri olarak DC bara arızaları, DC besleyici arızaları ve kaynak arızaları bulunmaktadır (Srivastava *vd.* 2021; Augustine *vd.* 2018).



Şekil 3. 4 DC mikro şebeke arızalarının sınıflandırılması

3.1.5.3. Hibrit mikro şebekeler

Hibrit mikro şebekeler, hem AC modellerde MŞ'ler veya DC modellerde MŞ'lerin avantajlarını birleştirerek, dönüşüm aşamalarını ve arayüz dönüştürücülerini azaltarak verimliliği, güç kalitesini ve güvenilirliği artırır. AC modellerde MŞ'ler veya DC modellerde MŞ'ler gibi, hibrit mikro şebekeler de dönüştürücü anahtar arızalarına ve dağıtım hattı arızalarına neden olan kısa devre arızalarına karşı hassastır (Ramesh Rao, *vd.* 2022). Mikro şebekeler çalışmaya başladığında, tesislerde, sensörlerde veya aktüatörlerde arıza modlarının meydana gelmesine karşı savunmasızdır. Dönüştürücü anahtarlama

faaliyetinin ürettiği voltaj/akım profillerinin benzerliği nedeniyle, istem dışı açma meydana gelir.

Ada modunda arızalar ve iletişim sistemlerine yönelik siber saldırılar, mikro şebekenin düzenli işletimi için başka bir zorluk teşkil eder.

3.1.5.4. Ada modu arızaları

Mikro şebeke ada modu arızası, bir güç sistemi arızası nedeniyle mikro şebekenin istem dışı olarak ana şebekeden ayrılması durumudur. Ada modu arıza tespiti için teknikler iki kategoriye ayrılır: uzaktan ve yerel. Mikro şebeke arızaları meydana geldiğinde, jenerasyon üniteleri ve depolama ünitelerinin çalışma noktaları genellikle değişir. Güç sistemi tarafındaki arızalar nedeniyle mikro şebeke sonunda güç sisteminden ayrılabilir. “Ada” terimi, güç sisteminden kasıtlı veya kasıtsız olarak ayrılmayı ifade eder. Mikro şebekelerde ada modu arızası, aşağıdaki dezavantajları beraberinde getirir (Hosseinzadeh, *vd.* 2020).

- Ada modu arızası, personel için tehlike oluşturur çünkü jenerasyon üniteleri yükleri beslerken sistemlerin aktif olmadığını düşünebilirler.
- Voltaj ve frekans kabul edilebilir bir standartta tutulamayabilir.
- Mikro şebeke faz dışındayken, devre yeniden kapayıcılar onu tekrar ana şebekeye bağlar.

Sonuç olarak, bu son derece önemli soruna ideal çözüm, ada modu arızasının hızlı ve doğru bir şekilde tespit edilmesi olmalıdır.

Mikro şebeke kontrol ve koruma işlevselliği nihayetinde merkezi veya merkezi olmayan bir yapıda olabilir. Arıza tespiti ve yer belirleme, her zaman seçici ada modu tespiti sağlamak amacıyla, gerçek zamanlı senkronize yüksek hızlı iletişim, aynı anda birden fazla konumdan ölçümler ve çeşitli DEK ünitelerinin türü, durumu ve konumu bilgisi kullanılarak bu birimler arasında koordine edilebilir. MŞ'lerdeki korumaların etkili çalışması, iletişim ve kontrolün arızaları çözme konusunda ne kadar iyi çalıştığına bağlı olacaktır (Hosseinzadeh, *vd.* 2020).

3.1.5.5. Siber saldırılar

MŞ kontrolörlerinin düzenli işleyişine yönelik bir diğer risk, iletişim sistemlerine yönelik siber saldırılardır. Bu saldırılar, akıllı sensörler, yerel aktüatörler ve kontrolörler arasındaki bilgi akışını kesintiye uğratar (Ortiz, *vd.* 2020). Bu durum, IoT cihazlarının yaygın kullanımı ve güvensiz protokoller nedeniyle saldırı yüzeyinin genişlemesinden kaynaklanmaktadır. Spesifik bir örnek, MŞ'nin senkronizasyon sistemine yönelik sahte veri enjeksiyonu saldırısı olabilir. Bu sistem, güç sistemlerinin günlük işleyişinde ve izole MŞ'lerin ana şebekeye bağlanmasında kritik bir rol oynar (Mohamed, *vd.* 2021). Bu senkronizasyon sistemleri genellikle şifreleme ve kimlik doğrulama mekanizmalarından yoksun olan ve jeneratör valisini kontrol etmek için uzaktan erişim sağlayan IEC 61850, Modbus gibi açık veri iletim protokollerini kullanır (El Mrabet *vd.* 2018; Mohamed *vd.* 2021). Bir siber suçlu, bir jeneratörün devre dışı kalmasına neden olmak için bozulmuş kontrol komutları gönderebilir, bu da kararlılık sorunlarına veya olası bir kesintiye yol açabilir; hatta saldırgan sistem rezonansını kullanabilirse, bu, MŞ için daha büyük bir risk oluşturabilir (Mohamed, *vd.* 2021). Siber saldırılar ile mevcut sensör veya aktüatör arızalarını ayırt etmek için bir arıza tespit metriğinin kullanılması gereklidir (Sahoo, *vd.* 2020). Kalman filtresi, durum tahmini yöntemleri ve sızma tespit sistemleri ve sızma koruma sistemleri gibi hesaplama zekası araçları, siber saldırıları tespit etmek için en sık kullanılan yöntemlerdir (Mohamed *vd.* 2021; Manandhar *vd.* 2014). IEC 62351 standart önerileri, MŞ içindeki cihazlar arasındaki mesajların güvenli iletimini sağlamak için TLS, X.509 sertifikaları ve dijital imzaların uygulanmasına yardımcı olabilir (Sahoo, *vd.* 2020). Bu, iletişimlerini korumak için kullanılabilir (Gunduz, *vd.* 2020). Literatürde hem DC hem de AC mikroşebekeler için geleneksel prensipleri takip eden farklı koruma modelleri bulunmaktadır. Bunlardan bazıları:

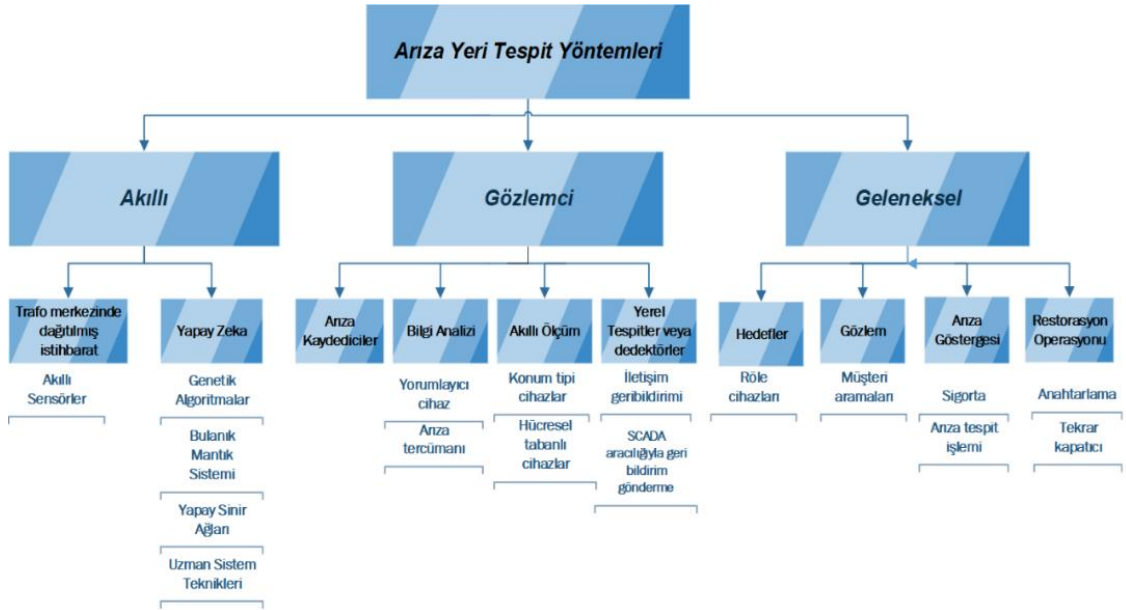
- Aşırı akım koruması: Bu, geleneksel aşırı akım korumasıyla aynı teoriye dayanır; maksimum programlanmış bir akım değeri düşünülerek çalışır, bu değer aşıldığında koruma devreye girer. Ancak, DC'deki manyetik yeniden birikim, bu teoriyi uygulayamaz. Sistemin seçiciliği, bu fonksiyondan doğrudan etkilenir ve bu durum, aşırı uzun arıza temizleme sürelerine veya arıza sırasında beklenmeyen EGS bileşenlerinin devre dışı kalmasına neden olabilir. Sorun, dinamik arıza akımını yönetmek için veri iletimi ve alım hızını artıran optimizasyon teknikleri kullanılarak yapılandırılan, kendini ayarlayan bir röle kullanılarak çözülebilir

- Yönlü aşırı akım koruması: Bu, dağıtık jeneratörlü bir sistemde akımın herhangi bir yönde akabileceği prensibine dayanır. Bu kural, örgülü bir topoloji durumunda seçiciliği sağlamak için kullanılabilir. Ayrıca, bu sistemle hızlı bir iletişim sistemi bağlanırsa, arızayı daha hızlı bulmaya yardımcı olabilir.
- Diferansiyel aşırı akım koruması: Bu, korunan cihazın uçlarında akım genliğini yalnızca ölçer ve hızlı bir şekilde işlem yapması nedeniyle mikro şebeke için en uygun olanlardan biridir. Ancak, bu korumadan etkili bir şekilde yararlanmak için hızlı iletişim ve gelişmiş röleler gerekmektedir.
- Mesafe koruması: Mesafe prensibine göre, örneğin, bir DC hattının bir AC hattından farklı davrandığı düşünülmelidir çünkü iletkenin indüktansı önemli ölçüde daha az etkiye sahiptir ve temel frekans varsayımı yoktur. Bu koruma, ölçüm noktasında gerilim ve akımı ölçmeyi, kapalı bir noktadaki gerilimi ölçmeyi ve ardından arıza mesafesini iteratif olarak tahmin etmeyi gerektirir (Beheshtaein *vd.* 2019; Chandra *vd.* 2020).

3.2. Arıza Tespit Yöntemlerinde Yapay Zeka Uygulamaları

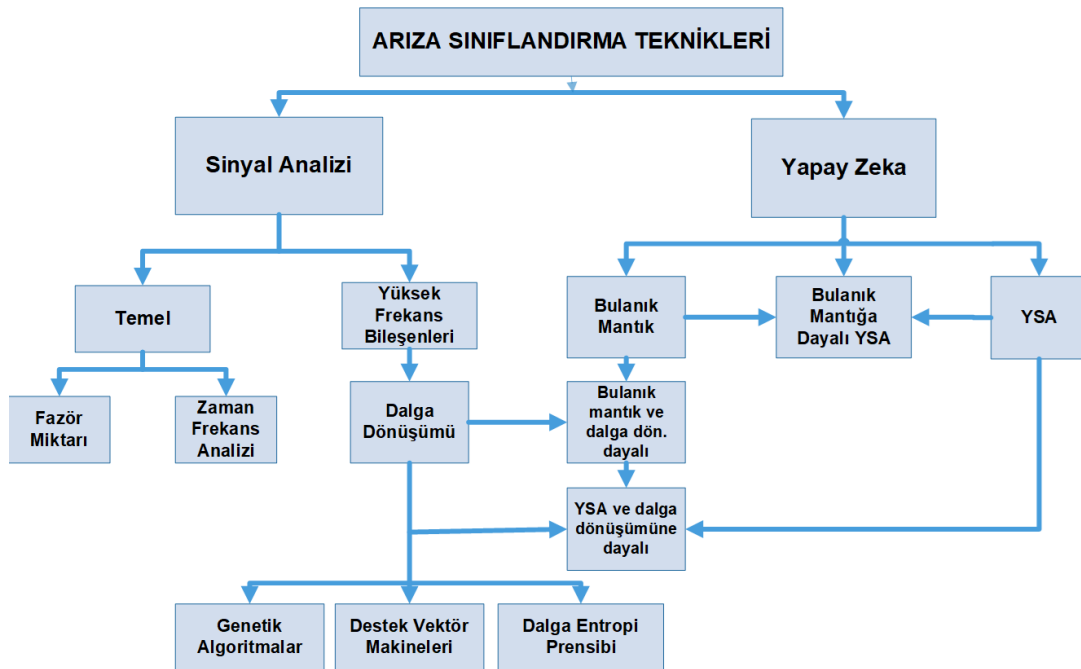
Arıza mesafesi ve arızalı bölüm, akıllı şebekenin dağıtım alanında olmalıdır. Arıza konumunu belirleme yönteminin amacı, arıza meydana geldiğinde sistemin etkilendiği kesin bölgeyi belirlemek ve arızanın belirli konumunu doğruluk, hassasiyet ve hızlı onarım ile tespit etmektir.

Elektrik güç sistemleri için üç arıza tespit yöntemi vardır: geleneksel, gözlemci ve akıllı. Akıllı şebekelerde arıza tespit tekniklerindeki hataları azaltmak için sistemle ilgili bilgilerin doğruluğunu sağlamak, hızlı ve güvenli bir iletişim altyapısı, hata toleranslı kontrol ve yenilikçi karar alma algoritmaları ile mümkündür. Gözlem, geleneksel metodolojiye bir örnektir; bu senaryoda, bir müşteri düşen telleri veya yanık kokan kabloları fark ettiğinde operatöre bildirir. Gözlemci metodolojisi kapsamında, akıllı sayaçlar veya yerel dedektörler aracılığıyla sistem operatörünü iletişim geri bildirim ile uyaran cihazlar bulunur. Son olarak, akıllı metodoloji, arızayı bulmak için akıllı sensörler veya uzman sistemler (Uzman sistemler, Yapay Sinir Ağları (YSA), Genetik Algoritmalar) kullanır. Şekil 3.5'te arıza yeri tespit yöntemleri açıklanmaktadır. (Saha, *vd.* 2009).



Şekil 3. 5 Güç sistemleri için arıza yeri belirleme yöntemleri

Arıza yerinin belirlenmesinden önce, arızanın tespiti ve arıza türünün belirlenmesi (arıza sınıflandırması) önemlidir.



Şekil 3. 6 Hata tespiti ve sınıflandırması için önerilen algoritma (Tırnovan, vd. 2019).

Akıllı Şebekelerde arıza tespiti ve sınıflandırma yöntemleri üzerine birçok inceleme yayınlanmıştır. Arıza tespiti için en yaygın kullanılan yöntemler arasında model tabanlı, bilgi tabanlı ve sinyal işleme teknikleri bulunmaktadır (Samanta, vd. 2021).

Elektrik güç sistemlerinin güvenliği ve kararlılığı, hızlı ve doğru bir arıza tespit tekniği ile sağlanır. Arızanın türünü belirlemek ve sistemdeki yerini tespit etmek için arıza AŞ'ye girmeden önce, sırasında ve sonrasında akım, voltaj ve frekans büyüklüklerinin sürekli olarak izlenmesi gerekmektedir (Helbing, *vd.* 2018). Ayrıca, arıza oluşmadan önce belirlenen değerlere geri dönebilmeyi sağlayan kendi kendini ayarlayan bir teknik de bulunmalıdır.

Arıza sınıflandırma yöntemleri, Mantık Akışı veya Öğrenme Algoritmaları kullanarak, Yapay Sinir Ağı, veri madenciliği teknikleri ve yapay zekâ ile sinyal işleme araçlarını birleştiren hibrit yöntemler üzerine kuruludur.

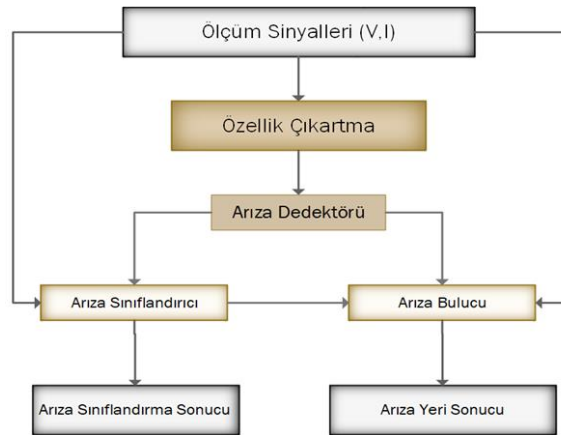
Güç sistemlerinde frekans rahatsızlıklarının meydana gelmesini FÖÜ verilerini kullanarak gerçek zamanlı hiyerarşik bir mimari önerilmiştir. Bu stratejide, arızayı doğru bir şekilde tespit etmek ve yerini belirlemek için Tekrarlayan Sinir Ağı ve Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM) kullanılmıştır. Gerçek zamanlı olarak olayı sınıflandırıp yerini belirleyebilen bu teknik, FÖÜ'lar tarafından elde edilen frekans değişim hızı verilerini ve derin öğrenme (DÖ) yöntemini kullanır. Bu yaklaşımla ilgili potansiyel sorunlar arasında bilgi kaybı ve siber saldırılar yer almaktadır ve AŞ uygulamalarında bu sorunların ele alınması gerekmektedir (Shadi, *vd.* 2021). Şebekeye bağlı PV sistemlerinde arıza olaylarını sınıflandırmak için dalgacık paket dönüşümü ve aşırı öğrenme makineleri (AÖM) kullanılmasını önermektedir. (Ahmadipour, *vd.* 2022).

Aktif dağıtım sisteminde bir sınıflandırma tabanlı seyahat dalgası özellikli arıza yeri belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Seyahat dalgalarının geçici dalga formu ile arıza yeri arasındaki korelasyon WT kullanılarak incelenmiştir. Arıza verilerinin boyutunu azaltmak ve temsilci arıza özelliklerini seçmek için lineer diskriminant analizi kullanılmıştır. Ayrıca, arıza veri seti, hatalı alanı belirlemek için kernel dağılımına dayalı basit Bayes sınıflandırma modeli kullanılarak eğitilmiş ve test edilmiştir. Bu yöntem, tek fazlı toprak arızası için arıza yeri belirlemenin doğruluğunu artırmıştır, ancak diğer türdeki arızalarda etkinliğini belirlemek için hala test edilmelidir (Xu, *vd.* 2021).

Matematiksel morfoloji ve rastgele orman tabanlı bir arıza yeri belirleme ve sınıflandırma algoritması önerilmiştir. Matematiksel morfoloji, voltaj ve akım verilerini ön işlemek için kullanılır, ardından sinyal normları, arıza yeri belirleme ve sınıflandırma için Radyo Frekansı algoritması için özellik olarak kullanılır. Bu yöntemin etkinliğini doğrulamak için daha karmaşık bir sistem kullanılması gerekmektedir. (Wilches-Bernal, *vd.* 2022).

MŞ zeka tabanlı bir arıza tespiti ve sınıflandırma sistemi önerilmiştir. Bu teknik, Hilbert-Huang dönüşümü (HHD) ve boost ensembl yaklaşımını kullanmıştır. Boost ensembl yaklaşımı, veri alanını yüksek doğruluk ve düşük program karmaşıklığı ile sınıflandıran adaptif bir makine öğrenme tekniğidir ve konveks olmayan bir optimizasyon prosedürü kullanır. HHD, gürültü duyarlılığını azaltmak için sinyallerin geçici davranışından özellik çıkarımı için kullanılır. Ayrıca, önerilen algoritmanın doğruluğu, karar ağacı, DVM, k-en yakın komşu (KNN), Naive Bayes, derin sinir ağı (DNN) ve AÖM gibi diğer zeka tabanlı çalışmalarla karşılaştırılmış olup, basit topolojilere sahip ve onlara yakın doğruluk göstermiştir. Bu yöntem, iç ve dış arızaları tespit edebilir ve bu da onu yedek MŞ koruması için uygun hale getirir (Azizi, vd. 2021).

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintili doğasını dikkate alan, ileri beslemeli sinir ağları ve sinyal işleme yöntemlerine dayanan zeki bir arıza teşhis sistemi önermiştir. Ayrık dalgacık dönüşümü (DWT) ve Stockwell dönüşümü, özellik çıkarımı elde etmek için zaman domainindeki akım sinyallerini zaman-frekans domainine ayırmak için kullanılmıştır. Özellikler toplandıktan sonra ileri beslemeli sinir ağları arıza sınıflandırması için eğitilmiş ve değerlendirilmiştir. Önerilen yöntemin arıza sınıflandırmadaki doğruluğunun %99,9'dan fazla olduğu gösterilmiş olup, yenilenebilir enerji kaynaklarının belirsizliklerinden bağımsız olduğunu ortaya koymuştur (Shafiullah, vd. 2022). Bir arıza türü modülü kullanan MÖ (Makine Öğrenimi) arıza sınıflandırması için bir sinyal işleme çözümü önermiştir. MÖ modelleri, üç fazlı voltaj ve akım verileri ile eğitilmiştir. Arıza türünü belirlemek için doğrusal DVM, KNN ve ağaç paketleme gibi sınıflandırma teknikleri kullanılmıştır. Literatürde sağlanan arıza yerini belirleme, sınıflandırma ve tespit için bir çerçeve Şekil 3.7'de gösterilmiştir (Srivastava, vd. 2019).



Şekil 3. 7 Hata konumu, sınıflandırma ve tespit çerçevesi

3.2.7. Akıllı şebekelerde hata konumlandırma tabanlı yöntemler

Dalların homojen olmaması nedeniyle, iletim hatlarındaki arızaların yerinin tespiti için tanımlanan tekniklerin dağıtım sistemlerine uygulanması zordur; bu nedenle, dağıtım sistemlerindeki arızaların yerini belirlemek için bir yöntem, verilerin elde edilmesindeki kısıtlamaları ve bu tekniklerin uygulanma maliyetlerini göz önünde bulundurmalıdır.

Literatürde arızaların yerini belirlemek için birçok farklı yöntem bulunmaktadır. Bunlardan biri, fazlarla ilgili olarak gerilim ve akım arasındaki ilişkiye dayanır. Ancak bu yöntem, yalnızca trafo merkezinin akım ve gerilim ölçümlerini dikkate alarak yapılan tahminlerin çokluğu nedeniyle kesin değildir.

Her DG biriminden akım ve gerilim ölçümlerini çıkarıp bunları çok sınıflı destek vektör makinesi sınıflandırıcısına göndermek, ağ topolojisindeki AC MŞ'deki arızaları tespit etmek için önerilen bir başka yöntemdir. Arıza bölgesi, iki komşu DG arasındaki iletişim bağlantısı kullanılarak, yüksek frekanslı bir harmonik sinyalin enjeksiyonu sırasında empedanslarının karşılaştırılması ile bulunur. Bu prosedürde, en düşük yüksek frekanslı empedansa veya en yüksek harmonik akıma sahip hat kullanılır (Beheshtaein, *vd.* 2018). Bu teknoloji, arızayı daha hızlı tespit eder ve topolojik değişikliklere, dinamik yüklere ve dengesiz koşullara karşı dayanıklıdır, ancak bir iletişim sistemi ve karmaşık sinyal işleme veya filtreleme yöntemlerine ihtiyaç duyar, bu da pratik uygulamalarda kullanımı zorlaştırır.

Bu nedenle, EGS'nin genellikle etkin izleme, ölçüm ve koruma sağlayabilecek akıllı ekipmanlara sahip olması çok önemlidir. Bu, dijital röleler, dijital arıza kaydediciler ve akıllı ölçüm elemanları gibi ekipmanları içerir ve bu ekipmanlar, yüksek güven derecesi ve yüksek performanslı akıllı uygulamalar üretir. Ayrıca, her bir koruma iletişim altyapısının önemli ölçüde modernize edilmesi, arızaları daha hızlı tespit etmek ve yerini belirlemek için önemlidir.

Arıza yer tespit yöntemleri, otomatik (akıllı) veya geleneksel teknikler olarak sınıflandırılır. Çizelge 3.2. otomatik arıza yer tespiti ile ilgili yöntemleri içermektedir (Dashti, *vd.* 2021).

Çizelge 3. 2 Arıza yer tespit yöntemleri ve teknikleri

Referanslar	Arıza Tespit Yöntemleri	Teknikleri
Kezunovic, vd. 2011; Saha, vd. 2009	Bir arızanın dalga biçimi değerlerinin fiziksel konumu	Direkt üç fazlı devre analizi, yerel akım ve gerilim değerleri
Stefanidou-Voziki, vd. 2022; Aftab, vd. 2020 Xu, vd.2021	İlerleyen dalga fenomeni	WT, Çift terminal, Temel bileşen analizi, Park dönüşümü, Teager enerji operatörü, Topluluk ampirik mod ayrıştırması, Matematiksel morfoloji işlevi
Chai, vd. 2019; Mahmoud, vd. 2021; Karimi, vd. 2020	Bilgiye dayalı yaklaşımlar	Yapay zeka, YSA, Bulanık, Uzman sistemler, DVM, Çoklu aracı tabanlı
Stefanidou-Voziki, vd. 2022; De La Cruz, vd. 2023	Sinyal işleme	Kısa süreli fourier dönüşümü, WT. Diferansiyel denklem tabanlı yaklaşım, Laplace dönüşümü
Mousa, vd. 2019; Mahmoud, vd. 2021	Fazör tabanlı algoritma	Empedans ölçümü
Christopher, vd. 2011; Tadros, vd. 2023		Aktif empedans tahmini
Kezunovic, vd. 2011; Chen, vd. 2016		Görünür empedans ölçümü
Kezunovic, vd. 2011; Chen, vd. 2016		Sıra bileşenleri
Passerini, vd. 2017;		Yüksek frekans empedansı
Kezunovic, vd. 2011; Chen, vd. 2016	Güç kalitesi verileri	Yüksek frekanslı harmonikleri enjekte etme
Beheshtaein, vd. 2018; Dashti, vd. 2021		Yüksek harmonik empedansların ölçümü
Beheshtaein, vd. 2016; Daisy, vd. 2021; Beheshtaein, vd. 2019	Hibrit yöntemler	İletişim tabanlı

AŞ alanında arıza yer tespiti için en popüler yaklaşımlar arasında empedans yöntemleri, fazör tabanlı yöntemler ve sinyal işleme tabanlı yöntemler bulunmaktadır. İletişim mimarilerine sahip hibrit yöntemler giderek daha popüler hale gelmektedir (Beheshtaein, vd. 2019). Bu yöntemler, anahtarlar, arıza sensörleri, güç prob üniteleri (GPÜ) gibi akıllı cihazların avantajlarını, geçici ve kararlı durumlarda sinyalleri analiz eden, güç akışı, senkronizasyon açıları ve büyük bir veritabanında desen tanıma oluşturan akıllı algoritmalarla birleştirir. Sekans bileşenleri, senkronize gerilim ve akım, grafik işaretleme, çok ajanlı sistemler, karar ağacı, empedans tabanlı yöntemler, seyahat dalgası, bulanık mantık, DVM, uzman sistem teknikleri ve genetik algoritmalar, kullanılan bazı arıza yer tespit tekniklerindedir (Hussain vd. 2020; Mousa vd. 2019) . Bu teknikler Şekil 3.8’de gösterilmiştir.

MÖ tabanlı EGS arıza teşhisi üzerine kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Arıza teşhisi için kullanılan birçok MÖ yaklaşımını, denetimsiz, denetimli, pekiştirmeli öğrenme ve arıza tespiti için kullanılabilecek çeşitli akıllı modeller dahil olmak üzere incelemektedir. Denetimsiz öğrenme, modelleri verilerdeki altta yatan yapıları veya gizli desenleri aramak için eğitime yöntemidir. Bu öğrenmede, yalnızca giriş verileri olup hedef sınıf etiketlerinin bulunmadığı sorunları çözmek için kullanılan iki tür strateji vardır: sert kümeleme ve yumuşak kümeleme. Sert kümeleme için K-means, K-medoids ve hiyerarşik teknikler, yumuşak kümeleme için ise bulanık C-means ve Gauss karışım modelleri kullanabiliriz (Vaish, vd. 2021).

Denetimli öğrenmenin kullanımı, modelin hem giriş hem de çıkış verileri kullanılarak eğitilebildiğinde ve eğitilmiş verilerin gözlemlenen verilerin davranışını tahmin edebildiğinde uygundur. Bu, ihtiyaçlara bağlı olarak regresyon veya sınıflandırma için kullanılır. Sınıflandırma için şu yöntemler kullanılmaktadır: Lojistik regresyon, KNN, DVM, sinir ağları, ayırt etme analizi, karar ağacı ve topluluk yöntemleri modelleri.

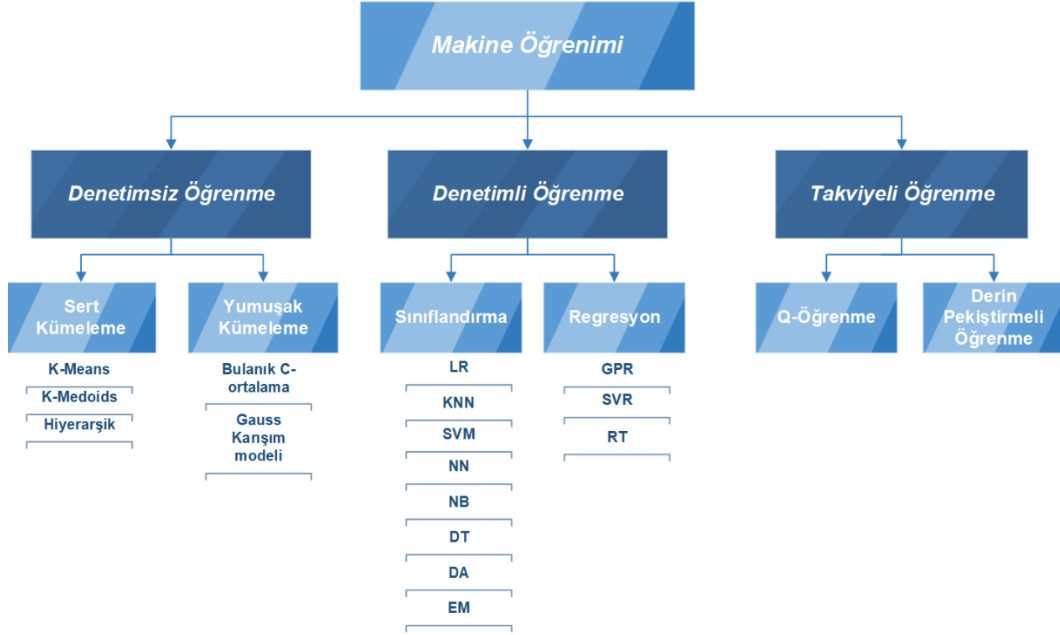
Regresyon modelleri arasında Gaussian süreç regresyonu, regresyon ağacı ve destek vektör regresyonu bulunmaktadır (Hussain vd. 2020; Mousa vd. 2019).



Şekil 3. 8 AŞ'de yerelleştirme teknikleri

Diğer yandan, pekiştirmeli öğrenme, eleştiriminin hem rehber hem de doğru davranış için ceza ve ödül aracı olarak hizmet ettiği bir ödül ve ceza temelli öğrenme yöntemidir. Arıza teşhisi için kullanılan pekiştirmeli öğrenme algoritmalarından biri Q-öğrenme ve derin pekiştirmeli öğrenme olarak iki örnektir. Model, denetimli öğrenmeyle karşılaştırıldığında, eğitim için referans arızaları ve örnekleme arızaları (aksiyon)

arasındaki benzerliğe odaklanır. Arıza tanımlama için çeşitli MÖ yaklaşımları Şekil 3.9’da gösterilmektedir (Karimi, vd. 2020).



Şekil 3. 9 EGS’de arıza teşhisi için makine öğrenmesi teknikleri

AŞ alanında çevrimiçi arıza yerinin belirlenmesi giderek daha önemli hale gelmektedir. Arıza izleme teknolojilerinin, iletişim altyapısının, arızaya dayanıklı kontrol yaklaşımlarının, veri özellik çıkarımının ve akıllı algoritmaların kullanımı, AŞ sistemlerinde arızaların yerinin belirlenmesi için birçok tekniğin geliştirilmesine yol açmıştır (Vaish, vd. 2021).

3.2.2. Yapay sinir ağı (YSA) temelli arıza analizi

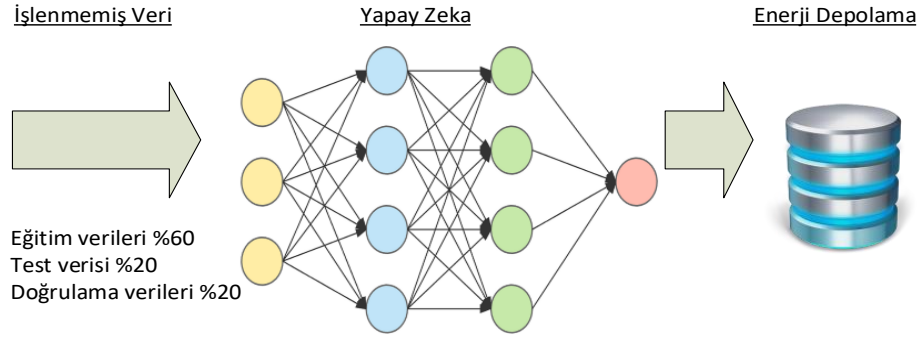
Yapay sinir ağı; paralel işleme, doğrusal olmayan haritalama, ilişkilendirici bellek ve çevrimdışı ile çevrimiçi öğrenme yetenekleri gibi özelliklerle donatılmıştır. YSA’nın geniş kullanım alanları ve üstün sonuçları, onu elektrik güç sistemlerinde etkili bir teşhis aracı haline getirmektedir (Thwe, vd. 2016).

YSA, arıza teşhisi uygulamaları için önceden seçilmiş arıza örnekleri girdi, arıza bilgileri ise çıktı olarak kullanılarak eğitilmektedir (Huan, 2014).

YSA, doğrusal olmayan problemleri kolayca çözebilen bir programlama tekniği olduğu için arıza tespiti ve sınıflandırması için etkili bir şekilde uygulanabilir. YSA’lar,

deneyimlerle öğrenme yeteneğine sahiptir. Aşağıdaki özellikleri sayesinde, arıza tespiti ve arıza sınıflandırması problemlerinde geniş çapta kabul görmüş ve yaygın olarak kullanılmıştır:

- Kısa uzunluktan uzun uzunluğa, tek devreli iletim hattından çift devreli iletim hatlarına kadar birçok iletim hattı konfigürasyonu mümkündür.
- Farklı güç sistemi koşulları altında ağı hızlı ve güvenilir bir şekilde simüle etmenin çeşitli yöntemleri mevcuttur.
- Elektrik güç sisteminin koşulları, her bir rahatsızlıktan sonra değişir. Bu nedenle, bir sinir ağı güç sistemlerindeki dinamik değişiklikleri dikkate alabilir.
- YSA'nın çıktısı, eğitime bağlı olarak çok hızlı, güvenilir ve doğrudur, çünkü çalışma şekli çok basit işlemler dizisine dayanmaktadır (Thwe, *vd.* 2016).



Şekil 3. 10 İleri beslemeli yapay sinir ağı

3.2.3. Arıza azaltma için kontrol metodolojileri

Bir arıza veya hata, sistemin yanlış çalışmasına, düşük performans göstermesine veya kararsız hale gelmesine neden olabilir. Arızaya dayanıklı kontroller ile AŞ'lerdeki yeni kontrol yöntemleri, ana bileşenlerin güvenilirliğini ve doğruluğunu sağlamalıdır. Yazarlar, arızaların yerini tespit etmek ve tanımlamak için çoklu ajan sistemlerinin (ÇAS) arızaya dayanıklı işbirlikçi kontrolünü (ADİK) incelemektedir (Yang, *vd.* 2019). Farklı arıza kategorilerine duyarlı ÇAS için ADİK'te daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır, çünkü aralıklı, başlangıç ve bileşik arızalar gibi tanımlanması zor bazı arızalar hala mevcuttur ve bu arızalar bu sistemler üzerinde ciddi etkilere sahip olabilir. Aktüatör arızaları olan doğrusal olmayan sistemlerde Takagi-Sugeno (T-S) bulanık sistemleri, bulanık mantık sistemleri, komut filtreli uyarlanabilir bulanık izleme ve sinir ağlarını kullanarak uyarlanabilir bir arızaya dayanıklı kontrol tekniği sunmaktadır (Shen, *vd.* 2017).

Arıza teşhis yöntemi ve tak-çalıştır (PnP) yeteneklerine sahip arızaya dayanıklı bir kontrol çerçevesi yöntemini tanımlamaktadır. Bu yöntem, arıza tespiti ve arızaya dayanıklı kontrol gerçekleştirirken önceden tasarlanmış kontrolü değiştirmeden gelişmiş izleme ve kontrol metodolojileri için güvenilirlik ve esneklik sağlamak amacıyla veri odaklı bir yaklaşıma dayanmaktadır. Veri odaklı arızaya dayanıklı kontrol tasarımının etkinliği, DC motor kıyaslama test sisteminde test edilmiştir ve doğrusal olmayan sistemler ve AŞ'lerde araştırılması gerekmektedir (Beheshtaein, *vd.* 2018).

PnP yeteneklerine sahip entegre bir şekilde arıza teşhis ve arızaya dayanıklı kontrol çerçevesi için bir yöntem tanımlanmaktadır (Aracil, *vd.* 2021). Bu yöntem, arıza teşhisi ve arızaya dayanıklı kontrolü gerçekleştirirken önceden tasarlanmış kontrolü değiştirmeden gelişmiş izleme ve kontrol metodolojileri için güvenilirlik ve esneklik sağlayan veri odaklı bir yaklaşıma odaklanmıştır. Veri odaklı arızaya dayanıklı kontrol tasarımının etkinliği, DC motor kıyaslama test sisteminde test edilmiştir ve doğrusal olmayan sistemler ve AŞ'lerde araştırılması gerekmektedir. Bir AC MŞ için sensör arızası tespit sistemi, gözlemci tabanlı kalıntı üretim yöntemi ve yinelemeli çevrimiçi model tahmini sunmuştur (Sardashti, *vd.* 2019). Arıza tespiti için gerekli kalıntıları sağlamak amacıyla, MŞ'nin ikincil kontrolü tarafından üretilen kontrol sinyalinin kullanarak temel bir doğrusal model tahmin eden bir gözlemci ilk olarak oluşturulmuştur. Önerilen tekniğin sen'ör sorunlarını hızlı bir şekilde tespit edebilme yeteneği sayesinde bir uyarı sinyali üretilebilir.

Sensörlerde, aktüatörlerde veya iletişim ağlarında meydana gelen arızalar durumunda güvenilirliği sağlamak için "federal-Kalman-filtre tabanlı arızaya dayanıklı kontrolör" önerilmiştir. Federal-Kalman filtresi, birkaç sensörden gelen ilgili verileri işlemek için birden fazla bağımsız Kalman filtresi kullanılmıştır. Ayrıca, bu Kalman filtresi arıza teşhisi ve sinyal yeniden yapılandırma yeteneği sağlamaktadır (Zeng, *vd.* 2018).

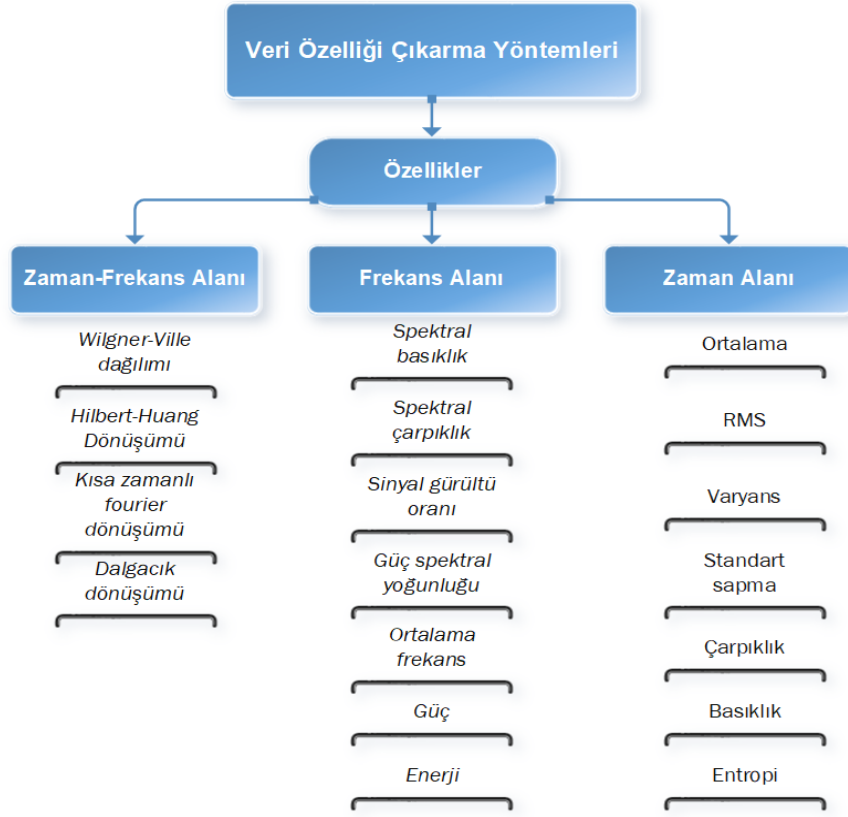
Durum makinesi yaklaşımına dayalı hibrit AC/DC MŞ'ler için arızaya dayanıklı bir üst denetleyici önerilmiştir (Hosseinzadeh, *vd.* 2016). Bu denetleyici, hibrit AC/DC MŞ'de arızaya dayanıklı ve optimal güç akışını gerçekleştirebilir. Ayrıca, güneş, rüzgar ve batarya sistemlerindeki farklı arızalara karşı üst denetleyicinin toleransını artırmak için bir prosedür önermiştir. Bu çözüm, hatalı koşullar altında maksimum kullanılabilir gücü belirleyebilir ve farklı arızalara karşı toleransını artırabilir ve etkinliğini kanıtlamak için donanımda döngü simülasyonlarında doğrulama gerektirir.

3.2.4. Arıza yerini belirleme için veri özellik çıkarımı ve arıza tespiti ve azaltılması için akıllı yöntemler

Arıza durumu sırasında sistem özelliklerinin ilgili özelliklerini tanımlamak ve çıkarmak, veri ön işleme sonrasında esastır. Bu özellik madenciliği, elde edilen arıza verilerinde doğru deseni tanımlamaya yardımcı olur. Literatürde, arıza tespiti ve konumlandırma için önerilen çeşitli veri özellik çıkarım yöntemleri bulunmaktadır ve bunlar zaman-domain yöntemleri, frekans-domain yöntemleri ve zaman-frekans-domain yöntemleri temelindedir. Arıza tespiti ve konumlandırma tekniklerinin bir özetini sunmakta ve özellik çıkarımı ve anomali tespiti için farklı yöntemleri açıklanmaktadır. Şekil 3.9 tartışılan yöntemleri göstermektedir (Malik, *vd.* 2022).

Ayrıca, özellik çıkarımı için doğru veri mevcut olduğunda, denetimli veya denetimsiz öğrenme algoritmaları arıza tespiti ve konumlandırma için kullanılmaktadır. MÖ, YSA, DNN öğrenme yöntemleri ve ÇAS, arıza teşhisi ve yer tespiti alanında daha popüler hale gelmiştir (Liang *vd.* 2022; Liu *vd.* 2019).

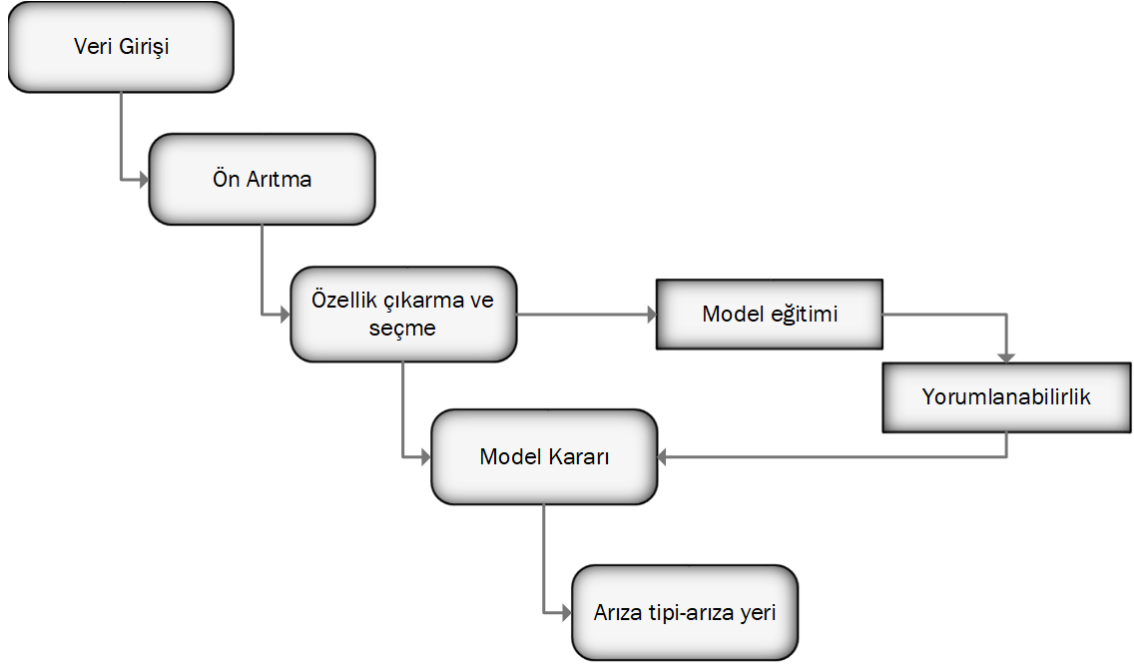
Arızayı yerleştirmek ve teşhis etmek için gri tonlamalı görüntüler ve ardından konvolüsyonel sinir ağları (CNN) ve LSTM kullanılmıştır. Bu yöntem, uzay aracı sisteminde uygulanmış ve uzay MŞ'lerinde arıza yer tespiti için bir çözüm olmalıdır. Önerilen yöntem, uzay aracından gelen yüksek boyutlu anormal arıza verilerini eşzamanlı olarak gri tonlamalı görüntülere dönüştürerek görüntü tabanlı arıza teşhisi için kullanılır ve arızanın meydana geldiği bileşeni tam olarak yerleştirir ve arıza türünü belirler. Bir CNN, doğrudan görüntülerden özellikleri çıkarabilir ve arıza teşhisi için hesaplama sürecini basitleştirebilir; LSTM, bir RNN (tekrarlayan sinir ağı) varyantı olup, desen arıza verilerinden öğrenebilir ve özellikleri çıkarabilir ve arıza sınıflandırmasını tamamlayabilir (Liang, *vd.* 2022).



Şekil 3. 11 Veri-özellik çıkarma yöntemleri

İnverter tabanlı dağıtık jeneratörlere dayalı aktif dağıtım ağında arıza ayrımı, konumu, izolasyonu ve hizmet geri yükleme için bir ÇAS ve büyük veri depolama ve madencilik teknolojisi önerilmiştir (Zhu, vd. 2016). ÇAS sistemi hizmet geri yükleme için kullanılır. Verileri işlemek için büyük veri platformu, dağıtık hesaplama, dağıtık depolama ve madencilik teknolojilerini kullanır. Bir özellik çıkarma modülü, voltaj ve akım serilerinden yerel özellikleri çıkarır ve ajanlar uzak özellikleri işler. Ardından, farklılaştırılmış bir işlem hem yerel hem de uzak özellikleri eşzamanlı olarak inceler. Son olarak, bir istatistiksel sınıflandırıcı, diferansiyel veya yerel özelliklere (arıza veya arıza değil) dayalı olarak karar verir. Mikroişlemci tabanlı röleler, bu yerel ve uzak elektriksel bilgileri kullanarak arıza ayrımını ve arıza konumunu gerçekleştirir. Arıza sınıflandırması için bir Radyo Frekans algoritması kullanılmıştır. Bu yöntem, arıza işleme süresini azaltabilir ve sistem güvenilirliğini artırabilir. Bina elektrik sistemlerinde arıza teşhisi için optimize edilmiş bir yöntem önerilmiş ve bu yöntem, radyal baz fonksiyonu (RBF) ve geri yayılım (GY) sinir ağına dayanmaktadır (Liu, vd. 2019). Arıza bilgisi bulanık c-means kullanılarak kümelenir ve arıza gelecek veri madenciliği tekil değer ayrıştırma

kullanılarak yapılır. RBF-GY, kümelmiş arıza verilerine dayalı olarak arızaların hangi sınıflandırmaya atanacağına karar verir. Bu teknik, bina elektrik sistemlerinde arıza teşhisinin güvenilirliğini artırır ve gerçek zamanlı bir simülasyonda incelenmelidir. Şekil 3.12, AŞ'lerin arıza teşhisi için önerilen makine öğrenimi yöntemleri akış şemasını göstermektedir (Xu vd. 2022; Liu vd. 2019).



Şekil 3. 12 MÖ arıza teşhis yöntemlerinin akış şeması

Hata tespiti için akıllı koruma teknikleri uygulanmıştır. Hata yerini belirlemek için, LSTM ağları ve ampirik dalgacık dönüşümleri kullanılmaktadır (Bukhari, vd. 2022). Hata senaryolarında hesaplama karmaşıklığını azaltmak ve hata yer tespitinde gerçek zamanlı veri işleme sağlamayı amaçlayan KNN algoritması ve K-means algoritmasına dayalı hibrit bir kümeleme algoritması önerilmiştir (Jiang, vd. 2012). Mikro şebekelerde yüksek empedanslı hataların yerini belirlemek için “birleşik ampirik mod ayrıştırma tekniği” ve “adaptif çok çekirdekli aşırı öğrenme makinesi” adı verilen gürültü tabanlı bir ayrıştırma tekniği önerilmiştir (Sarangi, vd. 2022). Topluluk ampirik mod ayrıştırması tekniği, hata akımını ayrıştırmak ve diferansiyel enerji profilini hesaplamak için akım genlik sinyalini çıkarmak amacıyla kullanılır. Elde edilen özellikler, veri matrisi oluşturmak için kullanılır ve adaptif çok çekirdekli aşırı öğrenme makinesi, farklı topolojiler, bağlantılar ve dağıtık üretim varyasyonları ile MŞ’lerde yüksek empedanslı hataların yerlerinin belirlenmesinde uygulanır. Bu yöntem, hata yer tespiti için verimli ve

güvenilir sonuçlar sağlar; ancak performansının görülmesi için daha büyük bir sistemde uygulanması gerekmektedir.

3.2.5. Alçak gerilim ve DC akıllı şebekelerde hata yeri tespitine dayalı yöntemler

Alçak Gerilim Doğru Akım sistemlerinde, hata koruma stratejisinin ana zorluğu, DC MŞ bileşenlerinin özellikle bozulmalara ve hatalara duyarlı olması nedeniyle, hataları hızlı bir şekilde tespit etmek, yerini belirlemek ve izole etmektir (Augustine, *vd.* 2018). Kısa devre hatalarını tanımlamak ve yerini belirlemek için birçok koruma stratejisi uygulanmış olup, yerel, ölçüme dayalı koruma algoritmalarına ve hata göstergesi ölçümlerinin entegrasyonuna odaklanılmıştır. Sistemin hata davranışını analiz etmek ve bir koruma algoritması geliştirmek için hata gösterge setlerini ve bunların eşiklerini elde etmek amacıyla sayısal bir hesaplama yöntemi önerilmiştir (Hallemans, *vd.* 2022). Bu koruma algoritmasının, direk-direk orta nokta kısa devre hataları dışında, çeşitli şebeke topolojilerinde veya koşullarında hala test edilmesi gerekmektedir. DC MŞ'lerde hata tespiti amacıyla, voltaj ve akımın yerel ölçümlerine dayalı eşik tabanlı bir koruma yöntemi önerilmiştir (Nougain, *vd.* 2020). Önerilen yaklaşım, sistemin kurulu IED'leri tarafından tespit edilen $i-r$ düzleminde bir eşik ihlaline dayanarak ilgili devre kesici için bir açma sinyali üretmeye dayanmaktadır. Bu yöntem, haberleşme destekli s'nyallerin yardımı olmadan, koruma şemasının güvenilirliğini, güvenliğini ve hızını ($t = 0.500$ s) garanti etmektedir.

3.2.6. Dayanıklı güç üretimini iyileştirmek için hata konumlandırma yöntemleri

Hatalardan bahsettiğimizde, şebeke genelinde meydana gelen çeşitli kısa devreleri kastediyoruz. Hata bulma teknikleri, hızlı ve kesin bir şekilde şebeke içindeki bir arızanın tam yerini tespit edebilmelidir; böylece hizmeti yeniden sağlamak, arzın sürekliliğini sağlamak ve kalite güvencesi sağlamak mümkün olur. Dayanıklılık, dış kaynaklı başarısızlık olaylarına, doğal afetlerden, aşırı hava koşullarından ve insan kaynaklı saldırılara kadar, öngörebilme, tepki verebilme ve bu tür olaylardan kurtarılabilme kapasitesidir çünkü elektrik sistemlerinin güvenilirliğini artırmak hiç olmadığı kadar önemlidir.

İklim değişikliğinin etkisiyle doğal afetlerin sıklığı ve şiddeti artması öngörülmektedir (Dokken, *vd.* 2012). Bu sürekli değişen çevrede, güç sistemlerinin bu gibi aşırı olaylara dayanacak şekilde tasarlanması ve işletilmesi, arz kalitesini koruyarak kesintileri en aza indirgeyen ve bu olaylardan kurtulabilen bir şekilde olmalıdır. Dayanıklı bir güç sisteminin temel unsurları çeşitli anlamlara sahiptir. Dayanıklılığın temel unsurları sağlamlık, kaynak kullanımı, hızlı kurtarma ve esnekliktir ve bunlar tüm temel altyapılara uygulanır (Berkeley, *vd.* 2010).

- Hızlı kurtarma: Felaket sonrası acil durum planları, acil operasyonlar, mümkün olan en kısa sürede normal işleyişe dönme;
- Sağlamlık: Yüksek etkili nadir olaylara dayanıklı bir şekilde işletmeye devam etme;
- Kaynak kullanımı: Felaketin gelişimi sırasında etkili bir şekilde yönetme, hasarı kontrol etmek ve azaltmak için seçenekleri tanımlama ve önceliklendirme (Berkeley, *vd.* 2010);
- Esneklik: Ani ve geçici olaylara uyum sağlama kapasitesidir (Golden, *vd.* 2000), yük ve üretimdeki değişimleri hızlı ve etkili bir şekilde ele almak için kaynakları tahsis etme (Munshi, *vd.* 2017).

Dayanıklı kritik altyapının ana özellikleri direnç, güvenilirlik, yedeklilik ve yanıt ve iyileşme olarak sıralanabilir (Quitana, G., *vd.*, 2020).

- Direnç: olası tehditlere dayanmak için kendinizi güçlendirerek zarardan veya kesintiden korunma;
- Yedeklilik, normal işleyiş yedek kurulumlar veya ek kapasite kullanarak değiştirme olanağı sağlar, güvenilirlik ise sistemin ve bileşenlerinin çeşitli koşullar altında doğru bir şekilde çalışması için doğru bir şekilde inşa edildiğinden emin olur;
- Yanıt ve iyileşme, acil durum önlemleridir.

3.2.7. Meteorolojik faktörleri dikkate alan hata konumlandırma yöntemleri

Güç sistemlerinde kullanılan hata konumlandırma tekniklerinin bir listesi aşağıda verilmiştir. Bu teknikler, hibrit, seyahat-dalga, bilgi tabanlı ve empelans tabanlı teknikleri içerir (Sauer, *vd.* 1997).

3.2.7.1. Empedans tabanlı yaklaşımlar

Empedans tabanlı yaklaşımlar, hata konumunu belirlemek için temel frekansta gerilim ve akım ölçümlerini ağ topolojisi ve elektrik bilgisiyle birlikte kullanır.

3.2.7.2. Seyahat dalgası yöntemleri

Seyahat-dalga teknikleri, yüksek frekanslı bileşenler ve hassas zamansal veriler kullanılarak hata yerini belirler.

3.2.7.3. Bilgi tabanlı yöntemler

Bu yaklaşım, nicel veya nitel olarak kategorize edilebilecek olup, hata durumlarının temelindeki bilgiyi çıkarmak için önemli miktarda tarihsel veriye dayanır. Aktarım sistemleri gibi, AŞ'ler için problem tespiti algoritmalarını geliştirirken meteorolojik çevrenin bilgi kaynağını hesaba katmak önemlidir (Chen, *vd.* 2021).

İklim koşullarını dikkate alan bir bilgi tabanlı hata teşhisi tekniği önerilmiştir (Chen, *vd.* 2021). Tayfunlar, kar, rüzgar, buz yağmuru ve dolu, bilgi tabanlı yöntem tarafından dikkate alınan meteoroloji yönlerinin sadece birkaç örneğidir. Bu teknik, SCADA sisteminin zamansal sıra verilerini, koruma cihazlarından gelen eylem mesajlarını ve hava durumu verilerini kullanarak arızaları belirlemiştir. Bu yaklaşım, aktarım ağlarında hata teşhisi için etkili ve verimlidir, ancak dağıtım ağlarında felaket meteorolojik olaylar için hata olayları ve kendini iyileştirme teknikleri için doğrulanması gerekmektedir.

4. DEPOLAMA TEKNOLOJİLERİ VE FREKANS DENGESİ

Enerji depolama sistemlerinin (EDS) frekans dengesi hizmetleri için kullanılması, birincil frekans düzenlemesi ve yük frekans kontrolü (LFC), özellikle aralıklı RES'lerin yüksek penetrasyonu ile son zamanlarda hem akademide hem de endüstride çok fazla ilgi görmüştür. EDS, frekanstaki azalmaya/artışıya yanıt olarak şebekeye dinamik olarak güç enjekte ederek/çekerek frekans dengesi sağlar. EDS, mevcut geleneksel ağ varlıklarının hizmetlerinden daha iyi performans gösteren hızlı frekans dengesi hizmetleri sağlar. Farklı özelliklere, operasyonel gereksinimlere ve sınırlamalara sahip saniyenin kesirlerinden saatlere kadar yedekleme sunan çeşitli EDS tipleri mevcuttur. Bu çalışmada elektrikli araçlar enerji depolama aygıtı olarak kullanılmıştır. Frekans dengesi, tasarlanan modelde, kesinti ve arıza sırasından devreye giren batarya modeli vasıtası ile sağlanmaktadır.

4.1. Güç Sistemleri Depolama Teknolojileri

EDS, üretilen elektrik enerjisinin, tüketilmediğinde depolanmasını ve gerektiğinde kullanılmasını sağlayan teknolojilerdir. Bu sistemler, enerjinin daha verimli kullanılmasına, CO₂ emisyonlarının azaltılmasına, şebeke kararlılığının artırılmasına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunun kolaylaştırılmasına yardımcı olur.

EDS, genel elektrik sistemleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir; aşırı talep nedeniyle iletim hattının tıkanıklığı ve kesintisi sonucunda gücü sürdürmek ve artırmak için sürekli ve esnek bir güç kaynağı sağlar. Ayrıca, bir EDS, doğal afetler nedeniyle yaşanan güç krizleri sırasında tüketicilere güvenilir hizmetler sunar ve enerji depolamak için düşük maliyetli olan boş saatlerde enerji depolayarak talep zirvesini desteklemek için elektrik fiyatlarını düşürür (Hannan, *vd.* 2017)

Gerekli şebekeye bağlı olsalar bile, yenilenebilir enerji kaynakları aralıklı kesintilere daha dayanıklı olmak için diğer enerji kaynaklarıyla birleştirilirler. Hibrid enerji sistemleri uzaktan kapamalı şebeke kurulumları için kesinlikle gereklidir. Popüler kullanımları arasında fosil yakıtlı jeneratörler, bataryalar, volanlar, süper kapasitörler ve basınçlı hava sistemleri gösterilebilir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanımı daha yararlı bir enerji üretimiyle alakalı olduğundan dolayı çevresel etkileri bir hayli önemlidir. Elektrik şebekesine paralel bağlanmış bir hidrojen ağı, yenilenebilir enerji kaynaklarının

direkt olarak hidrojen ve yakıt hücrelerini taşınabilir depo olarak kullanabilmesiyle gelişmiş bir depolama sistemi olarak görünebilir (Kabalcı, vd. 2021).

Bu sistemler;

I. Piller: Pil bankı yaygın olarak uzak PV sistemlerinde kullanılır ama aynı zamanda rüzgar türbini sistemlerindeki gibi DC bağlantısı görünen yerlerde de kullanılabilir. Uzak PV uygulamalarında, batarya günlerce ya da daha uzun sürelerde enerji sağlayacak ebattadır. Verimli bir enerji kaynağı olarak, pil ara yüzü güç dönüştürücü ya da bir motor/jeneratör seti olabilir. Kurşun asitli piller düşük maliyet ve yüksek modüler özelliği kanıtlanmış bir teknolojidir. Ancak sahip oldukları yüksek başarısızlık oranı ile çevre sorunları, sodyum nikel klorür kimyasına dayalı gibi yeni deneysel piller üzerine çalışılmasına yol açmıştır; ancak, bu tür piller de daha pahalıdır ve daha yüksek kendi kendine deşarj oranlarına sahiptirler.

II. Volanlar: Volanlar ya düşük hızlı (yüksek kütle) ya da yüksek hızlı (düşük kütle) olabilir. Uzun süreli uzay uygulamalarında volan enerji sistemleri gücü daha düzgün bir forma dönüştürmek için kullanılır. Bir elektro mekanik sistemi elde edilen enerji yeterli olduğunda mekanik enerjiyi depolamak için volanı kullanır. Bataryalardan (pillerden) farklı olarak; piller kimyasal reaksiyon oranları ve çevresel etkiler ile sınırlandırılmışken volan sistemleri depolanmış kinetik enerjiyi hızlı bir şekilde çevreden bağımsız yönetir. Elektro mekanik sistemlerin güç oranları, ilişkili güç elektroniği ve gürültü volanların başlıca sınırlayıcı faktörlerindedir

III. Süper kapasitörler: Ayrıca ultra kapasitörler olarak da bilinen bu düşük gerilimli cihazlar yeterli gerilimi sağlamak için hücrelerin sistemlerinden yararlanır. Kapasitörlerin avantajları: hızla sarj ve desarj olabilmeleri, diğer kaynakların entegrelerine yardımcı olmaları ve anlık güç üretiminde bir kaynak olabilmesidir. Süper kapasitörler düşük çevresel etkilenmelere ve çok yüksek güç yoğunluğuna sahiptirler, ancak dengeleme problemleri mevcuttur.

IV. Basınçlı hava sistemleri: Bu sistemler yeraltında saklanabilir bir akışkan içinde bir kompresör aracılığıyla enerji depolarlar. Basınçlı hava sistemleri çok uzun bir kullanım ömrü ve düşük çevresel etkiye sahiptir ve bu onları yenilenebilir enerji kaynakları için uzun vadeli bir çözüm adayı yapar. Ancak, sistemin karmaşıklığı basınçlı hava sistemlerini hala küçük güç dağıtılan kaynak sistemleri için bir pratik çözüm olmaları ile sınırlar.

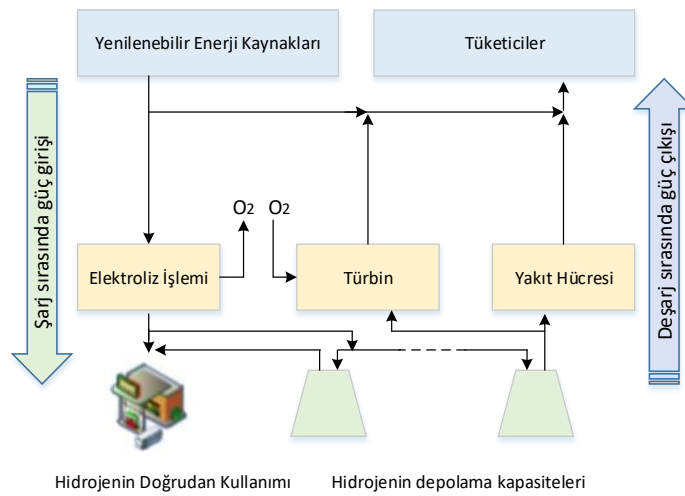
Enerji depolama yöntemleri çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Bazıları belirli uygulamalar için uygun şekilde seçilebilirken, bazıları ise daha geniş çerçevelere uygulanabilir. Gelecekte enerji depolama yöntemleri ve teknolojileri sektörüne yoğun bir şekilde dahil edilmesi beklenmektedir. Başarı parametresi, uygulamayı teknolojiyle eşleştiriyor olabilir. Enerji araştırması beş ana uygulama grubunda gerçekleştirilmektedir (Elektrik tedarik uygulamaları, Yan hizmetler, şebeke destek uygulamaları, yenilenebilir enerji entegrasyon uygulamaları). Dönüştürülen enerji biçimi, enerji depolama sistemlerinin sınıflandırılmasını büyük ölçüde belirler. Enerji depolama sistemleri kimyasal, elektrokimyasal, elektrik, mekanik ve termal enerji depolama gibi 5 ana kategoriye ayrılabilir (Kabalcı, *vd.* 2021).

4.1.1. Kimyasal enerji depolama sistemleri

Kimyasal enerji, sadece kimyasal reaksiyonda salındığında görülebilen atomların ve moleküllerin kimyasal bağlarında depolanır. Kimyasal enerjinin serbest bırakılmasından sonra, madde genellikle tamamen farklı bir maddeye dönüşür. Kimyasal yakıtlar hem elektrik üretiminde hem de enerji naklinde baskın enerji depolama biçimidir. İşlenen en yaygın kullanılan kimyasal yakıtlar kömür, benzin, dizel yakıt, doğal gaz, sıvılaştırılmış petrol gazı, propan, butan, etanol, biyodizel ve hidrojenidir. Bahsedilen bu kimyasalların tümü, ısı taşıyıcı olarak ısı motorları kullanılarak serbestçe termal ve mekanik enerjiye ve sonra elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. Öte yandan, depolanan kimyasal enerji, doğrudan elektrik üretimi için elektron transfer reaksiyonları yoluyla serbest bırakılabilir. Kimyasal enerji depolama, büyük miktarlarda enerjinin depolanması ve daha uzun süreler için oldukça uygundur.

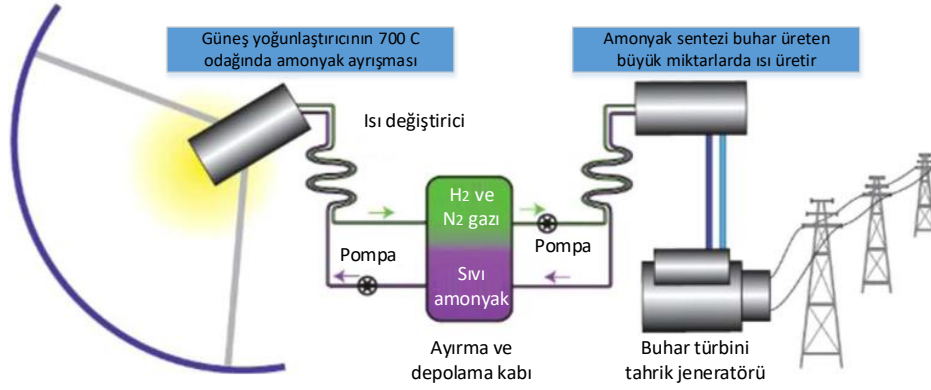
Kimyasal enerji depolama sistemlerinde, ikincil enerji taşıyıcıları olarak hidrojen ve sentetik doğal gaz üzerine odaklanmaktadır. Elektrik enerjisinin büyük miktarlarda depolanması üzerinde önemli etkileri olabilir. Hidrojen ve sentetik doğal gazdan başka, biokütleden türetilen yakıtlar kimyasal enerji depolama yöntemleri olarak dikkate alınabilir. Geleneksel kimyasal yakıtlara ek olarak, amonyak sistemi gibi sorpsiyon ve termo kimyasal reaksiyonları içeren yeni kimyasal ve termo kimyasal enerji depolama teknolojileri hakkında bazı çalışmalar bulunmaktadır. Termo kimyasal enerji depolamada, bir ayrışma reaksiyonundan sonra enerji depolanır ve daha sonra kimyasal olarak ters bir reaksiyonda geri kazanılır.

Hidrojen temiz, bol miktarda ve toksik olmayan yenilenebilir bir yakıt ve enerji taşıyıcı bir malzemedir. Hidrojen, yaygın olarak kullanılan bir endüstriyel kimyasaldır, termolizler ve elektrolizler, fosil yakıtların yeniden düzenlenmesi, biyokütlenin gazlaştırılması, metanol, vb. herhangi bir birincil enerji kaynağından üretilir. Yanma reaksiyonundan sonra emisyon olarak sadece su buharını doğaya salmaktadırlar. Hidrojenin kimyasal enerjisi, diğer hidrokarbon bazlı yakıttan daha yüksek olan 142 kJ/kg'dır. Hidrojen, yanma türbinlerini veya yakıt hücrelerini, yakıt hücreli hidrojen arabalarında veya özel içten yanmalı motorlarda veya ısı üretimi için kullanılabilir. Hidrojen enerji depolama sisteminin şematik bir diyagramı Şekil 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4. 1 Hidrojen enerji depolama sistemi

Termo-kimyasal enerji depolama, bir termo kimyasal maddenin (C) kimyasal olarak iki bileşene (A ve B) dönüştürülmesi için ısı enerjisini emdiği tersinir bir reaksiyona dayanır. Bu bileşenler (A ve B) tekrar birleştirilirse ters reaksiyon mümkündür, böylece C yeniden düzenlenir. Bu birleştirme reaksiyonu sırasında enerji açığa çıkar. Amonyak bazlı termal enerji depolama sisteminde (Şekil 4.2), sıvı amonyak (NH₃), güneş termal enerjisini emdiği için enerji depolayan (endotermik) bir kimyasal reaktörde ayrıştırılır. Daha sonra, gaz (hidrojen) (H₂) ve azot (N₂) ürünleri, amonyağı yeniden sentezlemek ve depolanan güneş enerjisini geri kazanmak için enerji serbest bırakan (ekzotermik) bir reaktörde talep üzerine reaksiyona sokulur (Kabalıcı, vd. 2021).



Şekil 4. 2 Amonyak bazlı güneş termo kimyasal enerji depolama

4.1.2. Elektrokimyasal enerji depolama sistemleri

Elektrokimyasal güç kaynakları kimyasal enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Bu işlem sırasında en az iki reaksiyon ortağı kimyasal bir işleme tabi tutulur. Bu reaksiyonun enerjisi, tanımlanan bir voltaj ve zamanda elektrik akımı olarak mevcuttur. Elektrokimyasal piller ve elektrokimyasal kapasitörler olarak elektrokimyasal depolama teknolojilerinin iki ana dalı vardır. Mevcut elektrokimyasal depolama sistemleri, kimyasal reaksiyonun doğasına, yapısal özelliklere ve tasarıma göre değişir.

Elektrokimyasal hücreler ve piller çalışma prensibine göre dört kategoride sınıflandırılabilir; birincil hücre veya pil, ikincil hücre veya pil, yedek hücre ve yakıt hücresi. Birincil pil genellikle şarj edilemez. Birincil hücrelerin çoğunda emici malzeme veya bir ayırıcı içinde bulunan elektrolitler kullanılır. Sulu ve susuz olarak elektrolit tipi birincil pilleri kategorize edebilir. Sulu piller su bazlı elektrolit çözeltileri içerir. Sulu elektrolitli piller arasında Leclanche Zinc-Carbon ve Zinc-Chloride, Alkaline Zinc Manganese Dioxide, Zinc-Air, Zinc-Silver Oxide ve Zinc MercuricOxide bulunur.

İkincil bir hücre veya akü deşarj sırasında akımın devreden aksi yönde akım geçirilmesiyle şarj edilebilir. Şarj edilebilir pil sistemleri elektrolit tipine göre iki gruba ayrılabilir. Sırasıyla suya ve çözücülere dayanan hem sulu hem de susuz elektrolitlere sahiptirler. Sulu Elektrolitli Piller arasında Kurşun Asit, Nikel-Kadmiyum, Nikel-Metal Hidrit ve Alkalın Çinko-Manganez Dioksit, Noniyonik Elektrolitli Piller arasında Lityum İyon, Lityum Metal, Metal Hava, Sodyum Kükürt ve Sodyum Nikel Klorür bulunur.

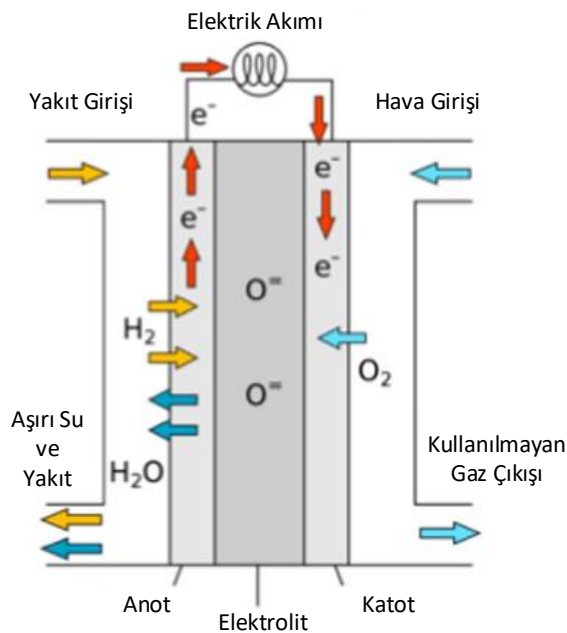
Yedek hücre veya pil bir tür birincil pildir. Yedek piller genellikle uzun süreli saklama için kullanılır. Hücrenin aktif kimyasalları gerekene kadar ayrılır ve izole edilir. Yedek aküler elektrolit olmadan monte edilir. Tamamen aktifleştirilmiş hücrelerin

performansını tehlikeye atacak çeşitli olumsuz koşullar altında güvenilir bir şekilde saklanabilirler. Pilin eksik elemanı kullanılmadan önce eklenebilir (Kabalcı, vd. 2021).

Yakıt hücreleri, yakıtın gizli kimyasal enerjisini serbest bırakmak ve elektrik üretmek için dönüştürmek için esas olarak hidrojenin veya başka bir yakıtın kimyasal enerjisini kullanan elektrik üretim cihazlarıdır. Yakıt pilleri piller gibi çalışır. Ancak bunlar tükenmez veya yeniden şarj edilmeleri gerekmez, yakıt sağlandığı sürece elektrik ve ısı da üretir. Bir yakıt hücresi bir anot, bir katot ve bir elektrolit zarından oluşur. Bir yakıt hücresi, hidrojeni bir yakıt hücresinin anodundan geçirerek ve oksijeni katottan geçirerek çalışır Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Hidrojen molekülleri anot bölgesinde elektronlara ve protonlara ayrılır. Protonlar elektrolit membrandan geçerken, elektronlar bir devre boyunca zorlanır, bir elektrik akımı ve aşırı ısı üretir. Protonlar, elektronlar ve oksijen, katot bölgesinde su molekülleri üretmek için birleşir.

Temel olarak elektrolit tipi yakıt hücresini şu şekilde sınıflandırır:

- Polimer elektrolit membran yakıt hücreleri
- Direkt metanol yakıt hücresi,
- Alkalin yakıt hücresi,
- Fosforik asit yakıt hücresi,
- Erimiş karbonat yakıt hücresi,
- Katı oksit yakıt hücresi,
- Tersinir yakıt hücresi.



Şekil 4.3 Tipik yakıt hücresinin çalışma prensibi

4.1.3. Elektrik enerji depolama sistemleri

Elektrik enerji depolama sistemleri, kapasitörler ve süperkapasitör ve manyetik/akım enerji depolama sistemi dahil elektrostatik olarak sınıflandırılabilir. Elektrik enerjisi depolama sistemleri bazı durumlarda kullanılabilir. Kapasitörler, yüksek akım durumunda, ancak nispeten düşük kapasitans üretimleri nedeniyle sadece çok kısa süreler için kullanılabilir. Süper kapasitör, küçük bir pakette çok yüksek kapasitans sunması dışında normal bir kapasitörün yerini alabilir. Süper iletken manyetik enerji depolama sistemleri, çıkışı stabilize etmek için enerji santrallerinin çıkışında veya enerji tüketimindeki zirveleri karşılamak için kullanılacakları endüstriyel alanlarda tercih edilebilir.

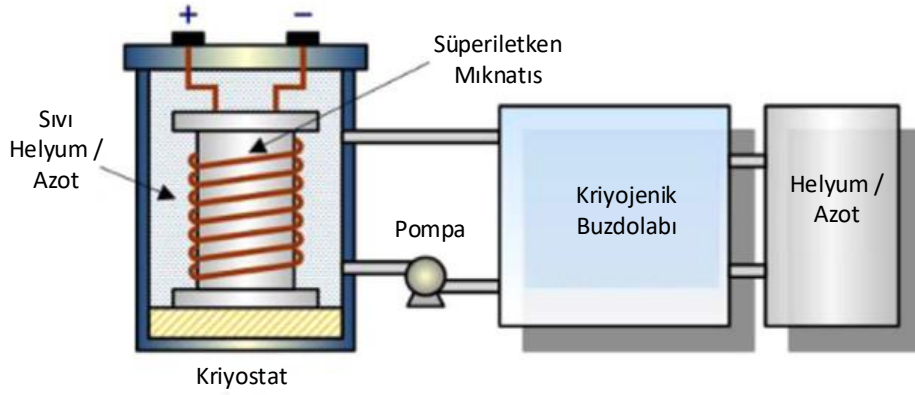
Kondansatörler elektriği depolamanın en doğrudan yöntemidir. Bir kapasitör, dielektrik adı verilen iletken olmayan bir tabaka ile ayrılmış iki metal plakadan oluşur. Bir plakaya doğru akım kaynağından elektrik yüklendiğinden, diğer plakaya karşı işaretin yükünü indükleyecektir.

Metalize plastik film veya metal elektrotların yüzeylerinde enerji depolarlar. Kondansatörlerin enerji yoğunluğu çok düşük olduğundan, yüksek akımlar verebilir veya kabul edebilirler.

Süperkapasitör, elektrokimyasal çift katmanlı kapasitörler, elektronikte kullanılan klasik kapasitörler ile genel piller arasındaki boşluğu doldurmaktadır. Süperkapasitörler molekül-ince bir elektrolit tabakası kullanır ve çok geniş yüzey alanı aktif karbon yapısına sahiptir. Geleneksel kapasitörlerle karşılaştırıldığında, süper kapasitörlerin enerji depolama kapasitesi oldukça yüksektir. Süper kapasitörlerin enerji depolaması, statik şarj ile elektrokimyasal akü sisteminden farklıdır. Süper kapasitörler, elektrotlar arasında katı bir dielektrik düzenlemesinin daha yaygın düzenlenmesinden ziyade, iki katı iletken arasındaki bir elektrolit çözeltisi yoluyla enerji depolar. Ayrıca, yüksek pik güç çıkışı sağlayabilirler, hasarsız olarak milyonlarca kez şarj edilebilir ve deşarj edilebilirler (Kabalıcı, vd. 2021).

Süperiletken Manyetik Enerji Depolama sistemleri elektrodinamik prensibine göre çalışır. Enerji, süper iletken kritik sıcaklığının altında tutulan süperiletken bir bobindeki doğru akım akışı tarafından oluşturulan manyetik alanda depolanır. Süperiletken malzeme kriyojenik olarak soğutuldu ve depolanan enerji, bobin boşaltılarak

ağa geri bırakılabilir. Süper iletken manyetik enerji depolama sisteminin yapısal görünümü Şekil 4.4 'te verilmiştir.

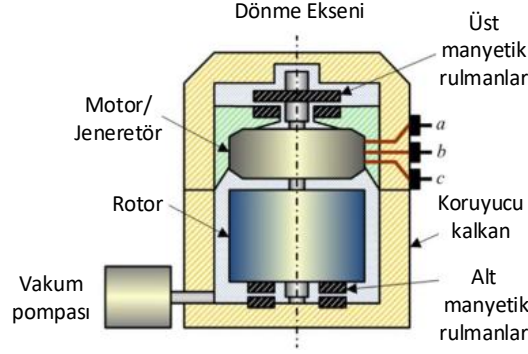


Şekil 4. 4 Süperiletken manyetik enerji depolama sisteminin yapısal görünümü

4.1.4. Mekanik enerji depolama sistemleri

Mekanik enerji depolama, çalışma prensibi ile şu şekilde sınıflandırılır: basınçlı gaz, cebri yaylar, kinetik enerji ve potansiyel enerji sistemleri. Mekanik enerji depolamanın en kullanışlı avantajı, mekanik işler için gerektiğinde enerjiyi kolayca verebilmeleridir. Mekanik enerji depolama yöntemleri, su akımı, dalga ve gelgit kaynaklarından gelen enerjiyi dönüştürmek ve depolamak için kolayca uyarlanabilir. Esas olarak volan, pompalanan depolama ve basınçlı hava depolama teknolojilerinden oluşur.

Manyetik olarak havalandırılmalı rulmanlar tarafından stator üzerinde desteklenen devasa bir döner silindir (bir şaftta tutturulmuş bir jant), çoğu modern yüksek hızlı volan enerji depolama sisteminin ana parçasıdır. Volan sisteminin ana görünümü Şekil 4.5'te verilmiştir. Bir volan, enerjiyi çok yüksek hızlarda rotor kütle eğirme hareketinin kinetik enerjisi olarak mekanik olarak depolayabilir. Depolanan bu enerji, volanın yavaşlayan bir torkla yavaşlatılması ve kinetik enerjinin jeneratör olarak kullanılan elektrik motoruna döndürülmesi ile yeniden kullanılabilir. Volan ne kadar hızlı dönerse o kadar fazla enerji depolar. Volanlar yüksek hız ve düşük hız olarak sınıflandırılabilir. Demiryolu hatlarının elektrikli olmayan bölümleri boyunca hareketi garanti etmek için elektrikli lokomotiflerde enerji depolamak için kullanılmıştır. Demiryolu tarafında volanların statik aküler olarak kullanılmasına ilgi artmaktadır. Elektrik akımı beslemesini lokomotiflere stabilize etmek ve aynı zamanda fren yaparken elektrik hatlarına beslenen enerji lokomotiflerini depolamak için kullanılabilirler (Kabalcı, vd. 2021).



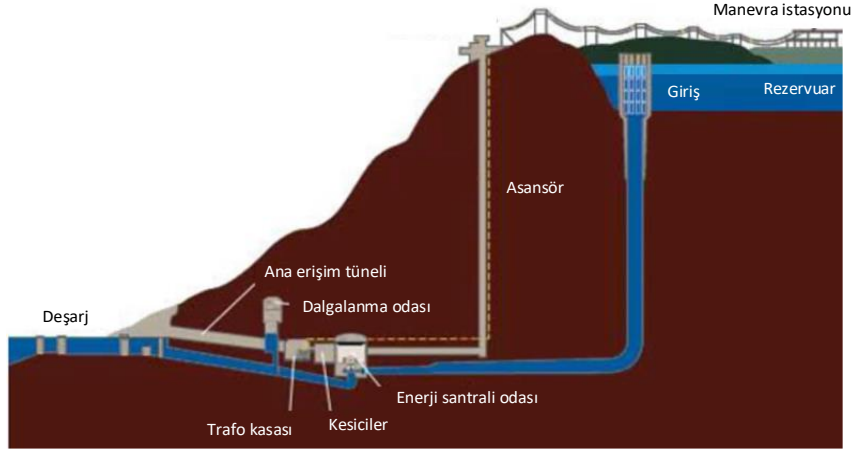
Şekil 4. 5 Volan enerji depolama sisteminin ana görünümü

Pompaj depolama sistemleri, yüksek ve yoğun talebi telafi etmek için suyu farklı yüksekliklerde iki rezervuar arasında hareket ettirerek depolar ve enerji üretir, Şekil 4.6 Pompaj hidro enerji depolama sistemleri ile su ile büyük ölçekli enerji depoları oluşturmak mümkündür.

Pompaj depolama, rüzgar, güneş ve dalga gücü gibi yenilenebilir güç kaynaklarının değişkenliğini sağlamlaştırmak için uygulanmaktadır. Pompaj depolama, yüksek üretim ve düşük talep zamanlarında aşırı üretimi (veya negatif yükü) emebilir ve yoğun talep dönemlerinde depolanan enerjiyi serbest bırakabilir. Pompaj bir depolama tesisinde, pompa türbinleri yoğun olmayan saatlerde suyu yüksek bir depoya aktarır. Depolanan su daha sonra tüketicilerin talep ettiği geçici zirveleri veya diğer enerji santrallerindeki plansız kesintileri karşılamak için elektrik üretmek için kullanılabilir.

Pompaj depolama alanı daha fazla üç ana kategoriye ayrılmıştır:

- Kapalı devre: her ikisi de başka bir su kütleline bağlı olmayan, dikey bir mesafe ile ayrılmış iki rezervuardan oluşur.
- Yarı açık: bir yapay veya modifiye edilmiş rezervuar ve bir sürekli modda göl veya nehir su tutulmasından oluşur.
- Açık sistem (geri pompalama), hem üst hem de alt rezervuardan sürekli su akışının olduğu bir sistemdir.

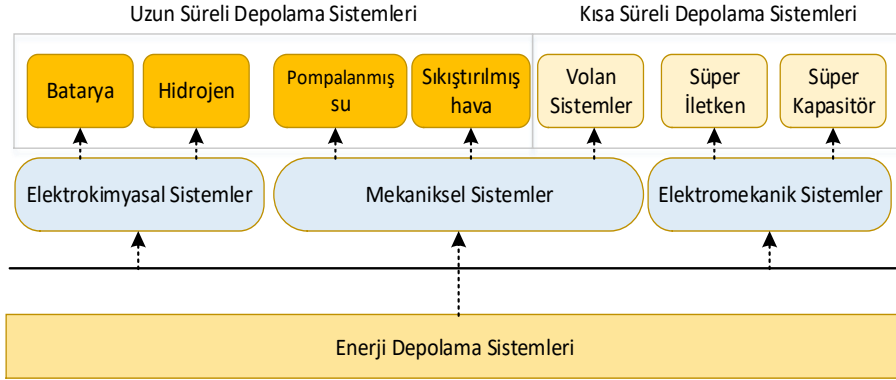


Şekil 4. 6 Pompaj depolama sistemlerinin şematik görünümü

Öncelikli olarak yüklere kesintisiz bir enerji sağlamak için Enerji Yöneticisi Modülünün pil, volanlar ve ultrakapasitörler gibi enerji depolama cihazlarının çalışmasını kontrol etmesi gerekir. Aslında, Mikro şebekenin başarılı bir şekilde çalışması, olasılık ve olasılıklar sırasında depolama cihazlarının düzgün çalışmasına ve kontrolüne bağlıdır. Bununla birlikte, bu cihazlar sadece yerel veri yollarındaki gerilim düşüşlerini telafi etmek veya gerçek elektrik kesintileri sırasında yedek güç kaynağı olarak kullanılır ve saatlik enerji ihtiyacını telafi etmek veya pik yükleri dengelemek için kullanılır. Bazı mikro kaynaklar düşük atalet veya geçiş kabiliyetine sahip olduğundan, bu depolama cihazları ayrıca dağıtım sistemi, motor çalıştırma veya diğer kısa süreli aşırı yükler sırasında, özellikle de tek başına çalışma için mikro kaynakların desteklenmesine yardımcı olur (Kabalıcı, vd. 2021).

Enerji depolama teknolojileri genel olarak mekanik, elektrokimyasal ve elektromanyetik depolama olmak üzere üç başlık altında incelenebilir. Mekanik enerji depolama teknolojileri, pompalanmış su tabanlı enerji depolama sistemleri, sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemleri ve volanları içermektedir. Elektrokimyasal enerji depolama teknolojileri, batarya ve hidrojen tabanlı enerji depolama sistemlerini barındırmaktadır. Elektromanyetik enerji depolama teknolojileri ise süper kapasitörlerin ve süper iletken manyetik enerji depolama sistemlerinin bulunduğu grubu temsil etmektedir. Enerji depolama teknolojileri, birkaç saniyeden birkaç güne kadar değişen geniş bir yelpazede enerji sağlayabilmektedir. Bu açıdan bakıldığında enerji depolama sistemleri, Şekil 4.7'de gösterildiği gibi kısa süreli ve uzun süreli enerji depolama sistemleri olarak sınıflandırılabilir. Her bir enerji depolama teknolojisi, Tablo-1'de

belirtildiği gibi maliyet, güç, tepki süresi ve depolama kapasitesi gibi kriterler göz önünde bulundurulduğunda belirli özelliklere sahiptir (Kabalıcı, vd. 2021).



Şekil 4. 7 Kısa ve Uzun süreli enerji depolama teknolojilerinin sınıflandırılması

Çizelge 4. 1 Enerji depolama sistemlerinin avantaj ve dezavantajları

Depolama Teknolojisi	Avantajı	Dezavantajı	Kullanım Alanı
Pompalanmış su tabanlı depolama	Yüksek kapasite, düşük birim enerji maliyeti	Büyük ve özel alana ihtiyaç olması	Zaman kaydırma enerji uygulamaları, Büyük güçlü yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu
Sıkıştırılmış hava tabanlı depolama	Yüksek kapasite, düşük birim enerji maliyeti	Büyük yeraltı alanına ihtiyaç olması, ek yakıt maliyeti	Zaman kaydırma enerji uygulamaları, Büyük güçlü yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu
Hidrojen	Çevresel etkilerinin olmaması	Düşük verim, yüksek maliyet, depolama üniteleri sorunları	Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonu, elektrikli taşıt uygulamaları
Batarya	Olgunlaşmış teknoloji, yüksek güç ve enerji yoğunluğu	Çevresel etkilerinin olumsuz olması, yüksek üretim maliyeti, orta yada düşük çevrim ömrü	Taşınabilir cihazlar, elektrikli taşıtlar, küçük güçlü yenilenebilir enerji sistemleri
Volan	Yüksek güç yoğunluğu, hızlı cevap süresi, yüksek çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu, yüksek maliyet	Güç kalitesi uygulamaları
Süper kapasitör	Yüksek güç yoğunluğu, hızlı cevap süresi, yüksek çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu, yüksek maliyet	Elektrikli taşıtlar, güç kalitesi uygulamaları
Süper iletken manyetik depolama	Yüksek güç yoğunluğu, hızlı cevap süresi, yüksek çevrim ömrü	Düşük enerji yoğunluğu, yüksek maliyet,	Güç kalitesi uygulamaları

4.2. Elektrikli Araçlar için Depolama Teknolojileri

Elektrikli araçlar (EA), makine mühendisliği, elektrik mühendisliği, elektronik mühendisliği, otomotiv mühendisliği ve kimya mühendisliği gibi çeşitli mühendislik alanlarını içeren çeşitlendirilmiş teknolojilerin toplamıdır (Chan, 1993). Farklı teknolojilerin birleştirilmesiyle, EA'ların genel verimliliği artırılabilir ve yakıt tüketimi azaltılabilir. EA'lar üç ana sistemden oluşur: elektrik motoru, güç dönüştürücü ve enerji kaynağı. EA'lar, sürüş için elektrik motorları kullanır ve bataryalarda depolanan elektrik enerjisini kullanır (Chan, 2002). Yakıt bazlı geleneksel araçların aksine, EA'lar çalışırken hiçbir zaman kirlilik yaymazlar, bu da EA'ları tek başına daha çevre dostu araçlar yapar (Chan, *vd.* 1997). Ancak, EA'nın şarj edilmesi için yenilenebilir kaynaklardan, örneğin hidroelektrik, rüzgar, güneş veya biyogaz enerji santrallerinden üretilen elektrik enerjisi gereklidir (Kiehne, 2003). Bu çalışmada EA'lar kesinti ve arıza durumunda devreye hızlıca giren batarya teknolojileri olarak tasarlanmıştır.

4.2.1. Elektrikli araç türleri

En yeni ulaşım sistemi olan elektrikli araçlar, elektrikli tahrik sistemi aracılığıyla gelişen otomobil araçları olarak da tanımlanmaktadır. Bu nedenle, EA'lar hibrit elektrikli araçlar (HEV), bataryalı elektrikli araçlar (BEV) ve plug-in hibrit elektrikli araçlar (PHEV) gibi çeşitleri içerebilir (Singh, *vd.* 2006). EA'larda batarya kullanımı, geleneksel araçlara göre mutlak bir avantaja sahiptir. EA'lar sessiz çalışır, geleneksel araçlardan kaynaklanan baca gazı kirleticilerinin ortadan kaldırılmasına yardımcı olur ve en önemli faktör, EA'nın kullanım maliyetinin üç kat daha düşük olmasıdır. Ne yazık ki, bataryaların belirli dezavantajları da vardır; bunlar arasında önemli ağırlık, yüksek batarya maliyeti ve hacim gibi etkenler önemli menzile kısıtlamaları getirir ve bataryanın performansı iklim koşullarına göre değişir (Koniak, *vd.* 2017). Bu nedenle, daha fazla geliştirme ve gelecekteki yenilikler için EA'larda kısaca odaklandık.

4.2.1.1. Bataryalı elektrikli araç (BEV)

BEV, batarya ve elektrik motoru kullanarak çalışır ve yalnızca yüksek kapasiteli bir bataryada depolanan elektrikle çalışır. BEV'ler aynı zamanda şebekeden de şarj edilebilir. Ulaşım sektörü, özellikle elektrikli araçlar alanında, bataryalar en önemli

unsurlardan biridir (Chan, *vd.* 1997). Bu nedenle, bataryalarla ilgili ana odaklanma faktörleri maliyet, iklim koşulları, enerji yoğunluğu ve güç yoğunluğudur, bu faktörler nedeniyle bataryaları ayırt ederiz. Bataryalar sera gazı emisyonlarını önemli ölçüde azaltır ve rüzgar, güneş, jeotermal ve diğer yenilenebilir kaynaklar gibi çeşitli yenilenebilir kaynaklardan elde edilen yüksek kaliteli enerjiyi sağlayan çeşitli elektrik şebekesi uygulamaları için kullanılır (Nitti, *vd.* 2015). İlk EA, 1834'te bataryayla çalışan bir üç tekerlekli araç olarak piyasaya sürüldü (De Luca, *vd.* 2015). Elektrikli araçların iki ana sorunu vardır: sınırlı menzil ve çevrim ömrü (Pinsky, *vd.* 2000). Bu sorunların üstesinden gelmek için, yazarlar antik çağlarda kurşun-asit bataryaları kullandı, çünkü bu bataryalar sağlam bir tasarıma ve yüksek şarj kabul oranına sahiptir. Bataryanın çevrim ömrü ile ilgili olarak, yazar kurşun oksit morfolojisini optimize etmek için darbe türü algoritmayı tartışmıştır. Bu nedenle, aracın menzili batarya konfigürasyonuna, güç yoğunluğuna ve enerji yoğunluğuna bağlıdır.

BEV'ler, batarya kapasitesine bağlı olarak 100-400 km menzile sahiptir. Şarj süresi, batarya hücresi konfigürasyonuna ve kapasitesine göre değişir. Aynı zamanda ortam sıcaklığından da etkilenir. Ayrıca, EA'lerin menzilin artırmak için HEV, PHEV ve benzeri diğer teknolojilere geçiş yapmaktayız.

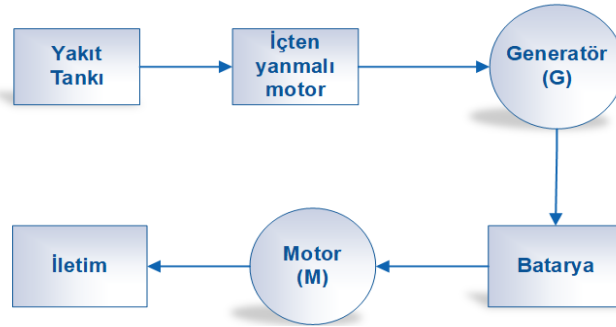
4.2.1.2. Hibrit elektrikli araç (HEV)

Hibrit, aracı hareket ettirmek için aracı ayrı ayrı sürebilecek birden fazla güç kaynağına sahip iki veya daha fazla kaynağın kombinasyonu anlamına gelir (Emadi, 2005). Yakın yıllarda yakıt hücresi, gaz türbini, pnömatik, etanol, elektrikli tahrik, güneş enerjisi, hidrolik gibi birçok diğer hibritleşme konfigürasyonu geliştirilmiştir. Bu teknikler arasında en kanıtlanmış ve yerleşmiş prosedür, elektrik motoru ve içten yanmalı motor kombinasyonudur (Emadi, 2005). HEV'nin bir formu, yakıt dönüştürücü olarak bir motorla birlikte benzinlidir ve diğer formu ise çift yönlü enerji depolama sistemidir (Kebriaei, *vd.* 2015). Günümüzde, HEV'lerde kinetik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürerek bataryayı şarj eden rejeneratif frenleme adı verilen verimlilik artırıcı teknolojiler kullanılmaktadır (Kebriaei, *vd.* 2015). Önceki incelemelere göre, geleneksel içten yanmalı motoru, yoğun trafik sırasında çok fazla zararlı gaz üretir ve yakıt israfına neden olur. HEV, motoru kapatarak ve güç aktarımını motor üzerinden gerçekleştirerek içten yanmalı motorun tüm dezavantajlarını gidermek için kullanılır (Hannan *vd.* 2014; Shen *vd.* 2011). HEV'lerin bir diğer avantajı ise, yakıt tankı motoru çalıştırırken

boşaldığında, aracın maksimum menzili ile elektrik gücüyle sürülebilmesidir (Thompson, vd. 2011). HEV, yapısına göre üç tipe ayrılır.

iii. Seri hibrit

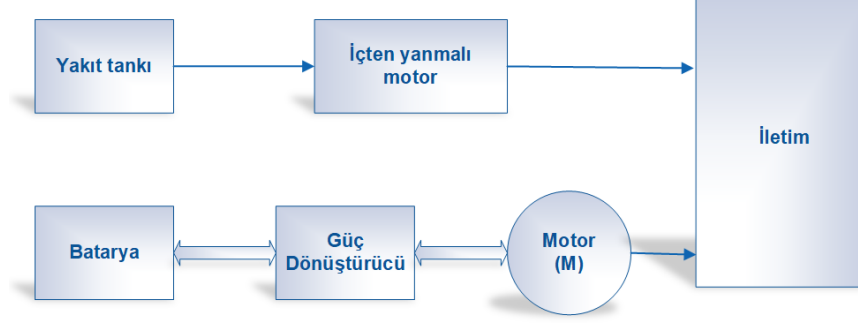
Seri hibrit sistem, menzil genişletici olarak da bilinir. Bu sistemde, Şekil 4.8’de gösterildiği gibi, içten yanmalı motor bir elektrik jeneratörünü çalıştırarak bataryayı şarj eder ve elektrik motoruna güç sağlar (Shen, vd. 2011). Bu sistemde, elektrik motoru araca güç sağlamak için tek kaynaktır. Jeneratör hem bataryaya hem de aracı süren motora güç sağlar. Bu araçlar, büyük bir batarya paketi ve büyük bir motora sahip olup, küçük bir içten yanmalı motor içerir (Thompson, vd. 2011). Bu sistemde, içten yanmalı motor ve şanzıman arasında mekanik bir bağlantı yoktur. Böylece, içten yanmalı motor, aracın gerekli gücünü karşılamak için maksimum verimlilikte çalışabilir (Shen, vd. 2011). Bu bağlantının tek dezavantajı, bataryaların ve bileşenlerinin yüksek maliyetidir (Pollet, vd. 2012).



Şekil 4. 8 Seri hibrit elektrikli araç şeması

ii. Paralel hibrit

Bu sistemde, paralel bağlantı, mekanik aktarım için içten yanmalı motor ve elektrik motoruyla bağlanmıştır. Genellikle içten yanmalı motor birincil kaynak olarak çalışırken, elektrik motoru yedek veya tork güçlendirici olarak görev yapar (Pollet, vd. 2012). Bu sistemin avantajı, EA'nın hafif ve daha küçük bataryalara ihtiyaç duymasıdır. Paralel modda bataryalar, rejeneratif frenleme ve seyir sırasında şarj edilebilir. Şekil 4.9’da gösterildiği gibi, EA tekerlekleri ve motor arasında sabit bir mekanik bağlantı vardır (Shen, vd. 2011). Bu nedenle, araç hareket etmediğinde batarya şarj edilemez (Kebriaei, vd. 2015).

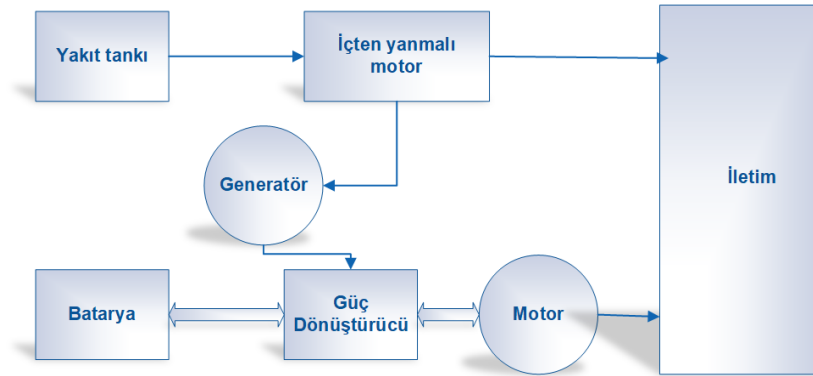


Şekil 4.9 Paralel hibrit elektrikli araç şeması

iii. Kombine hibrit

Hem seri hem de paralel hibrit sistemlerin kombinasyonu, kombine hibrit veya seri-paralel veya karma/güç bölmeli sistem olarak bilinir (Kebriaei *vd.* 2015; Shen *vd.* 2011). Bu sistemin prensibi, motor tarafından sağlanan gücün sürücü tarafından elde edilen enerjiden ayrılmasıdır. Motor ile tahrik aksı arasında ikinci bir bağlantı vardır: mekanik ve elektriksel (Beresteanu, *vd.* 2011). Bu hem mekanik hem de elektriksel gücün birbirine bağlanması nedeniyle en karmaşık sistemdir ve bu sayede güç yollarını bölmeyi sağlar, Şekil 4.10’da açıklandığı gibi (Pollet *vd.* 2012; Thompson *vd.* 2011).

Bu, gerçek zamanlı uygulamalar için en pahalı sistemdir. Bu nedenle, paralel hibrit sistem çoğunlukla HEV’lerde kullanılır. Ancak, HEV’ler BEV’lerden 8-10 kat daha pahalıdır ve aracı evde şarj edemez.



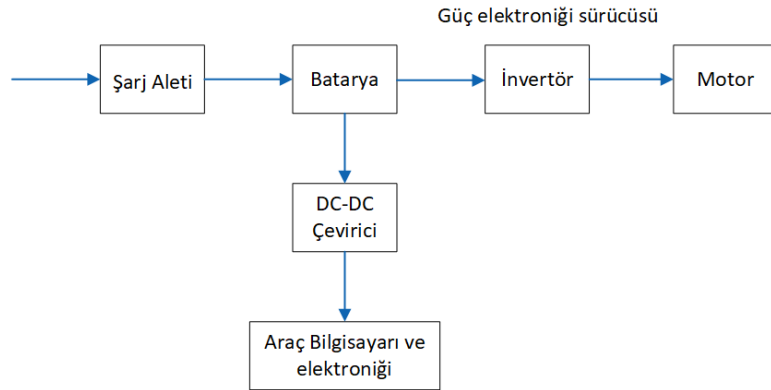
Şekil 4.10 Kombine hibrit elektrikli araç şeması

4.2.2. Şarj şemaları

EA'ların temel bileşeni, bir bataryayı şarj etmek için bir şarj cihazıdır. Şarj etme işlemi sadece bir bataryayı şarj etmekle kalmaz, aynı zamanda akımı ve gerilimi düzenlemek için gelişmiş bir kontrol sistemine ihtiyaç duyar. Şarj cihazı, şarj edilebilir bir cihazda entegre edilebilir veya şarj istasyonunda bağımsız bir şarj cihazı olarak kullanılabilir. Herhangi bir pil için, şarj ve deşarj işlemi güvenliği, dayanıklılığı ve performansını belirlemeye yardımcı olur. EA'lar için, sabit akım, sabit voltaj, sabit voltaj ve sabit akım kombinasyonu gibi farklı şarj yöntemleri bulunmaktadır (Ahmadian, *vd.* 2015). EA'lar için regeneratif frenleme nedeniyle bataryaların rastgele şarj edilmesi önemlidir.

4.2.3. EA'ların bileşenleri

Elektrikli araçlar tahrik sistemlerine dayanır; içten yanmalı motor kullanılmaz. Elektrikli güce dayalı olduğundan, elektrikli aracın ana bileşenleri motorlar, güç elektronik sürücüsü, enerji depolama sistemi, şarj sistemi ve DC-DC dönüştürücüdür. Şekil 4.11, bir elektrikli aracın kritik yapılandırmasını göstermektedir (Diamond, 2009).

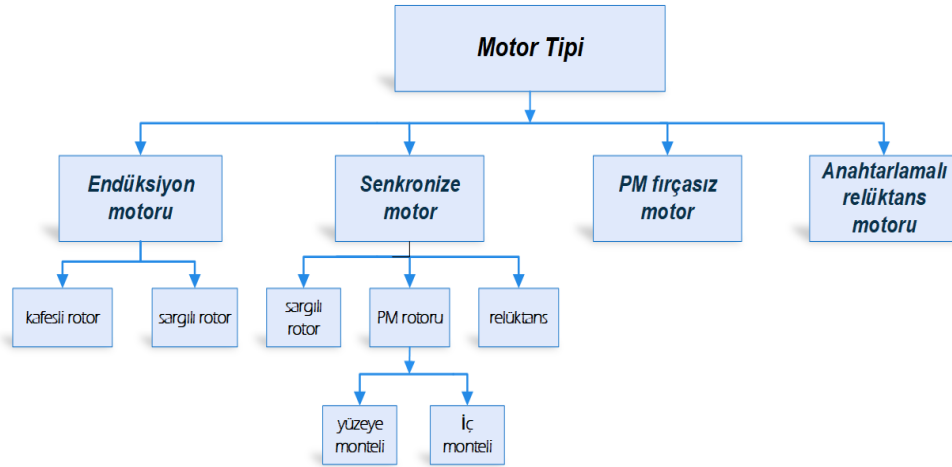


Şekil 4. 11 Elektrikli bir aracın temel bileşeni

4.2.3.1. Motor bileşeni

Her motorun kendine özgü özellikleri ve avantajları vardır. Elektrikli araç motorlarının belirli gereksinimleri vardır; bunlar arasında yüksek güç yoğunluğu, hızlı tork tepkisi, tam hız ve tork aralıklarında yüksek verimlilik, yüksek dayanıklılık ve birçok araç çalışma koşulu için iyi güvenilirlik ve makul maliyet bulunmaktadır. 1993 yılında,

tüm elektrikli araçlar doğru akım değişken sürücüler kullanılarak çalıştırılmıştır. DC sürücülerde bir komütatör bulunur, bu da bakım maliyetinin geleneksel sürücülere kıyasla daha az olmasını sağlar (Chan, 1993). Ancak hepimiz biliyoruz ki DC motorlar, 4 kW'ya kadar olan düşük güç seviyeleri için kullanılır, destek gerektirir ve daha kısa bir ömre sahiptir. Bununla birlikte, elektrikli tekerlekli sandalye, mikro araç gibi küçük güç uygulamaları için uygundur. Bununla birlikte, daha avantajlı olan alternatif akım (AC) sürücülerin ortaya çıkmasıyla, AC motorlara geçiş yapılmıştır. Artık yeni bir dönem, çeşitli faydalar sağlayan, optimum verimlilik ve düşük işletme maliyeti ile yüksek güç yoğunluğu, daha fazla güvenilirlik ve DC motorun daha düşük bakım gereksinimleri gibi avantajlar sunan komütatörsüz motorlara yönelmiştir. Dolayısıyla, indüksiyon motoru, DC fırçasız motor, kalıcı mıknatıs senkron motoru ve anahtarlama relüktans motoru gibi farklı tipteki AC motorlar sınıflandırılmıştır (Diamond, 2009). Bildiğimiz gibi, motor elektrikli araçların en önemli bileşenidir, bu nedenle uygun bir tipte ve uygun bir derecelendirmeye sahip motor seçmek esastır (Gallagher, vd. 2011). İndüksiyon motoru, yüksek güvenilirlik ve bakım gerektirmemesi nedeniyle elektrikli araçlar için bir komütatör motor tipi olarak kullanılır (Burridge, vd. 2016). Şekil 4.12, elektrikli araçlarda kullanılan motorların sınıflandırmasını göstermektedir (Alavije, vd. 2011).



Şekil 4. 12 Motorların sınıflandırılması

4.2.3.2. Güç elektroniği sürücüsü

Güç cihazları, elektrikli tahrik sistemlerinde en kritik bileşendir. Bu sistem, sistemi verimli hale getirmek için güç anahtarlama cihazını, kapalı döngü kontrolünü ve anahtarlama stratejisini içerir. Literatür taramasına göre, son 25 yılda güç yarıiletken

cihazları EA’larda kullanılmaktadır. 1970’lerde, EA kontrol cihazlarında güç yarıiletken anahtarı olarak tirisistörler kullanılmıştır. Ancak günümüzde araştırmacılar, tirisistörü bipolar kavşak transistörü, metal oksit yarıiletken alan etkili transistör, kapı kapatma tirisistörü, izole kapılı bipolar transistör gibi yeni güç cihazları ile değiştirmişlerdir (Chan, 1999). Bununla birlikte, uygun bir güç cihazı seçimi gereklidir ve seçim, EA’ların gereksinimlerine ve yarı iletken cihazların parametrelerine bağlı olabilir. Genellikle, elektrikli tahrik araçları için üç tür yarı iletken cihaz kullanılmaktadır.

4.2.4. Elektrikli araçlarda arıza teşhisi

Bu sistemlerde akım, gerilim ve sıcaklık sensörleri ile fan motoru sık sık arızalanır. Fan motoru için düşünülen tek arıza sürekli olarak pilin soğutulamaması durumunda meydana gelen tam arızadır. Sensör arızaları, kötü kablo bağlantılarından kaynaklanan aralıklı sinyal kaybı ve zaman veya sıcaklık kayması nedeniyle sensör yanlılığı gibi durumlar içerir.

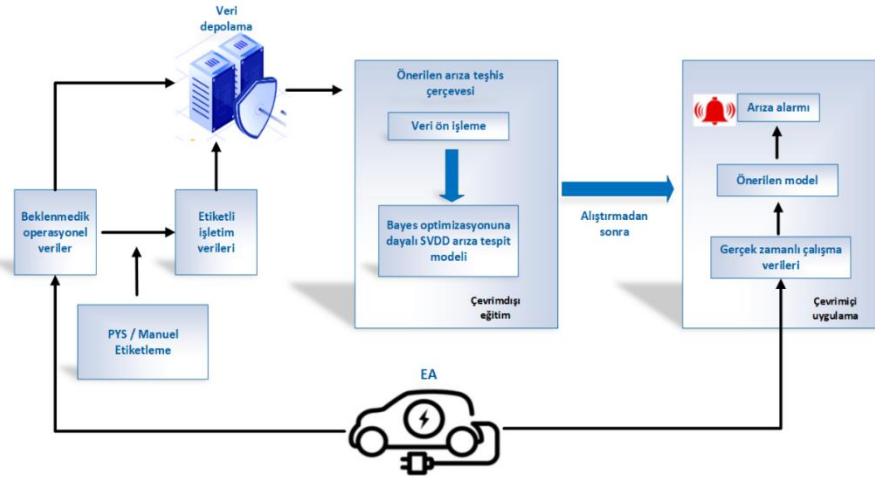
Sinyal işleme ve iki boyutlu özellik kümeleme yöntemine dayalı olarak EA’lardaki lityum-iyon piller için bir arıza teşhis yöntemi sunulmaktadır (Li, *vd.* 2022). Boşaltma gerilim sinyalleri, simplektik geometri modu ayrıştırma tekniği kullanılarak içsel mod fonksiyonlarına ayrılır. Kapsamlı anormallik tespiti, gürültülü uygulamaların yoğunluk tabanlı mekansal kümeleme olarak bilinen bir düzeltme adımını içerir. Kümeleme sonuçlarına dayanarak arızalar ile tutarsızlık arasındaki ayrım yapılabilir; bu ayrım ayrıca pil arıza evrim sürecini ve gerilim anormalliği türünü de ortaya koyar. Termal kaçınılmazlıktan 43 gün önce bu yaklaşım arızaları erken tespit edebilir, arıza hücrelerini tanımlayabilir ve gerilim anormalliği türünü belirleyebilir.

PEV’ler yaygın entegrasyonundan kaynaklanan bir dağıtım sisteminin arızalarını incelemiştir. Bu araştırmaya göre, PEV’lerin bağlandığı düğümde gerilim ve akım artar. Yüksek anahtarlama frekanslarından kaynaklanan dalga bozulması sistem ve yükleri fazla ısı üretebilecek şekilde etkileyebilir (Kumar, *vd.* 2017).

EA’lardaki lityum-iyon piller için sinyal tabanlı bir arıza teşhis yöntemi önerilmektedir. Değişken mod ayrıştırma algoritması, ya uzun vadeli pil durumu varyasyonlarına ya da harici uyarımlara yerel yanıtlarla ilişkilendirilen gerilim sinyali özelliklerini tanımlamak için kullanılan bir sinyal tabanlı tekniktir. Daha sonra, eğitim verilerinin kalitesi ve miktarının etkisini azaltmak için genelleştirilmiş boyutsuz bir

gösterge kullanılır. Son olarak, bir kümeleme algoritması, özellik dizilerinde pil hücresi anormalliklerini temsil eden aykırı değerleri bulmak ve arızayı teşhis etmek için kullanılır. Bu yaklaşım, arıza türlerini, süresini ve büyüklüğünü, ayrıca arızanın başlangıç durumunu güvenilir bir şekilde belirleyebilir (Cong, *vd.* 2021).

EA bataryası arıza tespiti için çevrimiçi yarı denetimli veri odaklı bir yaklaşım önerdiler ve Bayesian optimizasyonu ve destek vektör veri tanımı kullanmaktadır. Destek vektör veri tanımını eğitmek ve temel arıza tespit modeli oluşturmak için önerilen yöntem, sıcaklık ve gerilim gibi etiketsiz verileri kullandı. Bayesian optimizasyonu iterasyonu, modeli küçük bir pil yönetim sistemi veri setini kullanarak veya örnekleri manuel olarak etiketleyerek eğiterek ve arıza tespit yeteneğini maksimize ederek optimal parametreyi bulmak için kullanılır. Şekil 4.13, tarif edilen önerilen modeli göstermektedir. Bu teknik, bir EV'nin gerçek dünya işletmesinde kullanılabilir ve küçük ve erken batarya sistemi arızaları için gerçek zamanlı uyarılar sunar ve düşük bir modelleme maliyetine ve yüksek bir modelleme verimliliğine sahiptir. Ayrıca, pil sisteminin güvenliğini artırır. Bu yöntemin bir sonraki adımı, arıza konumlandırma yeteneklerini doğrulamak ve pil sistemlerinde daha ileri düzeyde arıza teşhisi elde etmektir (Yang, *vd.* 2022).



Şekil 4.13 Araç bataryası için önerilen hata tespiti uygulaması

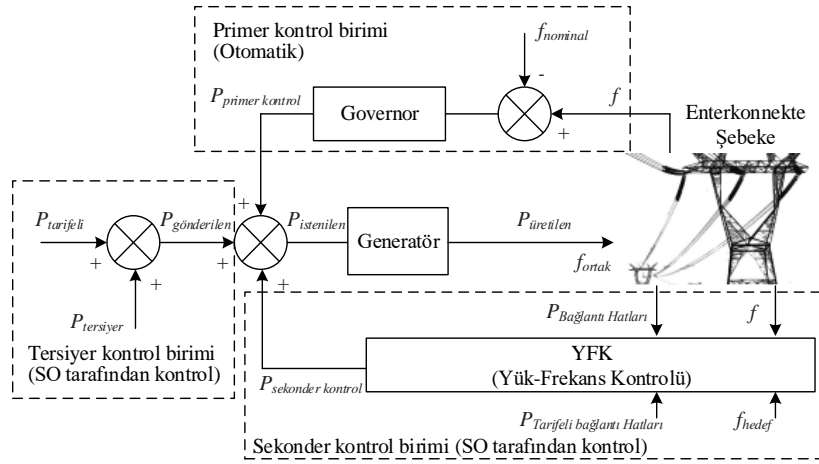
Bir dizi lityum-iyon batarya paketini bağlamak için veri tabanlı bir hata teşhis tekniği önerilmekte ve bu teknik DVM'ye dayanmaktadır (Samanta, *vd.* 2021). Bu prosedürde dört adım bulunmaktadır. Yöntem, öncelikle diskret kosinüs dönüşümüne dayalı optimal bir filtre kullanarak hataları başarıyla teşhis edebilir, ardından filtrelenmiş verilerin kovaryans matrisini analiz eder, ardından çekirdek işlev parametresini ve ceza faktörünü optimize etmek için bir ızgara arama yöntemi kullanır. Son olarak, DVM

parametrelerini koşul göstergelerini kullanarak eğiterek hataları başarıyla teşhis edebilir. Bu yöntem, sistem hatasının ciddiyetini yansıtabilir ve gerçek zamanlı olarak gerilimi algılayabilir.

Batarya enerji depolama sistemleri (BEDS) ile entegre edilmiş hibrit MŞ'ler için DWT ve Gizli Dirichlet Tahsisine dayalı bir hata tespit sınıflandırma şeması önerilmektedir (Rameshrao, *vd.* 2022). DWT, zaman ve frekans alanında lokalizasyon sağlar ve Gizli Dirichlet Tahsisine, büyük veri kümelerinde hata teşhisi için sağlam bir sınıflandırıcıdır. Bağlı ve adalı hibrit MŞ'de hatalı hattı algılayabilir, sınıflandırabilir ve tanımlayabilir ve etkinliğini doğrulamak için bağlı veya ağı MŞ'lerde değerlendirilmelidir. Şarj yük erişimine sahip dağıtım ağları için graf teorisi ve DÖ'ye dayalı bir hata konumu yaklaşımı önerilmektedir (Rameshrao, *vd.* 2022). Model oluşturmak için, dağıtım ağı topolojisi önce graf teorisi kullanılarak bir dizi Y-şeklindeki yapıya bölünür. Sonrasında, toplanan veriler ile hata konumu arasındaki eşleştirme ilişkisini çıkarmak için genelleştirilmiş ağ öğrenimi tabanlı DÖ tekniği kullanılır. Hata türünü ve konumunu tespit etmek için karmaşık fiziksel bir model ve veri analizi kullanılır. Bu teknik, çeşitli dağıtım ağı yapılarına uyum sağlayabilir ve topolojik değişikliklerden etkilenmez.

4.3. Güç Sistemlerinde Frekans Kontrolü

Frekans kontrolünü sağlayan rezervlerin yapısını açıklayan basitleştirilmiş sistem şeması Şekil 4.14'te gösterilmektedir. Frekans kontrolü temel olarak üç birimden oluşmaktadır (UCTE, 2004). 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 4. 14 Elektrik iletim koordinasyon biriminin frekans kontrol sistemi (Tur, 2018).

Elektrik İletim Koordinasyon Biriminin Frekans Kontrol Sistemi birimleri aşağıda belirtildiği gibidir (Rebours, vd. 2005):

- 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 rezerv miktarı 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 sağlar. Primer frekans kontrol 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 rezervinin yeterli olmadığı zaman frekansı hedeflenen değerine geri getirmek için kullanılan yedek güç sağlar. Dengeleme Güç Piyasası kapsamında verilen Yük Alma ve Yük Atma talimatları ile güç dengeleme birimlerinin belirli bir süre içerisinde gerçekleştirebildikleri çıkış gücü değişimi bu birim ile sağlanır.

4.4. Yük Frekans Kontrolünde Batarya Enerji Depolama Sisteminin Kullanımı

Güç sistemleri, doğal enerjiyi elektrik gücüne dönüştürmek için kullanılır. Elektriği fabrikalara ve evlere taşır ve çeşitli güç ihtiyaçlarını karşılar. Elektrikli ekipmanların performansını optimize etmek için, elektrik gücünün kalitesini sağlamak önemlidir. Aktif ve reaktif güç dengesi sürekli olarak korunmalıdır, çünkü bunlar sırasıyla frekans ve voltaj denge noktalarına karşılık gelir. İyi bir elektrik gücü sistemi kalitesi, elektrik güç şebekelerinin gerçek zamanlı işletiminde hem frekansın hem de voltajın standart değerlerde kalmasını gerektirir (Kalyani, *vd.* 2012).

Güç dengesizliği sonucu, frekans ve voltaj seviyeleri dinamik yük bozulmalarıyla değişecektir. Bu, rastgele yük bozulmalarının etkilerini ortadan kaldırmak ve frekans ile voltajı standart değerlerde tutmak için etkili bir kontrol mantığına olan ihtiyacı doğurur. Aktif güç ve reaktif güç, frekans ve voltaj üzerinde birleşik etkilere sahip olsalar da, frekans ve voltajın kontrol problemi ayrılabilir. Frekans, aktif güce yüksek oranda bağımlıyken, voltaj reaktif güce yüksek oranda bağımlıdır. Böylece güç sistemlerindeki kontrol sorunu iki bağımsız probleme ayrılabilir. Aktif güç ve frekans kontrolüne LFC denir. Reaktif güç ve voltaj kontrolü, otomatik voltaj regülasyonu olarak adlandırılır (Saadat, 2002). LFC'nin temel görevi, rastgele değişen aktif güç yüklerine karşı frekansını sabit tutmak ve bağlantı hattı güç değişim hatasını düzenlemektir

Güç sistemi LFC problemleri, güç sistemlerinin normal işletimini sürekli olarak rahatsız eden küçük yük bozulmalarından kaynaklanır. Bu nedenle, frekans ve bağlantı hattı gücü kabul edilebilir sınırlarına yakın tutulana kadar üretim hızı değiştirilmelidir. Jeneratörün çıkış gücü mekanik girişle kontrol edilir. LFC problemi, bir bölgede meydana gelen yük bozulmasının diğer bölgelerin frekansını rahatsız edeceği bağlantılı güç sistemlerinde çok önemlidir. Bir jeneratör ünitesindeki yük talebinde bir değişiklik olduğunda, gerçek güç girişi ve çıkışı arasında anlık bir dengesizlik meydana gelir. Bu fark, döner parçaların depolanan enerjisi tarafından karşılanır. Kinetik enerji azaldığında hız azalır, dolayısıyla bir frekans sapması meydana gelir. Bu frekans değişimi, hız düzenleyici sistem tarafından algılanır ve frekans değişimini yok edecek şekilde primer hareket ettiriciye giriş ayarlanır (Kalyani, *vd.* 2012).

Son yıllarda, yük frekans kontrolü için farklı kontrolör tasarımlarının kullanımı bildirilmiştir. Parametrik kısıtlamalara sahip çok bölgeli güç sistemleri için Riccati-Denklemi yaklaşımına dayalı sağlam merkezi olmayan bir yük frekans kontrolörü

önerilmiştir (Lim, *vd.* 1996). Geleneksel PID kontrolörü, yük frekans kontrolü için yaygın olarak kullanılmıştır. Uzman sistemler, bulanık mantık ve sinir ağları, geleneksel kontrolörlerin eksikliklerini aşmak için daha sonra uygulanmıştır. BEDS'in LFC için uygulanması, 2001 yılında gelişmiştir.

4.4.1. Batarya enerji depolama sistemi

Yük frekans kontrolü, bağlantılı güç sistemlerinin işletiminde en önemli kontrol işlevlerinden biridir ve farklı kontrol alanları arasındaki frekans ve bağlantı hattı değişimlerini düzenler. Günümüzde birçok ülkede elektrik gücü endüstrisi, düzenlenmiş oranlarda güç sağlayan dikey entegre hizmetlerden, daha düşük oranlarda ayrıştırılmış güç satan rekabetçi şirketleri içerecek bir endüstriye geçiş yapmaktadır. Güç sistemi yapısında, yük frekans kontrolü, güç değişimini sağlamak ve elektrik ticareti için daha iyi koşullar sağlamak amacıyla temel bir rol üstlenir. LFC performansını iyileştirmek için bir alternatif, pik yük dönemlerinde ve özellikle bir batarya enerji depolama tesisi sırasında depolama tesislerinin tanıtılmasıdır. BEDS, hızlı ve aktif güç dengelemesi sağlayabildiğinden, yük frekans kontrolünün performansını iyileştirmek için de kullanılabilir. BEDS ayrıca pik yük dönemlerinde tedarik güvenilirliğini artırır. Depolama tesisleri, yük dengeleme, güç faktörü düzeltilmesi ve siyah başlangıç yeteneği gibi ek dinamik faydalar sağlar (Chatterjee, *vd.* 2011).

5. YÖNTEM

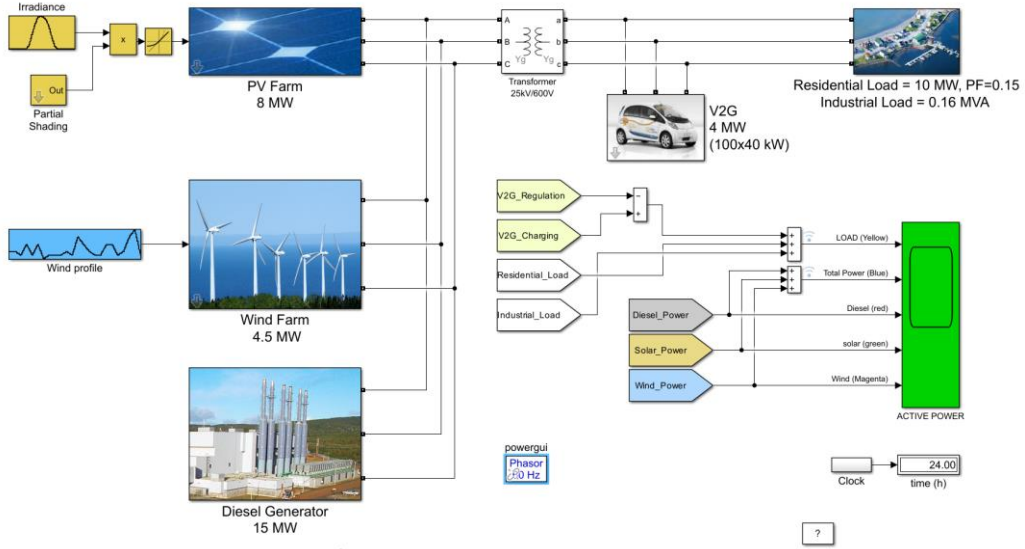
İletim hattı arıza analizi, etkili bir arıza yönetim sistemi oluşturmak amacıyla üç temel adımı içermektedir: arızanın algılanması veya tespiti, arızanın farklı kategorilerde sınıflandırılması ve arızanın gerçekleştiği bölgenin belirlenmesi (Rahmati, *vd.* 2014). Bu süreçte, arıza karakteristiklerinin çıkarılması esastır. Bu amaç doğrultusunda, ilk olarak iletim hattının modeli MATLAB/SIMULINK ortamında oluşturularak arıza örnekleri simüle edilebilir. Bir sonraki adımda, simülasyon modelinden elde edilen veriler ile Matlab modellemesi ile arızaların tespiti ve konumlandırılması gerçekleştirilir. İletim sistemlerinde arıza tespitindeki gecikmeler ile iletişim ve bilgi işlem teknolojilerinin artan rolü göz önüne alındığında, bu çalışmada iletim hatlarında hızlı, güvenilir ve doğru arıza tespiti ile yer belirlemesi sağlamak üzere yeni bir test modeli önerilmektedir. Ayrıca, arızalı gerilim ve akım gibi çeşitli arıza durumlarının tespiti ile arıza tespit süresinde yaşanan gecikmelerin azaltılması hedeflenmiştir. Geliştirilen bu modelin, güç sistemlerinde iletim hattı arıza yönetimi ve koruma mekanizmalarını iyileştirmede kullanılabileceği düşünülmektedir.

5.1. Tasarlanan Test Modelinin Uygulaması

Tasarlanan Simulink modeli, Tek Hat Toprağa, Çift Hat Toprağa ve Üç Faz Toprağa arıza durumlarına ilişkin veriler üretir. Bu veriler, arıza tespiti, sınıflandırma ve yer belirleme işlevleri için makine öğrenim modelini eğitmede kullanılmaktadır. Ayrıca, bu veri setleri, arıza tespiti sonuçlarının doğruluğunu, Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) değerini ve belirlenen konumun kesinliğini doğrulamak amacıyla da değerlendirilir.

Önerilen Akıllı Şebeke Sistemi (AŞS), Şekil 5.1'de gösterildiği gibi doğrulanmıştır. Bu, bir bölgeye elektrik sağlayan üç hatlı bir AŞS'yi temsil etmektedir ve 8 MVA güneş enerjisi santralleri, 4.5 kVA rüzgar türbini, 15 MWA dizel jeneratör, 100 kilometrelik iletim hattı ve yaklaşık 10 MVA yükler ile depolama sistemleri olarak 4 MW (100*40kW) elektrikli araçlardan oluşmaktadır. Sistem kararlılığını korumak için gerilim ve akım değişikliklerinin $\pm\%10$ içinde olması gerektiği belirtilmiştir. Bu çalışmada, herhangi bir noktada akımın nominal değerlerini aştıktan sonra güç kesintisi tespit edilmiştir. Arızalı durumda, akımın en çok arttığı pozisyon arızalı yük olarak kabul edilmiştir. Güç arızası 10 ms – 50 ms içinde tespit edilmeli ve üç döngü içinde yer

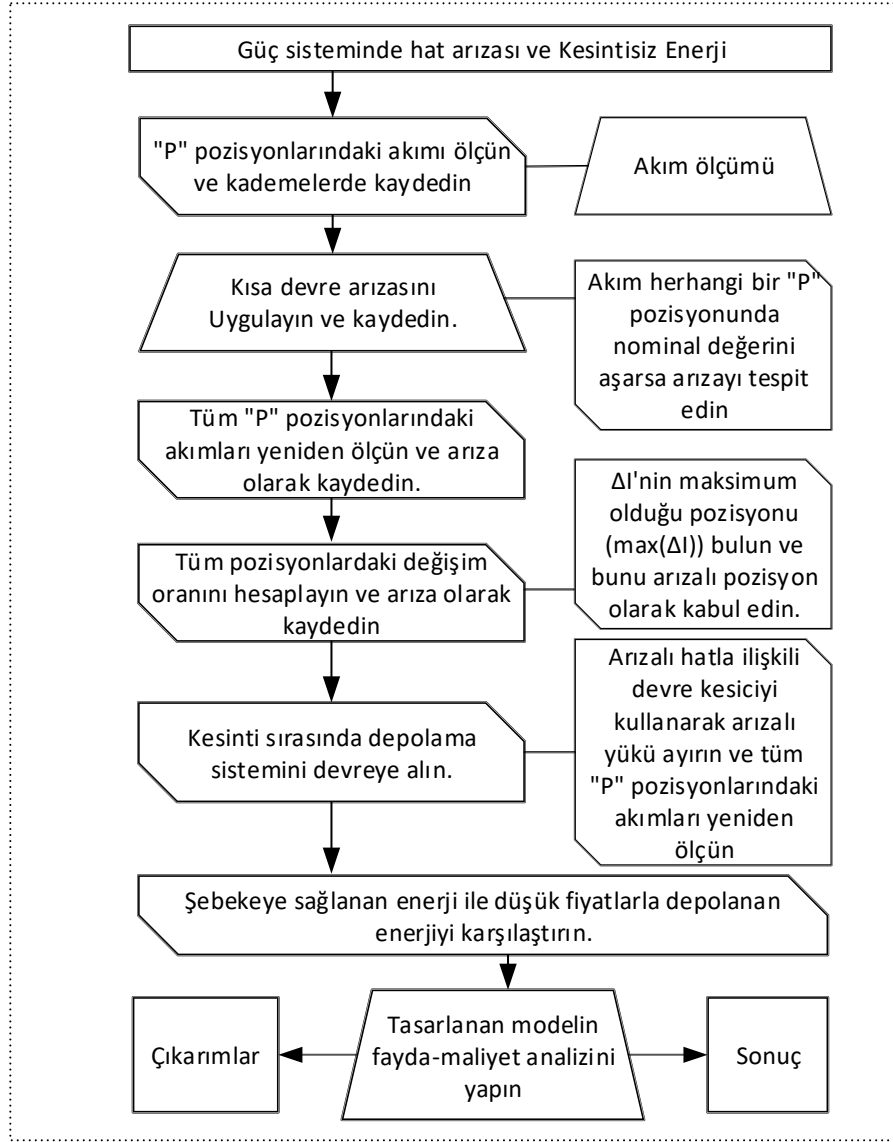
belirlenmelidir. Arızalı yük, üç döngüden sonra izole edilmeli ve AŞS'nin arızalı olmayan bölümlerinin kararlılığı sağlanmalıdır.



Şekil 5. 1 Depolama modeli olarak V2G sisteminin 24 saatlik simülasyonu

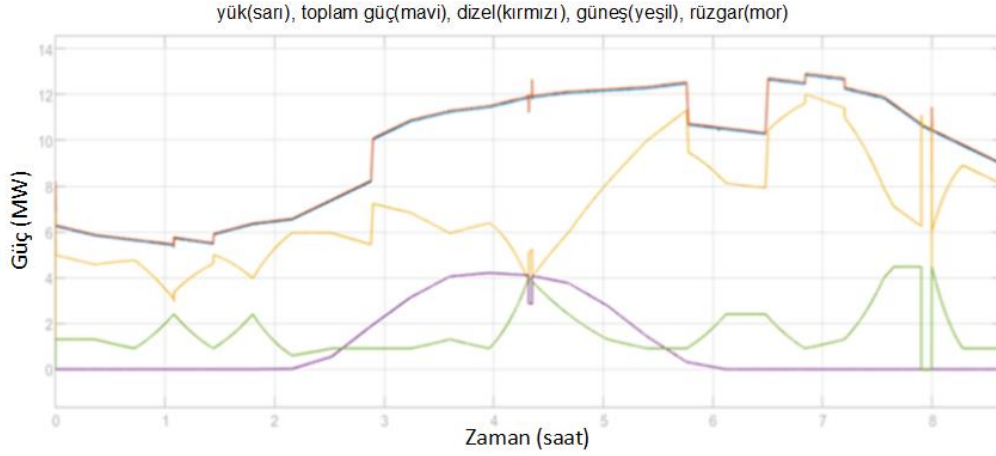
İlk ortam, kullanıcının sistemi oluşturmasına, derlemesine ve derleme hatalarını kontrol etmesine olanak tanır. Model hatasız bir şekilde derlendikten sonra, model Real-Time Simulation Software (RSCAD) yazılımının doğrudan çalışma modeli olarak ikinci ortamda çalıştırılmaya hazır hale gelir. İlk modelde kullanılan elektrikli araç batarya modeli, hat arızası sırasında etkinleştirilerek kesintisiz bir enerji sistemi sağlamak için depolama teknolojisi olarak kullanılmıştır. RSCAD, kullanıcıların simüle edilen modellerle butonlar, kontrol anahtarları, göstergeler ve diğer bileşenlerle kontrol ve etkileşim kurmasına olanak tanıyan bir bileşen kütüphanesine sahiptir. Eğer kesiciler kullanılıyorsa, açma ve kapama işlemleri kontrol anahtarları ile gerçekleştirilir. Donanım bir PV veya bir röle olabilir. Bu özellik, kullanıcıların RSCAD ile iletişim kurmak için RTDS'yi bağlamasına ve döngüler, koşullar ve döngüsel ifadeler gibi daha karmaşık durum ifadelerini uygulamasına olanak tanır.

Bu çalışmada, sistemdeki güç arızasının tespitinden üç döngü sonra arızalı yükü izole etmek için bu özellikler kullanılmıştır. Güç kesintisi, akımın nominal değerlerini aşması ile belirlenir. Bu çalışmayı tamamlamak için izlenen adımlar Şekil 5.2'teki akış diyagramında verilmiştir.



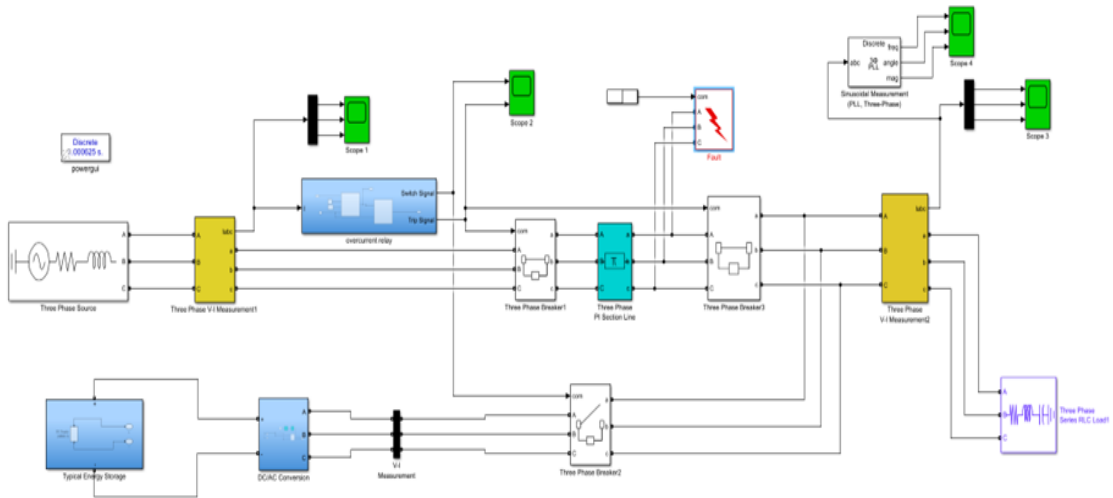
Şekil 5. 2 Kesintisiz enerji akış diyagramı

Tasarlanan elektrik modeli, üç hatlı, 8 MVA güneş enerjisi santrali, 4.5 kVA rüzgar türbini ve 15 MWA dizel jeneratör enerji ürettiği sürece yüklere kesintisiz enerji sağlar. Şekil 5.3'te gösterilen güneş enerjisi üretiminin ve rüzgar enerjisi üretiminin azalması durumunda, destekleyici dizel jeneratör devreye girer. Bu yeterli olmadığında, sisteme entegre edilmiş 40 kW kapasiteli 100 elektrikli araç, 4 MW kapasiteli depolama desteği ile kesintisiz ve düşük maliyetli enerji sağlar.



Şekil 5. 3 Güneş enerjisi santrali, rüzgar türbini, dizel jeneratör enerji üretim değişimi

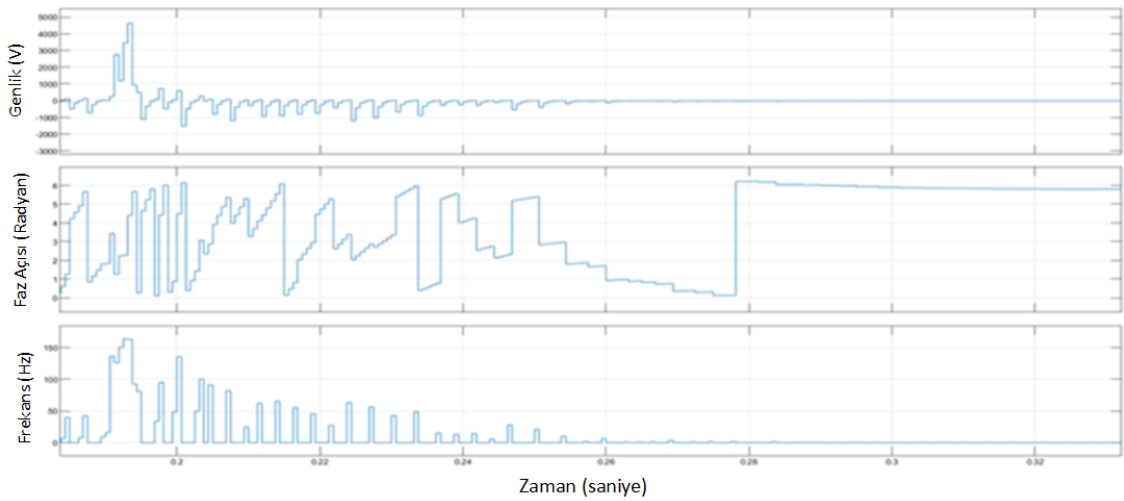
Şekil 5.3'teki P1, P2 ve P3 göstergeleri, sırasıyla istasyon güneş enerjisi santralleri, rüzgar türbini ve dizel jeneratörü olarak tanımlanan ölçüm konumlarını temsil eder. Bu ölçüm birimleri, her bir konumda normal işletim sırasında, arıza durumunda ve arızalı yük izole edildikten sonra ölçülen akımları sağlar. Matlab/Simulink, kullanıcının sisteme uygulanacak arıza türünü ve konumunu seçmesine olanak tanır. Üç fazlı toprak arızası, önerilen AŞS için en ciddi arıza türü olarak kabul edilir ve $t = 1$ s'de uygulanır; sistem, $t = 2$ s'de temizlenirken 3 s boyunca çalıştırılır. Arıza konumu, yük 4'ün dağıtım hattında yer alır (Şekil 5.4). Ayrıca, önerilen arıza yönetim tekniklerinin sağlamlığını sağlamak için sistem Gerçek Zamanlı Dijital Simülasyon (RTDS) ile incelenmiştir. RTDS platformu, kullanıcılara işletim sırasında herhangi bir zamanda arıza uygulama imkanı sunar.



Şekil 5. 4. Elektrikli araç olarak depolama modelinin sisteme entegrasyonu

RTDS, gerçek zamanlı olarak çalışan ileri düzey bilgisayar donanımı ve yazılımından oluşan bir dijital güç sistemi simülatörüdür (Faruque, M. O., vd. 2022; Sidwall, K., vd. 2022). Güç sistemleri ve AŞS'nin tasarımı ve geliştirilmesi için ideal bir koruma ve kontrol aracı olarak kabul edilir (Ryan, M. Vd. 2018). RTDS, eşzamanlı yürütülen prosedürler sayesinde hızlı bir işlemci simülatörü olarak nitelendirilir. RSCAD yazılımı geniş bir bileşen kütüphanesine sahiptir ve çok sayıda bileşenin simülasyonunu yapma imkânı sunar. RSCAD, birbirine bağlı iki ana ortamdır ve kullanıcılara simüle edilen modeli çalıştırma ve yürütme olanağı sağlar.

Sistemde meydana gelen bir arızadan sonra 20ms ile 30ms arasında 100 kilometrelik iletim hattındaki yüklerin enerjisiz kalmasını önlemek amacıyla, enerji depolama sistemi olarak elektrikli araçlardan sağlanmaktadır. Devreye giren depolama aygıtı EA'ların güç dengesi sağlama grafiği Şekil 5.5'de gösterilmektedir.



Şekil 5. 5 0,2 s ile 0,3 s arasındaki izin verilen AŞS hata değişimi

AŞS'nin performansı, Matlab/Simulink ortamında tasarlanan modelin sonuçlarıyla kapsamlı bir şekilde karşılaştırılarak incelenmiştir. Kullanıcıya işletme sırasında 0,2 s ile 0,3 s arasında hata uygulama izni verilmiş, bu süre zarfında model üzerinde hata uygulanmıştır. Uygulanan hatadan sonra akım dalga formu kaydedilmiş ve bu dalga formu Şekil 5.5'te sunulmuştur. AŞS'nin hata tespit süresini ve zaman içinde akım değişimini detaylı olarak göstermektedir. Son normal sinyalin pik değeri 0,2 saniyede ölçülmüş ve hemen ardından hatanın maksimum değerli akımı 0,28 saniyede aşmıştır. Bu, sistemin anormal bir durum içinde olduğunu göstermektedir.

Eğitim süreci için doğruluk, hassasiyet ve hız kriterleri göz önünde bulundurularak, faz ve sıfır sıralı akım arızası ile gerilim verileri simüle edilen

modellerden elde edilerek arıza sınıflandırması, tanımlaması ve tespiti amacıyla kullanılabilir. Bu çalışmada uygulanan makine öğrenimi veri işleme modeli Şekil 5.4'te sunulmuştur. İlk olarak, simüle edilen modelden elde edilen veriler toplanarak eğitim aşamasında kullanılmak üzere modele entegre edilmelidir. Ardından, mevcut veri setinin dışında kalan veri noktaları belirlenmeli ve bunların analiz edilerek göz ardı edilip edilmeyeceği veya dikkate alınması gerekip gerekmediği değerlendirilmelidir.

Sonraki aşama, modelin performansını, doğruluğunu ve yorumlanabilirliğini artırmak, aynı zamanda aşırı uyum riskini azaltmak için veriden özellikler çıkarmaktır. Elde edilen sınıflandırma sonuçlarının gerçek verilerle karşılaştırılabilmesi amacıyla bir karmaşıklık matrisi sunulacaktır. Bu adım, modelin oluşturulması ve eğitiminden önce gerçekleştirilir. Takip eden süreçte, ilişkili olmayan değişkenlerin çıkarılmasıyla modelin performansı iyileştirilmelidir; bu durum korelasyon matrisinde gösterilecektir. Kullanılan arıza veri türü, 100 km uzunluğunda ve 500 kV, 50 Hz. Frekansında çalışan bir iletim hattı tarafından üretilmiştir. Veri seti, eğitim, test ve doğrulama verileri olmak üzere üç kategoriye ayrılmıştır ve her bir veri seti, nihai performans, doğruluk ve hata doğrulaması açısından değerlendirilmeden önce eğitim aşamasından geçirilecektir.

6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1 Sonuçlar

Bu çalışmada, modern enerji sistemlerinin geleceği olarak görülen akıllı şebekelerde kesintisiz enerji sağlanması amacıyla modelleme ve depolama yöntemlerinin etkinliği araştırılmıştır. Akıllı şebeke teknolojilerinin mevcut enerji sistemlerine entegrasyonu ile ortaya çıkan avantajlar ve karşılaşılan zorluklar kapsamlı bir şekilde ele alınmış, özellikle hızlı arıza tespiti ve enerji sürekliliğini sağlama konularında çözüm önerileri geliştirilmiştir.

Tez kapsamında, akıllı şebekelerin avantajları arasında yer alan iki yönlü iletişim, arıza öncesi ve sonrası durumların daha iyi izlenmesi ve enerji akışının optimize edilmesi gibi özellikler üzerinde durulmuştur. Önerilen modelleme yaklaşımı, yenilenebilir enerji kaynaklarının artan entegrasyonu ve elektrikli araçların yaygınlaşması ile şebekede oluşabilecek potansiyel sorunlara yenilikçi çözümler sunmaktadır. Özellikle, elektrikli araçların şebeke depolama kapasitesi olarak kullanılması, enerji sürekliliğini artırmak ve pik enerji talebini dengelemek açısından önemli bir katkı sağlamaktadır.

Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri, akıllı şebekelerde kullanılan yapay sinir ağı tabanlı sistemlerin, geleneksel yöntemlere kıyasla daha yüksek doğruluk oranları ile arıza tespiti ve yer belirleme sağlayabilmesidir. Önerilen yöntem, arıza tespitinde %100, yer belirleme sürecinde ise %99,5 doğruluk oranı ile yüksek bir başarı göstermiştir. Bu doğruluk oranı, akıllı şebekelerdeki arızaların tespiti ve onarımı sürecinde enerji kesintisi sürelerini önemli ölçüde azaltarak müşteri memnuniyetini artırmaktadır. Ayrıca, depolama sistemlerinin, özellikle batarya tabanlı enerji depolama sistemlerinin ve elektrikli araçların, frekans dengeleme ve yük yönetimi süreçlerinde etkin bir şekilde kullanılabilmesi görülmüştür. Bu, enerji talebindeki dalgalanmaların etkili bir şekilde yönetilmesini sağlayarak enerji şebekesinin esnekliğini artırmaktadır. Depolama teknolojilerinin akıllı şebeke sistemine entegrasyonu, hem teknik hem de ekonomik açıdan önemli faydalar sunmaktadır.

Bu çalışmanın sonuçları, enerji sistemlerinin gelecekteki gelişimine yönelik bazı önemli çıkarımlarda bulunma fırsatı sunmaktadır. Özellikle, enerji sektöründe karşılaşılan ekonomik kayıpların azaltılması, enerji arz güvenliğinin artırılması ve sürdürülebilir enerji çözümlerine olan ihtiyaç, akıllı şebeke teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının önemini bir kez daha ortaya koymuştur. Ayrıca, bu çalışmanın

enerji sektöründeki yenilikçi çözümlere ilham kaynağı olacağı ve gelecekteki araştırmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Sonuç olarak, bu tez, akıllı şebekelerde enerji sürekliliğinin sağlanması amacıyla önerilen modelleme ve depolama yöntemlerinin etkili bir çözüm sunduğunu ortaya koymuştur. Gelecekteki çalışmalar için öneriler, daha büyük ölçekte gerçek saha uygulamaları ile önerilen sistemlerin test edilmesi, yenilenebilir enerji kaynaklarının daha fazla entegrasyonu ve yapay zeka tabanlı yöntemlerin daha da geliştirilmesi yönündedir. Bu bağlamda, enerji sistemlerinin modernizasyonunda akıllı şebekelerin oynayacağı kritik rolü daha iyi anlamak ve uygulamalarda kullanmak için bu alandaki araştırmaların devam etmesi büyük önem taşımaktadır.

6.2 Öneriler

Bu çalışmada, akıllı şebekelerde kesintisiz enerji sağlanması amacıyla geliştirilen modelleme ve depolama yöntemlerinin etkili olduğu ortaya konulmuştur. Ancak, bu alandaki araştırmaların daha da ileriye taşınabilmesi için çeşitli öneriler geliştirilmiştir. Öncelikle, önerilen model ve yöntemlerin gerçek zamanlı akıllı şebeke sistemlerine entegrasyonu sağlanarak saha testleri yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu testler, önerilen sistemlerin pratikteki etkinliğini değerlendirmek için kritik bir adım olacaktır. Elektrikli araçların enerji depolama kapasitesi olarak akıllı şebekelere entegrasyonu konusundaki çalışmaların artırılması da önerilmektedir. Elektrikli araçların farklı yük ve talep senaryolarında performanslarının değerlendirilmesi ve şarj-deşarj dinamiklerinin optimize edilmesi gerekmektedir.

Akıllı şebekelerde yapay zeka ve makine öğrenimi tekniklerinin daha geniş veri setleri ile geliştirilmesi ve farklı coğrafi ve iklim koşullarına uygun modellerin tasarlanması önemlidir. Bunun yanı sıra, enerji depolama sistemlerinin kapasite, maliyet ve dayanıklılık açısından iyileştirilmesi için yeni teknolojilerin araştırılması gerekmektedir. Yenilikçi depolama sistemleri, akıllı şebekelerdeki enerji sürekliliği ve güvenliği artırma potansiyeline sahiptir. Güneş ve rüzgar gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının akıllı şebekelere entegrasyonunu optimize edecek modellerin geliştirilmesi ve bu entegrasyonun çevresel etkileri üzerine çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Ayrıca, akıllı şebekeler için ulusal ve uluslararası standartların oluşturulması, sistemlerin daha güvenli, sürdürülebilir ve uyumlu hale gelmesine katkı sağlayacaktır. Akıllı şebekelerin avantajlarını tüketicilere anlatmak ve farkındalık oluşturmak için

eğitim programlarının dñzenlenmesi ve tñketicilerin enerji talep yñnetimine aktif katılımını sağlayacak teşvik mekanizmalarının geliştirilmesi ۆnerilmektedir. Uzun vadeli performans değerlendirmeleri için detaylı simñlasyon çalışmaları yapılmalı ve bu çalışmalar, olası arıza senaryoları ve enerji talep eğilimleri gۆz ۆnñnde bulundurularak planlanmalıdır.

Son olarak, akıllı şebekelerin siber gñvenlik tehditlerine karşı korunması için gñvenlik protokollerinin geliştirilmesi ve bu alandaki yazılımların gñlendirilmesi ۆnem arz etmektedir. Ayrıca, enerji mñhendisliđi, bilgisayar bilimi, ekonomi ve evre bilimleri gibi farklı disiplinler arasında iş birliği yapılarak yenilikçi ve bñtñncñl ۆzñmler ۆretilmesi teşvik edilmelidir. Bu ۆneriler, enerji yñnetiminde sñrdñrñlebilir ۆzñmler geliştirilmesi ve akıllı şebekelerin geniş ۆlekli uygulanabilirliğini artırmak için bir rehber niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- Aftab, M. A., Hussain, S. S., Ali, I., & Ustun, T. S. (2020). Dynamic protection of power systems with high penetration of renewables: A review of the traveling wave based fault location techniques. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 114, 105410.
- Agüero, J.R. Applying self-healing schemes to modern power distribution systems. In *Proceedings of the 2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting, San Diego, CA, USA, 22–26 July 2012*; pp. 1–4.
- Ahmadian, A., Sedghi, M., Aliakbar-Golkar, M., 2015. Stochastic modeling of plug-in electric vehicles load demand in residential grids considering nonlinear battery charge characteristic. In: *20th Conference on Electrical Power Distribution Networks, Zahedan, 2015*.
- Ahmadipour, M., Othman, M. M., Alrifaey, M., Bo, R., & Ang, C. K. (2022). Classification of faults in grid-connected photovoltaic system based on wavelet packet transform and an equilibrium optimization algorithm-extreme learning machine. *Measurement*, 197, 111338.
- Alavije, H.S., Akhbari, M., 2011. Investigation of induction motor drive behavior in low-cost fault-tolerant control for electric vehicles. In: *5th International Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), Shah Alam, 2011*.
- Aljahani, M. E. (2014). An enhanced self-healing protection system in smart grid: using advanced and intelligent devices and applying hierarchical routing in sensor network technique.
- Aljohani, A., & Habiballah, I. (2020). High-impedance fault diagnosis: a review. *Energies*, 13(23), 6447.
- Altaf, M.W.; Arif, M.T.; Islam, S.N.; Haque, E. Microgrid Protection Challenges and Mitigation Approaches—A Comprehensive Review. *IEEE Access* 2022, 10, 38895–38922.
- Andresen, C. A., Torsæter, B. N., Haugdal, H., & Uhlen, K. (2018, September). Fault detection and prediction in smart grids. In *2018 IEEE 9th international workshop on applied measurements for power systems (AMPS)* (pp. 1-6). IEEE.
- Anjaiah, K., Dash, P. K., & Sahani, M. (2022). A new protection scheme for PV-wind based DC-ring microgrid by using modified multifractal detrended fluctuation analysis. *Protection and Control of Modern Power Systems*, 7(1), 1-24.
- Annaswamy, A.M.; Amin, M. *IEEE Smart Grid Research IEEE Vision for Smart Grid Controls: 2030 and Beyond Reference Model*; IEEE Press: Piscataway, NJ, USA, 2013.

- Aracil, C., Sziebig, G., Korondi, P., Oh, S., Tan, Z., Ruderman, M., ... & Haghani, A. (2021). Toward smart systems: Their sensing and control in industrial electronics and applications. *IEEE Industrial Electronics Magazine*, 15(1), 104-114.
- Argual, D., & Zeng, Q. (2003). *Introduction to Wireless and Mobile Systems*. Stamford, CT: Brooks/Cole, 7.
- Arritt, R., & Dugan, R. (2013, June). Comparing load estimation methods for distribution system analysis. In *22nd International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED 2013)* (pp. 1-4). IET.
- Augustine, S., Brahma, S., Quiroz, J. E., & Reno, M. J. (2018). DC microgrid protection: Review and challenges.
- Azizi, R., & Seker, S. (2021). Microgrid fault detection and classification based on the boosting ensemble method with the Hilbert-Huang transform. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 37(3), 2289-2300.
- Baidya, S., & Nandi, C. (2022). A comprehensive review on DC Microgrid protection schemes. *Electric Power Systems Research*, 210, 108051
- Bansal, Y., & Sodhi, R. (2018). Microgrid fault detection methods: Reviews, issues and future trends. *2018 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia)*, 401-406.
- Batiyah, S., Zohrabi, N., Abdelwahed, S., & Sharma, R. (2018, June). An MPC-based power management of a PV/battery system in an islanded DC microgrid. In *2018 IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC)* (pp. 231-236). IEEE.
- Beheshtaein, S., Savaghebi, M., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2016, September). A hybrid algorithm for fault locating in looped microgrids. In *2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Beheshtaein, S.; Cuzner, R.; Savaghebi, M.; Golestan, S.; Guerrero, J.M. Fault location in microgrids: A communication-based high-frequency impedance approach. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2018, 13, 1229–1237.
- Beheshtaein, S.; Cuzner, R.; Savaghebi, M.; Guerrero, J. Review on microgrids protection. *IET Gener. Transm. Distrib.* 2019, 13, 743–759.
- Beresteanu, A., Li, S., 2011. Gasoline prices, government support, and the demand for hybrid vehicles in the United States. *International Economic Review* 52, 161e182.
- Berkeley, A.R., III; Wallace, M. A Framework for Establishing Critical Infrastructure Resilience Goals; Final Report and Recommendations by the Council; 2010. Available online: <https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/niac/niac-a-framework-for-establishingcritical-infrastructure-resilience-goals-2010-10-19.pdf> (accessed on 22 February 2023).

- Bharathidasan, M., Indragandhi, V., Suresh, V., Jasiński, M., & Leonowicz, Z. (2022). A review on electric vehicle: Technologies, energy trading, and cyber security. *Energy Reports*, 8, 9662-9685.
- Bhuiyan, E. A., Hossain, M. Z., Muyeen, S. M., Fahim, S. R., Sarker, S. K., & Das, S. K. (2021). Towards next generation virtual power plant: Technology review and frameworks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 150, 111358
- Biswal, C., Sahu, B. K., Mishra, M., & Rout, P. K. (2023). Real-time grid monitoring and protection: A comprehensive survey on the advantages of phasor measurement units. *Energies*, 16(10), 4054.
- Blume, S. W. (2016). *Electric power system basics for the nonelectrical professional*. John Wiley & Sons.
- Bukhari, S.B.A.;Wadood, A.; Khurshaid, T.; Mehmood, K.K.; Rhee, S.B.; Kim, K.-C. EmpiricalWavelet Transform-Based Intelligent Protection Scheme for Microgrids. *Energies* 2022, 15, 7995.
- Burridge, M., Alahakoon, S., 2016. The design, and construction of a battery electric vehicle propulsion system-high performance electric kart application. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Guangzhou, 2016.
- Chai, E., Zeng, P., Ma, S., Xing, H., & Zhao, B. (2019, July). Artificial intelligence approaches to fault diagnosis in power grids: A review. In *2019 Chinese Control Conference (CCC)* (pp. 7346-7353). IEEE.
- Chan, C., 1993. An overview of electric vehicle technology. *Proceedings of the IEEE* 81 (9), 1202e1213.
- Chan, C., 2002. The state of the art of electric and hybrid vehicles. *roceedings of the IEEE* 90, 247e275.
- Chan, C., Chau, K., 1997. An overview of power electronics in electric vehicles. *IEEE Transactions on Industrial Electronics* 44, 3e13.
- Chandra, A.; Singh, G.K.; Pant, V. Protection techniques for DC microgrid—A review. *Electr. Power Syst. Res.* 2020, 187, 106439.
- Chatterjee, K. (2011). Effect of battery energy storage system on load frequency control under deregulation. *International Journal of Emerging Electric Power Systems*, 12(3).
- Chen, K.; Huang, C.; He, J. Fault detection, classification and location for transmission lines and distribution systems: A review on the methods. *High Volt.* 2016, 1, 25–33.
- Chen, X.; Wang, T.; Ying, R.; Cao, Z. A Fault Diagnosis Method Considering Meteorological Factors for Transmission Networks Based on P Systems. *Entropy* 2021, 23, 1008.

- Christopher, E., Sumner, M., Thomas, D., & de Wildt, F. (2011, April). Fault location for a DC zonal electrical distribution systems using active impedance estimation. In 2011 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (pp. 310-314). IEEE.
- Cong, X., Zhang, C., Jiang, J., Zhang, W., Jiang, Y., & Zhang, L. (2021). A comprehensive signal-based fault diagnosis method for lithium-ion batteries in electric vehicles. *Energies*, 14(5), 1221.
- Dagar, A.; Gupta, P.; Niranjana, V. Microgrid protection: A comprehensive review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021, 149, 111401.
- Dahiwalé, P. V., & Pindoriya, N. M. (2019, June). Review on fault management in hybrid microgrid. In 2019 IEEE Region 10 Symposium (TENSymp) (pp. 415-422). IEEE.
- Daisy, M.; Dashti, R. Single phase fault location in electrical distribution feeder using hybrid method. *Energy* 2016, 103, 356–368.
- Dashti, R., Daisy, M., Mirshekali, H., Shaker, H. R., & Aliabadi, M. H. (2021). A survey of fault prediction and location methods in electrical energy distribution networks. *Measurement*, 184, 109947.
- Dashti, R., Daisy, M., Mirshekali, H., Shaker, H. R., & Aliabadi, M. H. (2021). A survey of fault prediction and location methods in electrical energy distribution networks. *Measurement*, 184, 109947.
- De La Cruz, J., Gómez-Luna, E., Ali, M., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2023). Fault location for distribution smart grids: Literature overview, challenges, solutions, and future trends. *Energies*, 16(5), 2280.
- De Luca, S., Di Pace, R., Marano, V., 2015. Modelling the adoption intention and installation choice of an automotive aftermarket mild-solar-hybridization kit. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies* 56, 426e445.
- Diamond, D., 2009. The impact of government incentives for hybrid-electric vehicles: evidence from US states. *Energy Policy* 37, 972e983.
- Dokken, D.; Ebi, K.L.; Mastrandrea, M.D.; Mach, K.J.; Plattner, G.-K.; Allen, S.K.; Tignor, M.; Midgley, P.M. Managing theof Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation; A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, 2012.
- Ekanayake, J. B., Jenkins, N., Liyanage, K. M., Wu, J., & Yokoyama, A. (2012). *Smart grid: technology and applications*. John Wiley & Sons.
- El Mrabet, Z.; Kaabouch, N.; El Ghazi, H.; El Ghazi, H. Cyber-security in smart grid: Survey and challenges. *Comput. Electr. Eng.* 2018, 67, 469–482.
- Elliott, D., Cook, T., 2018. *Renewable Energy: from Europe to Africa*. Springer, Berlin.
- Emadi, A., 2005. *Handbook of Automotive Power Electronics and Motor Drives*. CRC Press, Boca Raton.

- Estebesari, A.; Barbierato, L.; Bahmanyar, A.; Bottaccioli, L.; Macii, E.; Patti, E. A SGAM-Based Test Platform to Develop a Scheme for Wide Area Measurement-Free Monitoring of Smart Grids under High PV Penetration. *Energies* 2019, 12, 1417.
- Farkhani, J.S.; Zareein, M.; Najafi, A.; Melicio, R.; Rodrigues, E.M.G. The Power System and Microgrid Protection—A Review. *Appl. Sci.* 2020, 10, 8271.
- Faruque, M. O., Strasser, T., Lauss, G., Jalili-Marandi, V., Forsyth, P., Dufour, C., ... & Paolone, M. (2015). Real-time simulation technologies for power systems design, testing, and analysis. *IEEE Power and Energy Technology Systems Journal*, 2(2), 63-73; Sidwall, K., & Forsyth, P. (2022). A review of recent best practices in the development of real-time power system simulators from a simulator manufacturer's perspective. *Energies*, 15(3), 1111
- Ferrag, M. A., Maglaras, L. A., Janicke, H., Jiang, J., & Shu, L. (2018). A systematic review of data protection and privacy preservation schemes for smart grid communications. *Sustainable cities and society*, 38, 806-835.
- Fotopoulou, M., Rakopoulos, D., Trigkas, D., Stergiopoulos, F., Blanas, O., & Voutetakis, S. (2021). State of the art of low and medium voltage direct current (Dc) microgrids. *Energies*, 14(18), 5595.
- Furse, C. M., Kafal, M., Razzaghi, R., & Shin, Y. J. (2020). Fault diagnosis for electrical systems and power networks: A review. *IEEE Sensors Journal*, 21(2), 888-906.
- Gallagher, K.S., Muehlegger, E., 2011. Giving green to get green? Incentives and consumer adoption of hybrid vehicle technology. *Journal of Environmental Economics and Management* 61, 1e15.
- Glover, J.D.; Overbye, T.J.; Sarma, M.S. *Power System Analysis & Design Sixth Edition*. 2017.
- Golden, W.; Powell, P. Towards a definition of flexibility: In search of the Holy Grail? *Omega* 2000, 28, 373–384.
- Gunduz, M.Z.; Das, R. Cyber-security on smart grid: Threats and potential solutions. *Comput. Netw.* 2020, 169, 107094.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE transactions on Industrial informatics*, 7(4), 529-539.
- Haes Alhelou, H.; Hamedani-Golshan, M.E.; Njenda, T.C.; Siano, P. A Survey on Power System Blackout and Cascading Events: Research Motivations and Challenges. *Energies* 2019, 12, 682.
- Hallems, L., Ravyts, S., Govaerts, G., Fekriasl, S., Van Tichelen, P., & Driesen, J. (2022). A stepwise methodology for the design and evaluation of protection strategies in LVDC microgrids. *Applied Energy*, 310, 118420.

- Hallems, L., Van den Broeck, G., Ravyts, S., Alam, M. M., Dalla Vecchia, M., Van Tichelen, P., & Driesen, J. (2019, May). Fault identification and interruption methods in low voltage dc grids—A review. In 2019 IEEE Third International Conference on DC Microgrids (ICDCM) (pp. 1-8). IEEE.
- Hannan, M. A., Hoque, M. M., Mohamed, A., & Ayob, A. (2017). Review of energy storage systems for electric vehicle applications: Issues and challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 771-789.
- Hannan, M., Azidin, F., Mohamed, A., 2014. Hybrid electric vehicles and their challenges: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 29, 135e150.
- Hao, B. (2020). AI in arcing-HIF detection: a brief review. *IET Smart Grid*, 3(4), 435-444.
- Hare, J.; Shi, X.; Gupta, S.; Bazzi, A. Fault diagnostics in smart micro-grids: A survey. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016, 60, 1114–1124.
- Helbing, G.; Ritter, M. Deep Learning for fault detection in wind turbines. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2018, 98, 189–198.
- Hernandez-Matheus, A., Löschenbrand, M., Berg, K., Fuchs, I., Aragüés-Peñalba, M., Bullich-Massagué, E., & Sumper, A. (2022). A systematic review of machine learning techniques related to local energy communities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 170, 112651
- Hossam-Eldin, A., Lotfy, A. Elgamal, M. Ebeed, M. Combined traveling wave and fuzzy logic based fault location in multi-terminal HVDC systems, in: *EEEIC 2016 - International Conference on Environment and Electrical Engineering*, 2016, <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2016.7555591>.
- Hosseinzadeh, J., Masoodzadeh, F., & Roshandel, E. (2019). Fault detection and classification in smart grids using augmented K-NN algorithm. *SN Applied Sciences*, 1(12), 1627.
- Hosseinzadeh, M.; Salmasi, F.R. Fault-Tolerant Supervisory Controller for a Hybrid AC/DC Micro-Grid. *IEEE Trans. Smart Grid* 2016, 9, 2809–2823.
- Hosseinzadeh, M.; Salmasi, F.R.R. Islanding Fault Detection in Microgrids—A Survey. *Energies* 2020, 13, 3479.
- Huan, V. P. (2014). An ANFIS based approach to improve the fault location on 110kV transmission line Dak Mil-Dak Nong. *International Journal of Computer Science Issues (IJCSI)*, 11(3), 1.
- Husin, H., & Zaki, M. (2021). A critical review of the integration of renewable energy sources with various technologies. *Protection and control of modern power systems*, 6(1), 1-18.
- Hussain, N., Nasir, M., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2020). Recent developments and challenges on AC microgrids fault detection and protection systems—a review. *Energies*, 13(9), 2149.

- IEC SRD 62913-1; Generic Smart Grid Requirements—Part 1: Specific Application of the Use Case Methodology for Defining Generic Smart Grid Requirements According to the IEC Systems Approach. IEC: Geneva, Switzerland, 2022.
- İzgi, M., & Tür, M. R. (2024). Providing Uninterrupted Energy with Fault Detection and Storage Method in Smart Grids. *Journal of Engineering and Technology*, 5(1), 22-32.
- Jadidi, S., Badihi, H., & Zhang, Y. (2020). Fault diagnosis in microgrids with integration of solar photovoltaic systems: A review. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 12091-12096.
- Javed, W., Chen, D., Farrag, M. E., & Xu, Y. (2019). System configuration, fault detection, location, isolation and restoration: A review on LVDC microgrid protections. *Energies*, 12(6), 1001.
- Jayabharata Reddy, M. Mohanta, D.K. A wavelet-fuzzy combined approach for classification and location of transmission line faults, *Int. J. Electr. Power Energy Syst.* (2007), <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2007.05.001>.
- Jia, K., Bi, T., Ren, Z., Thomas, D. W., & Sumner, M. (2016). High frequency impedance based fault location in distribution system with DGs. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 9(2), 807-816.
- Jiang, H.; Zhang, J.J.; Gao, D.W. Fault localization in Smart Grid using wavelet analysis and unsupervised learning. In *Proceedings of the 2012 Conference Record of the Forty Sixth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers (ASILOMAR)*, Pacific Grove, CA, USA, 4–7 November 2012; pp. 386–390.
- Kabalcı, E., Bayındır, R., & Tür, M. R. (2021). *Mikroşebekeler ve dağıtık üretim sistemleri*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Kalyani, S., Nagalakshmi, S., & Marisha, R. (2012, July). Load frequency control using battery energy storage system in interconnected power system. In *2012 Third International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT'12)* (pp. 1-6). IEEE.
- Karimi, H., Fani, B., & Shahgholian, G. (2020). Multi agent-based strategy protecting the loop-based micro-grid via intelligent electronic device-assisted relays. *IET Renewable Power Generation*, 14(19), 4132-4141.
- Kebriaei, M., Niasar, A.H., Asaei, B., 2015. Hybrid electric vehicles: an overview. In: *2015 International Conference on Connected Vehicles, and Expo (ICCVE)*, Shenzhen, 2015.
- Kezunovic, M. (2011). Smart fault location for smart grids. *IEEE transactions on smart grid*, 2(1), 11-22.
- Khalid, H., & Shobole, A. (2021). Existing developments in adaptive smart grid protection: A review. *Electric Power Systems Research*, 191, 106901.
- Khodr, H. M. (Ed.). (2013). *Smart Microgrids: New Advances, Challenges, and Opportunities in the Actual Power Systems*. Nova Publishers.

- Kiehne, H.A., 2003. *Battery Technology Handbook*. CRC Press, Boca Raton.
- Koniak, M., Czerepicki, A., 2017. Selection of the battery pack parameters for an electric vehicle based on performance requirements. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Pitesti, 2017.
- Korada, P., & Devidas, A. R. (2016, January). Studying the impact of AC-microgrid on the main grid and it's fault analysis. In *2016 Biennial International Conference on Power and Energy Systems: Towards Sustainable Energy (PESTSE)* (pp. 1-6). IEEE.
- Kumar, R., & Saxena, D. (2017, October). Fault analysis of a distribution system embedded with plug-in electric vehicles. In *2017 Recent Developments in Control, Automation & Power Engineering (RDCAPE)* (pp. 230-234). IEEE.
- Li, Z.; Yang, R.; Guo, X.; Wang, Z.; Chen, G. A Novel Voltage Sag Detection Method Based on a Selective Harmonic Extraction Algorithm for Nonideal Grid Conditions. *Energies* 2022, 15, 5560.
- Liang, H.; Liu, C.; Liu, W.; Li, W.; Xu, H. Intelligent fault diagnosis method of spacecraft control system based on sequence data-image mapping. *Math. Found. Comput.* 2022.
- Lim, K. Y., Wang, Y., & Zhou, R. (1996). Robust decentralised load–frequency control of multi-area power systems. *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, 143(5), 377-386.
- Liu, G. A New Method for Fault Diagnosis of Building Electrical System Based on RBF-BP Neural Network. In *Proceedings of the 2019 International Conference on Intelligent Computing, Automation and Systems (ICICAS)*, Chongqing, China, 6–8 December 2019; pp. 470–474.
- Mahmoud, M. A., Md Nasir, N. R., Gurunathan, M., Raj, P., & Mostafa, S. A. (2021). The current state of the art in research on predictive maintenance in smart grid distribution network: Fault's types, causes, and prediction methods—A systematic review. *Energies*, 14(16), 5078.
- Malik, A.; Haque, A.; Kurukuru, V.S.B.; Khan, M.A.; Blaabjerg, F. Overview of fault detection approaches for grid connected photovoltaic inverters. *Electron. Energy* 2022, 2, 100035.
- Manandhar, K.; Cao, X.; Hu, F.; Liu, Y. Detection of Faults and Attacks Including False Data Injection Attack in Smart Grid Using Kalman Filter. *IEEE Trans. Control Netw. Syst.* 2014, 1, 370–379.
- Mar, A., Pereira, P., & F. Martins, J. (2019). A survey on power grid faults and their origins: A contribution to improving power grid resilience. *Energies*, 12(24), 4667.
- Martin, K. E., & Carroll, J. R. (2008). Phasing in the technology. *IEEE Power and Energy Magazine*, 6(5), 24-33. E. Santacana, G. Rackliffe, L. Tang, and X. Feng, "Getting smart," *IEEE Power and Energy Mag.*, vol. 8, no. 2, pp. 41-48, Mar./Apr. 2010.

- Mohamed, A.S.; Arani, M.F.M.; Jahromi, A.A.; Kundur, D. False Data Injection Attacks Against Synchronization Systems in Microgrids. *IEEE Trans. Smart Grid* 2021, 12, 4471–4483.
- Mousa, M., Abdelwahed, S., & Kluss, J. (2019). Review of fault types, impacts, and management solutions in smart grid systems.
- Munshi, A.A.; Mohamed, Y.A.-R.I. Extracting and Defining Flexibility of Residential Electrical Vehicle Charging Loads. *IEEE Trans. Ind. Inform.* 2017, 14, 448–461.
- Nitti, M., Pilloni, V., Colistra, G., et al., 2015. The virtual object as a major element of the internet of things: a survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 18 (2), 1228e1240.
- Nougain, V.; Panigrahi, B.K. Detection of DC System Faults Based on the Principle of Threshold Violation in i-r Plane. *IEEE Syst. J.* 2020, 15, 856–864.
- Ortiz, L., González, J. W., Gutierrez, L. B., & Llanes-Santiago, O. (2020). A review on control and fault-tolerant control systems of AC/DC microgrids. *Heliyon*, 6(8).
- Pakonen, P., Siddiqui, B. A., & Verho, P. (2016). A novel concept of secondary substation monitoring: Possibilities and challenges. 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT-Asia), 1225-1230.
- Passerini, F., & Tonello, A. M. (2017). Analysis of high-frequency impedance measurement techniques for power line network sensing. *IEEE Sensors Journal*, 17(23), 7630-7640.
- Patnaik, B., Mishra, M., Bansal, R. C., & Jena, R. K. (2020). AC microgrid protection—A review: Current and future prospective. *Applied Energy*, 271, 115210.
- Patnaik, B.; Mishra, M.; Bansal, R.C.; Jena, R.K. AC microgrid protection—A review: Current and future prospective. *Appl. Energy* 2020, 271, 115210.
- Pinsky, N.R., Argueta, J.C., Knipe, T.J., et al., 2000. Fast charge of lead-acid batteries at the SCE EV Tech Center. In: *The Fifteenth Annual Battery Conference on Applications and Advances*, Long Beach, 2000.
- Pollet, B.G., Staffell, I., Shang, J.L., 2012. Current status of hybrid, battery and fuel cell electric vehicles: from electrochemistry to market prospects. *Electrochimica Acta* 84, 235e249.
- Prasad, A. Edward, J.B. Application of wavelet technique for Fault Classification in transmission systems, *Procedia Comput. Sci.* 92 (2016) 78–83, <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.326>.
- Quitana, G., Molinos-Senante, M., & Chamorro, A. (2020). Resilience of critical infrastructure to natural hazards: A review focused on drinking water systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 48, 101575.

- Rahman Fahim, S., K. Sarker, S., Muyeen, S. M., Sheikh, M. R. I., & Das, S. K. (2020). Microgrid fault detection and classification: Machine learning based approach, comparison, and reviews. *Energies*, 13(13), 3460.
- Rahmati, A., & Adhami, R. (2014). A fault detection and classification technique based on sequential components. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 50(6), 4202-4209.
- Ramesh Rao, A. G., Koley, E., & Ghosh, S. (2022). An optimal sensor location based protection scheme for DER-integrated hybrid AC/DC microgrid with reduced communication delay. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 30, 100680.
- Ramesh Rao, A. G., Koley, E., & Ghosh, S. (2022). An optimal sensor location based protection scheme for DER-integrated hybrid AC/DC microgrid with reduced communication delay. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 30, 100680.
- Rangel-Damián, A., Melgoza-Vázquez, E., & Ruíz-Paredes, H. F. (2017, November). Application of fault location methods in distribution circuits with SCADA. In 2017 IEEE International Autumn Meeting on Power, Electronics and Computing (ROPEC) (pp. 1-6). IEEE.
- Rebours, Y. ve Kirschen, D. S., (2005). "A Survey of Definitions and Specifications of Reserve Services", Release 1, University of Manchester, U. K.
- Rezaei, N., & Uddin, M. N. (2021). An analytical review on state-of-the-art microgrid protective relaying and coordination techniques. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 57(3), 2258-2273.
- Rivas, A. E. L., & Abrao, T. (2020). Faults in smart grid systems: Monitoring, detection and classification. *Electric Power Systems Research*, 189, 106602.
- Ryan, M., & Lucifredi, F. (2018). *AWS System Administration: Best Practices for Sysadmins in the Amazon Cloud*. " O'Reilly Media, Inc."
- Saadat, H. (2002). *Power System Analysis*, 2nd ed. Hightstown, NJ: McGraw-Hill Primis Custom.
- Saha, M. M., Izykowski, J. J., & Rosolowski, E. (2009). *Fault location on power networks*. Springer Science & Business Media.
- Sahoo, S.; Dragicevic, T.; Blaabjerg, F. An Event-Driven Resilient Control Strategy for DC Microgrids. *IEEE Trans. Power Electron.* 2020, 35, 13714–13724.
- Samanta, A., Chowdhuri, S., & Williamson, S. S. (2021). Machine learning-based data-driven fault detection/diagnosis of lithium-ion battery: A critical review. *Electronics*, 10(11), 1309.
- Samanta, A., Chowdhuri, S., & Williamson, S. S. (2021). Machine learning-based data-driven fault detection/diagnosis of lithium-ion battery: A critical review. *Electronics*, 10(11), 1309.

- Santacana, E., Rackliffe, G., Tang, L., & Feng, X. (2010). Getting smart. *IEEE power and energy magazine*, 8(2), 41-48.
- Sarangi, S.; Sahu, B.K.; Rout, P.K. High-impedance fault identification and location by using mode decomposition integrated adaptive multi-kernel extreme learning machine technique for distributed generator-based microgrid. *Electr. Eng.* 2022, 105, 1–24.
- Sarathkumar, D., Srinivasan, M., Stonier, A. A., Samikannu, R., Dasari, N. R., & Raj, R. A. (2021, February). A technical review on self-healing control strategy for smart grid power systems. In *IOP conference series: materials science and engineering* (Vol. 1055, No. 1, p. 012153). IOP Publishing.
- Sardashti, A.; Ramezani, A.; Nezhad, H.S.; Moradmand, A. Observer-based Sensor Fault Detection in Islanded AC Microgrids Using Online Recursive Estimation. In *Proceedings of the 2019 6th International Conference on Control, Instrumentation and Automation (ICCIA)*, Sanandaj, Iran, 30–31 October 2019; pp. 1–6.
- Sarwar, M.; Asad, B. A review on future power systems; technologies and research for smart grids. In *Proceedings of the 2016 International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, Islamabad, Pakistan, 18–19 October 2016; pp. 1–6.
- Sauer, P.W.; Pai, M.A. *Power System Dynamics and Stability*, 1st ed.; Prentice Hall: Hoboken, NJ, USA, 1997.
- Shadi, M. R., Ameli, M. T., & Azad, S. (2022). A real-time hierarchical framework for fault detection, classification, and location in power systems using PMUs data and deep learning. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 134, 107399.
- Shafiullah; Abido, M.A.; Al-Mohammed, A.H. Intelligent fault diagnosis for distribution grid considering renewable energy intermittency. *Neural Comput. Appl.* 2022, 34, 16473–16492.
- Shanmugapriya, V., Vidyasagar, S., & Vijayakumar, K. (2021). Recent developments in AC and DC microgrids: systematic evaluation of protection schemes. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 11(4), 1850-1870.
- Shen, C., Shan, P., Gao, T., 2011. A comprehensive overview of hybrid electric vehicles. *International Journal of Vehicular Technology 2011 (S1)*, 1e7.
- Shen, Q., Jiang, B., & Shi, P. (2017). Fault diagnosis and fault-tolerant control based on adaptive control approach (Vol. 91). Switzerland: Springer.
- Sidwall, K., & Forsyth, P. (2022). A review of recent best practices in the development of real-time power system simulators from a simulator manufacturer’s perspective. *Energies*, 15(3), 1111.
- Singh, B., Jain, P., Mittal, A. P., & Gupta, J. R. P. (2006, April). Direct torque control: a practical approach to electric vehicle. In *2006 IEEE Power India Conference* (pp. 4-pp). IEEE.

- Singh, B., Sharma, N. K., Tiwari, A. N., Verma, K. S., & Singh, S. N. (2011). Applications of phasor measurement units (PMUs) in electric power system networks incorporated with FACTS controllers. *International Journal of Engineering, Science and Technology*, 3(3).
- Srivastava, A., & Parida, S. K. (2019, December). Recognition of fault location and type in a medium voltage system with distributed generation using machine learning approach. In *2019 20th International Conference on Intelligent System Application to Power Systems (ISAP)* (pp. 1-7). IEEE.
- Srivastava, A., & Parida, S. K. (2022). Data driven approach for fault detection and Gaussian process regression based location prognosis in smart AC microgrid. *Electric Power Systems Research*, 208, 107889.
- Srivastava, C., & Tripathy, M. (2021). DC microgrid protection issues and schemes: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 151, 111546.
- Stefanidou-Voziki, P., Sapountzoglou, N., Raison, B., & Dominguez-Garcia, J. L. (2022). A review of fault location and classification methods in distribution grids. *Electric Power Systems Research*, 209, 108031.
- Tadros, M., Ventura, M., & Soares, C. G. (2023). Review of current regulations, available technologies, and future trends in the green shipping industry. *Ocean Engineering*, 280, 114670.
- Thompson, T.M., King, C.W., Allen, D.T., et al., 2011. Air quality impacts of plug-in hybrid electric vehicles in Texas: evaluating three battery charging scenarios. *Environmental Research Letters* 6, 024004.
- Thwe, E. P., & Oo, M. M. (2016). Fault detection and classification for transmission line protection system using artificial neural network. *Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 4(5), 89-96.
- Tîrnovan, R. A., & Cristea, M. (2019, May). Advanced techniques for fault detection and classification in electrical power transmission systems: An overview. In *2019 8th International Conference on Modern Power Systems (MPS)* (pp. 1-10). IEEE.
- Tur, M. R. (2018). Elektrik Güç Sistemlerindeki Döner Rezerv Gereksiniminin Ekonomik Yönden İncelenmesi, *Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul*.
- Tur, M. R., & Yaprakdal, F. (2020). Investigation of power quality in a system based on renewable energy sources. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Part C: Tasarım Ve Teknoloji*, 8(3), 572-587.
- UCTE, (2004). "Union for the Co-Ordination of Transmission of Electricity Operation Handbook", v 2.5E, the 20th of July 2004. B-1040 Brussels - Belgium.
- Vaish, R.; Dwivedi, U.; Tewari, S.; Tripathi, S. Machine learning applications in power system fault diagnosis: Research advancements and perspectives. *Eng. Appl. Artif. Intell.* 2021, 106, 10450.

- Vuddanti, S., & Salkuti, S. R. (2021). Review of energy management system approaches in microgrids. *Energies*, 14(17), 5459.
- Wang, B.; Liu, Y.; Zhao, J.; Jia, Y.; Chen, X. State Estimation Based Fault Location Method for Active Distribution Networks. In Proceedings of the 2020 IEEE Power & Energy Society General Meeting (PESGM), Montreal, QC, Canada, 2–6 August 2020; pp. 1–5.
- Wilches-Bernal, F., Jiménez-Aparicio, M., & Reno, M. J. (2022, April). An algorithm for fast fault location and classification based on mathematical morphology and machine learning. In 2022 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT) (pp. 1-5). IEEE.
- Wirasingha, S.G., Emadi, A., 2009. Pihef: plug-in hybrid electric factor. *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 60 (3), 1279e1284.
- Wu, H., Niu, D., 2017. Study on influence factors of electric vehicles charging station location based on ISM and FMICMAC. *Sustainability* 9 (4), 484e503.
- Xia, W., Mahmood, A., Zou, R., et al., 2015. Metal-organic frameworks and their derived nanostructures for electrochemical energy storage and conversion. *Energy & Environmental Science* 8, 1837e1866.
- Xie, H., Jiang, M., Zhang, D., Goh, H. H., Ahmad, T., Liu, H., ... & Wu, T. (2023). IntelliSense technology in the new power systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 177, 113229.
- Xu, C., & Qi, X. (2009). Recent developments in power system diagnostics and protection: Synchronized sampling and phasor measurement. *Recent Patents on Engineering*, 3(1), 13-17.
- Xu, C.; Liao, Z.; Li, C.; Zhou, X.; Xie, R. Review on Interpretable Machine Learning in Smart Grid. *Energies* 2022, 15, 4427.
- Xu, X., Xu, C., Zhang, Y., Zhao, Y., & Wang, S. (2021, July). Traveling Wave Feature Classification-Based Fault Location in Active Distribution Network. In 2021 IEEE/IAS Industrial and Commercial Power System Asia (I&CPS Asia) (pp. 1041-1046). IEEE.
- Xue-Song, Z., Li-Qiang, C., & You-Jie, M. (2010, October). Research on smart grid technology. In 2010 International Conference on Computer Application and System Modeling (ICCA SM 2010) (Vol. 3, pp. V3-599). IEEE.
- Yang, J., Cheng, F., Duodu, M., Li, M., & Han, C. (2022). High-precision Fault Detection for electric vehicle battery system based on bayesian optimization SVDD. *Energies*, 15(22), 8331.
- Yang, Y.; Huang, C.; Xu, Q. A Fault Location Method Suitable for Low-Voltage DC Line. *IEEE Trans. Power Deliv.* 2019, 35, 194–204.

- Youssef, O.A.S. Combined fuzzy-logic wavelet-based fault classification technique for power system relaying, *IEEE Trans. Power Deliv.* (2004), <https://doi.org/10.1109/TPWRD.2004.826386>.
- Zangeneh, A., & Moradzadeh, M. (2020). Self-healing: definition, requirements, challenges and methods. *Microgrid Architectures, Control and Protection Methods*, 509-525.
- Zeng, Q.; Deng, W.; Fan, Z.; Yao, W.; Jiang, L. Federal-Kalman-filter-based Fault-Tolerant Wide-Area Damping Control for AC/DC Power System. In *Proceedings of the 2018 37th Chinese Control Conference (CCC)*, Wuhan, China, 25–27 July 2018.
- Zhang, Y., & Wang, Z. (2014, July). Fault factor analysis with phasor measurement units. In *2014 IEEE PES General Meeting| Conference & Exposition* (pp. 1-5). IEEE.
- Zhu, Z.; Duan, B.; Yang, Z.; Yin, Q.; Chen, J. A multi-agent and big data self-healing scheme for active distribution network with inverter-based distributed generators. In *Proceedings of the 2016 IEEE Innovative Smart Grid Technologies—Asia (ISGT-Asia)*, Melbourne, VIC, Australia, 28 November–1 December 2016; pp. 972–977.