

**KOCAELI ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLER ENİSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ VE ENERJİ  
DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN YER ALDIĞI, AKILLI DC  
MİKROŞEBEKE**

**SABER NIKFAL MOGHANLOU**

**KOCAELİ 2020**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ELEKTRİK MÜHENDİSLİĞİ**  
**ANABİLİM DALI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ VE ENERJİ**  
**DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN YER ALDIĞI, AKILLI DC**  
**MİKROŞEBEKE**

**SABER NIKFAL MOGHANLOU**

**Doç.Dr. Nuran YÖRÜKEREN**  
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Prof.Dr. Nurettin ABUT**  
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Doç.Dr. Serhat DUMAN**  
**Jüri Üyesi, Düzce Üniversitesi** .....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 04.02.2020**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER

İlk olarak, araştırma çalışmalarına devam etmem için bana güç, yetenek, bilgi ve sabır vermenin yanı sıra yüksek lisansımı tatmin edici bir şekilde tamamlama azmi veren Yüce ALLAHA şükranlarımı ve saygımı ifade etmek istiyorum. Derin duygularımı belirtmek üzere danışman hocam, sayın Prof. Dr. Nuran YÖRÜKEREN'e Yüksek lisans çalışmalarım boyunca rehberliği, motivasyon ve denetimleri için içten şükranlarımı sunuyorum. Ayrıca Coimbra Üniversitesi (Portekiz) Elektrik ve Bilgisayar Mühendisliği Bölümünden, sayın Dr. Álvaro Filipe Peixoto Gomes, desteği, profesyonel yaklaşımı ve pratik bilgisiyle Tez çalışmalarımın ilk döneminde mümkün olan en iyi şekilde başlatmama ve sürdürmeme yardımcı oldu. Onun büyük desteği olmasaydı bu mümkün olmazdı. Bölüm başkanımız ve jüri heyeti sayın Prof. Dr. Nurretin ABUT Hocamın yüksek lisansa başladığım günden son savunma gününe dek, gerek ders döneminde, gerekse diğer araştırma ve başka zamanlarda yanımda durdukları, destekleri ve değerli yorumları için teşekkürlerimi arz ediyorum. Hocalarımın yanı sıra, bütün arkadaşlarıma ve tüm Kocaeli Üniversitesi Elektrik Mühendisliği Bölümü akademik persöneline teşekkür ediyorum.

Son olarak, Babam Adıgözel, Annem Gültac ve kardeşlerime koşulsuz sevgi, destek ve duaları için minnettarım.

Şubat, 2020

Saber NIKFAL MOGHANLOU

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜRLER .....	i
İÇİNDEKİLER .....	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ .....	v
TABLolar DİZİNİ .....	vii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	viii
ÖZET .....	x
ABSTRACT .....	xi
GİRİŞ .....	1
1. KONUNUN TEMEL BİLİMİ VE MOTİVASYON .....	6
1.1. Elektrik Güç Sisteminin Kısa Tarihi .....	6
1.2. Dağıtılmış Üretim (DG) .....	10
1.3. Mikroşebeke .....	13
1.4. Yenilenebilir Enerji .....	14
1.5. Motivasyon .....	16
1.6. Literatür Taraması .....	18
1.7. Tez Kapsamı .....	21
2. MİKRO ŞEBEKELER .....	22
2.1. Giriş .....	22
2.2. Akıllı Mikroşebekeler .....	23
2.3. AC ve DC Mikroşebeke Karşılaştırması .....	25
2.4. Hibrit AC/DC Mikroşebeke .....	28
2.5. Mevcut AC Mikroşebekelerde Sorun Bildirimi .....	28
2.6. DCMŞ Araştırma Alanları ve Tezin Odak Alanı .....	30
3. DC MİKROŞEBEKE .....	31
3.1. Giriş .....	31
3.2. DCMŞ Grilim Polaritesi .....	34
3.3. DC Mikroşebeke Mimarisi .....	35
3.4. DC Güç Dönüştürücüler .....	39
3.4.1. DCMŞ ile AC arayüzü .....	39
3.4.1.1. Arayüz dönüştürücü topolojiler .....	39
3.4.1.2. AC-DC dönüştürücü paralel bağlantıları .....	41
3.4.1.3. DCMŞ arayüz elektronik trafo .....	44
3.4.2. DC / DC buck-boost çevirici .....	45
3.4.3. DCMŞ’de uygulanan güçkalite standart ve tanımlar .....	45
3.4.4. DC güç kalite sorunları .....	46
3.4.4.1. Geçici parametre ve durumlar .....	47
3.4.4.2. Kısa ve uzun süreli varyasyonlar .....	49
3.4.4.3. Dengesizlik .....	51
3.4.4.4. Dalga formu bozulması .....	53
3.4.4.5. Voltaj titremeleri (dalgalanmaları) .....	55
3.4.4.6. DC’de olmayan AC güç kalitesi sorunları .....	56

3.5.	DCMG Koruma Sistemleri.....	58
3.5.1.	DC mikroşebekelerdeki hatalar.....	58
3.6.	CPL'lerin DC Mikroşebeke Koruması Üzerindeki Etkisi .....	65
3.7.	DC Mikroşebeke Koruma Zorlukları .....	66
3.7.1.	Arıza akımının yönü .....	67
3.7.2.	Akım bazlı rölenin koordinasyon sorunu .....	67
3.7.3.	AC devre kesicilerin uygun olmaması (CB'ler) .....	68
3.7.4.	Kısa devre seviyesindeki değişiklik.....	68
3.7.5.	Eviricilerin düşük arıza akım kapasitesi.....	68
3.8.	DC Mikroşebekelerde Koruma Yöntemleri .....	69
3.8.1.	Akım ve gerilim temelli yöntemler .....	69
3.8.2.	Empedansa dayalı yöntemler .....	70
3.8.3.	İletişim tabanlı yöntemler .....	71
3.8.4.	Yerel koruma yöntemleri.....	71
3.8.5.	Dalga ve akıllı yöntemler .....	72
3.9.	DC Mikroşebeke Koruma Cihazları .....	72
3.9.1.	Sigortalar .....	73
3.9.2.	DC devre kesiciler (CB).....	75
3.9.3.	Anahtar .....	76
3.9.4.	Kesicisiz anahtar .....	77
3.10.	DC Mikroşebekelerinin Farklı Parçalarının Korunması .....	80
3.10.1.	PV koruma yöntemleri .....	80
3.10.2.	Rüzgar türbini koruma yöntemi .....	82
3.10.3.	Akü koruma yöntemleri .....	82
3.11.	DCMG'de Topraklama .....	83
3.11.1.	Sistem açıklaması .....	85
3.11.2.	AC şebeke topraklama düzenlemesi .....	85
3.11.3.	DCMG topraklamada AC topraklamadan faydalanmak .....	87
3.11.4.	AC-DC dönüştürücü topolojisi hata akım yolları .....	88
3.11.5.	DC mikroşebeke'de olası topraklama düzenlemesi .....	89
3.11.6.	Topraklama hatası izleme tekniği .....	92
3.11.7.	Topraklama ve koruma şeması .....	94
3.12.	DC Mikroşebekelerde Güç Kalitesi .....	94
3.13.	Mikroşebekelerde İletişim Sistemi .....	97
3.14.	DC Mikroşebeke İletişim Şebekeleri .....	98
3.14.1.	DC mikroşebeke iletişim altyapı zorlukları .....	99
3.14.2.	DC sistemi için voltaj seviye seçimi .....	100
3.15.	Enerji Depolama Sistemi .....	103
4.	TASARIM VE SİMÜLASYON .....	105
4.1.	Giriş.....	105
4.2.	Önerilen DC Mikroşebekenin Tasarımı ve Simülasyonu .....	107
4.2.1.	Yenilenebilir enerji kaynağı (güneş paneli) .....	109
4.2.2.	Enerji depolama sistemi .....	112
4.2.3.	V2G.....	114
4.2.4.	Yerleşim alan yükleri .....	116
4.2.5.	DC topoloji, bus ve iletim hatları .....	118
4.2.6.	Güç elektronik cihazları .....	120

4.3. Tartışma ve Simülasyon Sonuçları .....	122
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	125
KAYNAKLAR .....	127



## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 3.1.	DC Mikroşebeke Diyagramı .....	33
Şekil 3.2.	Farklı AC-DC topolojileri (a) tek fazlı PFC (b) üç fazlı EI ve (c) üç fazlı Viyana doğrultucu .....	41
Şekil 3.3.	(a) İki üç fazlı doğrultucuların aşağıdakilere paralel bağlanması farklı DC-link filtre konfigürasyonları (b) eşdeğer empedans döngüsü .....	42
Şekil 3.4.	(a) S1 ve S2 kapatıldığında MMR topolojisi. (b) Gerilim .....	43
Şekil 3.5.	Güç kalitesi konularının zaman frekans sınıflandırması. ....	46
Şekil 3.6.	a)Yarım Köprü düzleştirici b)nötür nokta kenetlenmiş 3faz düzleştirici devre .....	50
Şekil 3.7.	DCMŞ'de Simülasyon sonucu Güç Kalite Karakteristiği .....	56
Şekil 3.8.	Biopole sistemde doğrultucunun DC tarafında ki hatalar .....	59
Şekil 3.9.	İki Kutup arası arıza devresi a) kapasitör-boşalma aşaması b) diyot serbest flyweel ile kablo endüktans deşarj aşaması c) Şebeke tarafı akım besleme aşaması .....	61
Şekil 3.10.	İki Kutup arası arıza karakteristikleri .....	63
Şekil 3.11.	DC sistemindeki SC akımı .....	64
Şekil 3.12.	hata akımı ve koruma örneği .....	65
Şekil 3.13.	V–I eğim modellemesi .....	66
Şekil 3.14.	Tek kutuplu DC mikro şebekeler TT topraklama sistemi .....	89
Şekil 3.15.	Tek kutuplu DC mikro şebekeler TN topraklama sistemi .....	90
Şekil 3.16.	Tek kutuplu DC mikro şebekeler IT topraklama sistemi .....	92
Şekil 3.17.	İki kutuplu DC mikro şebekeler IT topraklama sistemi .....	93
Şekil 3.18.	Diyot topraklama sisteminin blok şeması .....	93
Şekil 4.1.	Akıllı Mikroşebeke konsepti .....	105
Şekil 4.2.	Akıllı DC Mikroşebeke .....	106
Şekil 4.3.	Adalaşabilen Ev .....	107
Şekil 4.4.	Akıllı DC Mikroşebeke İnteraktif Komşular .....	108
Şekil 4.5.	Tek diyot PV hücre modeli için eşdeğer devre .....	109
Şekil 4.6.	a) Güneş ışınım seviye etkisi $i_c - v_c$ karakteristiği b) Güneş ışınım seviye etkisi $P_c - v_c$ karakteristiği c) Hava sıcaklık seviye etkisi $i_c - v_c$ karakteristiği d) Hava sıcaklık seviye etkisi $P_c - v_c$ karakteristiği .....	109
Şekil 4.7.	PV lerde sıcaklık ve güneş ışınımı, akım üzerine etkisi .....	110
Şekil 4.8.	PV lerde gerilim üzerine sıcaklık ve güneş ışın etkisi .....	110
Şekil 4.9.	Maksimum Güç Noktası Takibi (MPP) .....	111
Şekil 4.10.	PV sistem simulink simülasyon görüntüsü. ....	111
Şekil 4.11.	Simulink simülasyonunda PV Blok içeriği .....	112
Şekil 4.12.	Simulinkte hazırlanan Enerji depolama sistemi .....	113
Şekil 4.13.	Simulink Pil blok içeriği .....	114

Şekil 4.14.	V2G şebekeye katkılı şarj deşarj karakteristiği .....	115
Şekil 4.15.	Bir Günlük Eysel Yük Profili .....	116
Şekil 4.16.	Simulinkte Eysel Yük Profili .....	117
Şekil 4.17.	Meshe dönüşe bilen Radyal DC Mikroşebeke topologisi .....	118
Şekil 4.18.	Eysel DC Mikroşebeke de Bus sistemi .....	118
Şekil 4.19.	3 buslu Radyal Prosumerli akıllı DC Mikroşebeke .....	119
Şekil 4.20.	Simulink Bus Blok içeriği.....	119
Şekil 4.21.	Simulinkte 3 buslu radyal mesh veya ringe dönüőebilir Akıllı DC Mikroşebeke.....	120
Şekil 4.22.	Simulinkte iletim hatlari ve kabloların modeli .....	120
Şekil 4.23.	Simulinkte Pil Dual Active Bridge Dönüştürücü modeli .....	121
Şekil 4.24.	Simulinkte PV tek yönlü boost dönüştürücü simülasyonu .....	121
Şekil 4.25.	Smulink simülasyonunda EMI filter modeli .....	122
Şekil 4.27.	Enerji depolama ve diğer güç değişimi eğimi bir yıl.....	123
Şekil 4.28.	Bir yaz haftasi güç değişim eğimi.....	123
Şekil 4.26.	PV enerji depolama sistem DC sisteminde.....	123
Şekil 4.29.	Bipolar Bus DC gerilim profili .....	124



## TABLULAR DİZİNİ

Tablo 1.1.	Dağıtılmış Üretim Avantajları ve Hizmetleri. ....	12
Tablo 2.1.	Avrupada Son Tüketici evsel Enerji tüketimi .....	24
Tablo 2.2.	DC sisteminde karakteristik parametreleri.....	26
Tablo 2.3.	Ticari Yapılar Elektrik tüketimi (kWh), 2012 .....	27
Tablo 2.4.	AC ve DC Mikroşebekelerde PCC Davranış karşılaştırması .....	28
Tablo 2.5.	AC ve DC dağıtım hatlarının karşılaştırması .....	29
Tablo 3.1.	DC Güç Kalite Sorunları.....	48
Tablo 3.2.	AC ve DC Güç Kalitede Sorunlar ve Standardlar.....	52
Tablo 3.3.	Sistemin arıza karakteristik parametreleri .....	65
Tablo 3.4.	Koruma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları .....	74
Tablo 3.5.	Tipik koruma cihazlarının karşılaştırılması.....	79
Tablo 3.6.	DCMŞ'deki Koruma Cihazlar ve Aktüatörlerin Avantaj ve Dezavantajları.....	81
Tablo 3.7.	Vikor metodu kablo kesit ve voltaj uygunluk hesapları .....	100
Tablo 3.8.	DC Mikroşebeke evsel elektrifikasyon voltaj seviyeleri. ....	101

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

AC	: Alternative Current(Alternatif Akım)
ACMG	: Alternative Current Micro Grid(Alternatif Akım Mikro Şebekesi)
ACR	: Automatic Current Regulator(Otomatik Akım Regülatörü)
AGM	: Absorbent Glass Mat(Emici Cam Paspas)
AVR	: Automatic Voltage Regulator(Otomatik Voltaj Regülatörü)
BAN	: Building Area Network(Bina Alan Ağları)
CB	: Circuit Breaker(Devre Kesici)
Ccm	: Capacitor for Common Mode(Ortak Mod için Kondansatör)
Cdm	: Capacitor of direct mode(Direkt mod kapasitörü)
CHP	: Combined Heat and Power station(Birleşik Isı ve Güç İstasyonu)
CPL	: Constant Power Load(Sabit Güç Yüğü)
CEC	: Californian Energy Commission(Kaliforniya Enerji Komisyonu)
DC	: Direct Current(Doğru Akım)
DG	: Distributed Generation(Dağıtılmış Üretim)
DCMG	: Direct Current Micro Grid(Doğru Akım Mikro Şebekesi)
EV	: Electrical Vehicle(Elektrikli Araç)
EMI	: Electromagnetic Interference Filter(Elektromanyetik Parazit Filtresi)
EMC	: Electromagnetic compatibility(Elektromanyetik Uyumluluk)
FL	: Fuzzy Logic(Bulanık Mantık)
HAN	: Home Area Network(Ev Alanı Ağı)
HMI	: Human Machine Interface(İnsan-Makine Arayüzü)
HRG	: High Resistance Grounding(Yüksek Dirençli Topraklama)
HVDC	: High Voltage Direct Current(Yüksek Gerilim Doğru Akım)
IAN	: Industrial Area Network(Endüstriyel Alan Ağı)
IEC	: International Electrotechnical Commission(Uluslararası Elektroteknik Komisyonu)
IEEE	: International Electric and Electronic Engineer(Uluslararası Elektrik ve Elektronik Mühendisi)
IGBT	: Insulated gate bipolar transistor(Yalıtımlı geçit iki kutuplu transistörü)
IGCT	: Integrated Gate-Commutated Thyristor(Entegre Kapı Geçişli Tristör)
ImP&O	: Improved Perturb & Observe(Geliştirilmiş Gertürb ve Gözlem)
INR	: Incremental Negative Resistance(Artımlı Negatif Direnç)
IoT	: Internet of Things(Nesnelerin İnterneti)
IP	: Internet Protocol(İnternet Protokolü)
LAN	: Local Area Network(Yerel Alan Ağı)
LED	: Light Emitting Diodes(Işık Yayan Diyotlar)
Li-ion	: Lithium ion(Lityum iyon)
LVDC	: Low Voltage Direct Current(Alçak Gerilim Doğru Akım)
LuT	: Look-up Table(Arama Tablosu)
MCCB	: Molded Case Circuit Breaker(Kalıplı Kutulu Devre Kesici)

MG	: Micro Grid(Mikro Şebeke)
MOSFET	: Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor(Metal-Oksit-Yarıiletken Alan Etkili Transistör)
MPPT	: Maximum Power Point Tracking(Maksimum Güç Noktası İzleme)
MVDC	: Medium Voltage Direct Current(Orta Gerilim Doğru Akım)
NAN	: Neighborhood Area Network(Mahalle Alan Ağı)
NiCd	: Nickel cadmium(Nikel kadmiyum)
NiMH	: Nickel Metal Hybrid(Nikel metal Hidrit)
NOCT	: Nominal Operating Cell Temperature(Nominal Çalışma Hücre Sıcaklığı)
PCC	: Point of Common Coupling(Ortak Bağlantı Noktası)
PD	: Protection Devices(Koruma Cihazları)
PEL	: Programmable Electronic Load(Programlanabilir Elektronik Yük)
PI	: Proportional Integral(Oransal İntegral)
PLC	: Programmable Logic Controller(Programlanabilir Mantık Denetleyici)
PN	: Petri Net
PoE	: Power over Ethernet(Ethernet üzerindeki Güç)
P&O	: Perturb and Observe(Değiş ve İzli)
PV	: Photo Voltaic
PVA	: Photo Voltaic Array(Foto Voltaik Dizilim)
PWM	: Pulse Width Modulation(Darbe Genişliği Modülasyonu)
SCADA	: Supervisory Control And Data Acquisition(Merkezi Denetim ve Veri Toplama)
SD	: Science Direct
SMG	: Smart Micro Grid(Akıllı Mikro Şebeke)
STD	: Standard Test Condition(Standart Test Durumu)
V2G	: Vehicle to Grid(Araçtan Şebekeye)
V2L	: Vehicle to Load(Araçtan Yüke)
VSC	: Voltage Source Converters(Gerilim Kaynağı Dönüştürücüleri)
VVVF	: Variable Voltage and Variable Frequency(Değişken Gerilim ve Değişken Frekans)
WAN	: Wide Area Network(Geniş alan ağı)
Wimax	: Worldwide Interoperability for Microwave Access(Mikrodalga Erişimi için Dünya Çapında Birlikte Çalışabilirlik)

## YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARININ VE ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMLERİNİN YER ALDIĞI, AKILLI DC MİKROŞEBEKE

### ÖZET

Dünyada devamlı artan Enerji tüketiminin yanı sıra bu elektrik enerji üretiminden kaynaklanan atıklar çevreye zarar vermekte ve çevresel sorunların büyümesini yaşayan insanoğlu günümüzde eski yöntemleri yenilenebilir ve doğa dostu yöntemlerle değiştirme amacıyla daha fazla maliyet yaşasada hala gereken verimlilik ve katkı payına belli nedenlerden dolayı erememiştir. Bunun yanı sıra enerji dağıtımında adaletsizlik ve enerjisiz olan dünyanın geriden kalan ülkeleri büyük altyapı maliyeti yerine yenilenebilir enerji kaynakları ile bölgesel enerji sistemleri kurmak telaşındalar. Yenilenebilir enerji kaynaklarının gelişi bu kaynakların yükler ve şehirlere yakın veya iç içe yerleştirme fikrini ve devamında katkı payın yükseltme araştırmalarını başlattı. Bu arada yüklerin ve kaynakların Dc yönüne devam etmesi güç elektroniği katmanlarını artırdı ve verimi düşürürken ayrı yandan senkronlaşma ve kopma işlemleri mikroşebekelerde zor bir konsept olduğu doğrulandı ve şebekelerin verimliliği yanı sıra dayana birliğinin de tehlikede olduğunu göstermiştir. Bu sıkıntılara çözüm olacak ve hata daha fazla iyi yönler taşıya bilecek araştırma başlığı olarak DC Mikroşebekeler ortaya çıktı ama bu sistemin de kendi sorunları ve çözülmesi gereken konuları var. Bu tezde DC mikroşebekelere genel bir araştırma yapıldı ve kapsamlı bir literatür taraması yapılmıştır ve devamında eksik olan standartlar farkedilmiştir ve bunun için temel olarak dağıtım voltaj seviyesi vikor yöntemi ile seçilmiştir. Ardından Enerji depolama sistemlerine DC sisteminin etki si simüle edilmiştir bu konuda daha önce munich teknik üniversitesi Berlin Teknik üniversitesinde yapılan Team SES ve Open SES sistemlerinden Matlab ortamında yararlanmıştır ve sonuçlar elde edilmiştir. Sonunda ise yerleşim bölgesinde en çok kullanılan dağıtım topoljisi olan radyal sistem simulinkte tasarlanmıştır ve bu sistemde ada durumunda çalışma bilimler ve baslar taslanmıştır. Hattın gerilim profili standartlara uygun seviyesini farklı anahtarlar ve hata durumlarında ayakta tutmuştur. Yük akışı sıkıntısız devam etmiştir ve V2G sistemi İlave edilen bu sistem gece saatlerinde şarj edilip peak saatlerinde şebekeye katkıda buluna bileceği tasarlanarak gelecekte popüler hale geleceği ön görülen elektrikli arabaların etkisi tartışılmıştır.

tezin devamında Radyal sistemi Meş veya Ring moduna dönüştürülmesi ve daha ayakta ve akıllı davranmasını sağlayarak sürdürülebilirliğini amaçlayan bu değişim simüle edilmiştir ve pozitif sonuçlar elde edilmiştir. Sonuç olarak DC Mikroşebekelerin IoT ve AI desteği ile gelecekte Akıllı Enerji dağıtım sistemlerinde büyük role sahip olabilecek bir kapasitededir ve daha fazla verim ve kararlılık ve uyumunu göstermiştir. Sonraki çalışmalarda İletişim sistemi ve Akıllı bilgisayar destekli yönetim ve koruma kontrol üzerine çalışılabilir.

**Anahtar Kelimer:** Akıllı DC Mikroşebeke, Enerji Yönetimi, Elektrik Enerjisi Depolama Sistemi, Prosumer, Yenilenebilir Enerji penetrasyonu

# **SMART DC MICROGRID, WITH HIGH PENETRATION OF RENEWABLE ENERGY RESOURCES AND ENERGY STORAGE SYSTEMS**

## **ABSTRACT**

With the emergence of renewable energy power generation, the number of Photovoltaic, Wind turbines and other renewable power generation plants increased. In addition to the ever-increasing energy consumption in the world, the wastes arising from this electrical energy production harm the environment and the human life, which has experienced the growth of environmental problems, has not been able to reach the necessary efficiency and contribution for certain reasons even though it still has more costs to replace the old methods with renewable and environmentally friendly methods. In addition, the rest of the world, which is unfair and access less in energy distribution, is in a rush to establish renewable energy sources and regional energy systems instead of large infrastructure costs. The advent of renewable energy sources initiated the idea of placing these resources close to or intertwined with cities, and subsequent research to increase the contribution. Meanwhile, the continuity of loads and resources in the Dc direction increased the power electronics layers and while decreasing the efficiency, on the other hand, the synchronization and decoupling processes were confirmed to be a difficult concept in micro grids and showed that the efficiency as well as the durability of the grids were at risk. DC Micro Grids have emerged as the research topic that will solve these problems and carry more good directions, but this system also has its own problems and issues to be solved. In this thesis, a general research has been made on DC micro grids and a comprehensive literature review has been made, and the missing standards have been noticed and for this purpose, distribution voltage level has been chosen with the method of victory. Then, the effect of DC system on energy storage systems was simulated. In this regard, Team SES and Open SES systems, which were previously made in Munich Technical University, Berlin Technical University, were used in Matlab environment and results were obtained. Finally, the radial system, which is the most used distribution topology in the residential area, was designed in simulink and houses and bass that can operate in an island situation are designed in this system. The voltage profile of the line has kept its level compliant with the standards under different switching and error conditions. Load flow continued without any problems and V2G system was added. In the continuation of the thesis, this change, which aims to transform the Radial system into Mesh or Ring mode and ensure its sustainability by providing more standing and smart behavior, has been simulated and positive results have been obtained. As a result, with the support of IoT and AI of DC Micro grids, it has the capacity to play a major role in Smart Energy distribution systems in the future and has shown more efficiency and stability and compatibility. In subsequent studies, communication system and smart computer-aided management and protection control can be studied.

**Keywords:** Smart DC Microgrid, Energy Management, Electric Energy Storage System, Prosumer, Renewable Energy penetration

## **GİRİŞ**

Hızla büyüyen enerji talebini karşılamak ve aynı zamanda, geleneksel enerji kaynaklarından kaynaklanan çevresel kaygıların üstesinden gelmek için, yenilenebilir enerji kaynakları, kamu ve sanayi sektörlerine güvenilir ve uygun fiyatlı enerji sağlamak amacıyla güç ağlarına entegre ediliyor. Gerçi uygun fiyat denildiği ve hatta güneş panellerinin çevresel kaygıları bile ne kadar doğru olduğu toksik maddelerden oluşan ve en fazla 25 yıl verimli çalışma ömrü olan güneş panel lerinin hakkında tartışılan konulardandır. Bununla birlikte, yenilenebilir enerjinin yaşlanan elektrik şebekelerine entegrasyonu, arz güvenliği, temel enerji kapasitesi, mevsimsel etkiler vb. Gibi yeni riskler / zorluklarla sonuçlanabilir.

Mikro şebekelerdeki son araştırmalar ve gelişmeler, yenilenebilir enerji kaynakları tarafından beslenen ve akıllı şebekeler (akıllı sensörler içeren akıllı enerji yönetim sistemi) tarafından yönetilen mikro şebekelerin maliyeti etkin bir şekilde daha yüksekliğini güvenilirlik ve daha verimli enerji sistemleri sunabileceğini kanıtlamıştır [1].

Mikroşebeke sistemlerinde DC dağılımı kullanılarak elektrik şebekelerinin güvenilirliği ve verimliliğinde daha fazla gelişme sağlanabilir. DC mikrogrid, yenilenebilir enerji kaynakları, elektrik yükleri ve enerji depolama sistemleri ile doğal ara yüzü nedeniyle modern elektrik şebekesi sisteminde çekici bir teknolojidir. Son yıllarda, bu teknolojiyi pratik uygulamaya geçmesini daha da hızlandırmak için DC mikrogrid alanında araştırma çalışmalarında bir artış gözlenmiştir.

Bu çalışmalarda AC arayüzleri, mimarileri, olası topraklama şemalarını, güç kalitesi sorunlarını ve iletişim sistemlerini kapsayan en gelişmiş DC mikrogrid teknolojisini sunmuşlar, sorunlarını ve zorluklarını özetleyerek yeni çözümler sunmuşlar. DC şebekelerin avantajları, güvenilirlik ve verimliliklerini artırmak için birçok uygulamada toplanabilir. Bu çalışma aynı zamanda çeşitli uygulamalarda DC grid sistemlerinin kullanılmasının faydalarını ve zorluklarını da tartışmaktadır. DC mikrogrid teknolojisi için acil standardizasyon ihtiyacını vurgulamakta ve bu alandaki son güncellemeleri

sunmaktadır ve bu çalışmanın gelecek çalışmalara temel olarak uygulama ve bilim için etki sağlayabileceğinin kanaatinde.

#### Dağıtılmış Üretim (DG) ve Mikroşebekeler

DG şebekelerinin dağıtım şebekelerine girişindeki artış, özellikle güneş ve diğer yenilenebilir enerji santrallerinin artmasıyla birlikte, bu şebekelerin kontrolü ve korunması her gün daha da zorlaşmaktadır. Fotovoltaik panel ve yakıt hücresi normal olarak DC çıkışa sahiptir ve rüzgâr türbinleri harmonik olmayan frekans üretir ve voltaj, mekanik şartname türbinine ve hava şartlarına bağlıdır, bu nedenle genellikle DC'ye dönüştürür, sonra sadece AC'ye spesifik voltaj ve frekansla ters çevrilir.

Dağıtık üretim (DG) ve mikroşebeke (MG) mantığının sunumu, araştırmaların ve böyle sistemlerin uygulanmasından ardından, doğru akım dağıtım sistemleri birçok araştırmacının dikkatini çekmeye başladı. Elektronik bilim ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte DC yükler de miktar ve DC güç oranında artmıştır. Bu nedenle, TV, PC, Aydınlatma ... ve diğer pek çok ev aleti gibi elektronik cihazların çoğu DC voltaj kullanır ve dönüştürücülerdeki güç kaybı anlamına gelen AC tarafından kullanılması için dönüştürücüye ihtiyaç duyar.

Öte yandan elektronik sürücüler Asenkron, Fırça az, kalıcı mıknatıs ve hatta senkron makineler gibi elektrikli makineleri bir DC yük tipi gibi yapar. Çünkü AC motorların hız ve tork kontrolü için, frekans ve gerilim seviyesini (Değişken Gerilim Değişken Frekans) elektronik cihazlarla mümkün olduğunca kontrol etmenin en iyi yolu budur ve önce AC'yi DC'ye dönüştürerek yapılması gerekir. Sürücü için başka yöntemler de var, ancak yardımcı programların çoğu daha iyi verimlilikle DC'de tercih edilebilir şekilde çalışabilir.

Elektrikli otomobiller, düşük veya orta seviye gerilim seviyesinde kentsel taraftaki güç sistemine binecek büyük miktarda güç yükü olması ve yakın gelecekte gerçekleşmesi beklenmektedir. Elektrikli otomobillerin DC olması sebebi ile hızlı şarj ve uzaktan şarj sistemlerinde de DC olması nedeniyle, bu sistem çok büyük DC yük olacaktır. IT ve Telekomünikasyon sistemleri, şehirlerin her yerine ve hatta her yere dağıtılan, yükleri nedeniyle önemini yüksek, güvenilir ve sürdürülebilir bir güç tüketen DC yüklerdir. Tramvay ve monoray, metro ve tren gibi toplu taşıma sistemlerinde bahsedilebilecek diğer ağır yükler, DC'de tedarik ederek daha iyi verime sahiptir. LVDC sistemlerinin

bu yönü ve yeteneği ile araştırmacılar, LVDC'nin veya DCMG'nin gelecekteki akıllı dağıtım şebekelerinin temeli için mükemmel bir seçim olabileceğini düşünüyorlardı. Mikro şebeke (MG), DG'nin Varlığında Düşük Gerilim Şebekesi türüdür ki tek başına ada tipinde çalışma bilir özelliğine sahiptir. DC Micro Grid (DCMG), rayiç Mikroşebekelerin doğru akımla çalıştırmasının fikridir. Fikir aynı olsada sistemik ve bugünkü teknolojiler bakımından gerçekleşmesi için çözülmesi gereken zorlukları vardır. Koruma, Kontrol, Yönetim ve iletişim sistemleri, DC sistemlerinde en önemli zorluklardır.

Bu çalışmanın asıl amacı olan DC akıllı ve sürdürülebilir şebekesinin alternatif olarak görülmesi ve uygulanmasından beklenen objektifler aşağıda verilmiştir:

- Şebekenin güç kaybının azaltılması.
- Elektrik Güç dağıtım şebekesi özerklik, güvenilirlik, sürdürülebilirliği
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının nüfuz seviyesinin arttırılması.
- Şebekede konvertör tabakalarının azaltılması ve bunun sonucunda güç kaybının düşmesi ve güvenirlüğün artması.
- Passive defense (pasif savunma) seviyesinin yükselmesi. (Üretim ve yüklerin harmanlanmasından dolayı)

Özel olarak bu çalışmada ön görülmüş objektifler ise aynı yönde ve ilaveten DCMG'nin, AC MG lere göre üstünlüklerini ve dezavantajlarını bulmakla beraber standart yoksunluklarında kalan DC şebekelerinin dağıtım ve evsel bölgelerde ve bina içlerinde kullanmak üzere gerilim seviyesini belirli parametre ve şartlara istinaden seçmek amaçlanmıştır.

Konsept olarak özel şebeke dizayn etmek ve bu konsept gerekli şartları ve yukarıda beyan edilen objektifleri sağlaması gereklidir. Radyal, halka ve meş topolojisine uygun çalışma bilen, Ana şebekeye bağlı veya ayrı (ada modu) olarak çalışabilecek DCMG şebeke tasarlamak. Koruma senaryoları ve algoritması belirlemek. Arıza tespit konusunu farklı kategorilere bölüp ve hiyerarşik, komünikasyona bağlı ve bölgesel özerk koruma olarak algoritma elde etmek bu çalışmanın amaçlarındandır. Böylelikle arızanın bölgesini iki node arası olarak tespit edebileceğiz. 5G teknolojisinin bu



şebekenin komünikasyon tabakasında istenilen ön şartları yerine getirebilmesini tartışmak ve kullanılabilişliğini tespit etmek. Telekomünikasyon sistemini, hiyerarşik koruma sistemini kullanarak ve tüketicilerin aktif katkısını elde ederek merkezi olmayan bir kontrol sistemi, enerji ve güç yönetimi ile Smart Micro Grid (SMG) temelli taşıyabilen DCMG'nin gelecekteki DCMG konseptini tasarlanmış ve sunulmuştur.

Zorluklara değinilirse standartların belirli olmaması büyük eksiklik olarak devam etmekte. DC şebekelerin en büyük ikinci eksikliği olarak açıklayabileceğimiz, yüksek güç akışı sağlayabilen dönüştürücüler son dönemlerde her ne kadar ilerlese de hala araştırma ve çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu dönüştürücüler fizik olarak daha rahat ve araştırma olarak bir asır arkada bırakmış çalışmalarla günümüzdeki transformatörlerle kıyasen daha yeni ve hala ilerlemeye çok ihtiyaç vardır.

DC akımın AC akım gibi Zero crossing denilen sıfır da kesişim noktası olmadığı için mekanik devre kesiciler akım üzerine devreye girdiğinde yüksek ve ardı kesilmeyecek kadar tehlikeli arklar meydana gelebilir. Bu nedenle ikinci zorluk ise devre kesicilerdir. DC akıma özel devre kesiciler alüminyum sanayi gibi özel kullanımlar için daha önce yapılmıştır ama değişik gerilim ve akımlara uygun ve gerekli standartlara göre araştırılması ve üretilmesi gerekmektedir.

DCMG arıza akımı, AC arızalarından farklı bir özelliğe sahiptir, AC koruma sistemlerini DC sistemler için kullanılamaz kılar, örneğin bazı durumlarda kutup akımının toprak seviyesi arızası normal arızadan düşüktür, bu nedenle aşırı akım rölesi tarafından tespit edilemez. Telekomünikasyon tabanlı koruma sistemini kullanarak, telekomünikasyon sistemindeki herhangi bir kesinti veya öngörülmemiş gecikme tehlikeli bir durumu ortaya çıkarabilir. Öte yandan, AC koruma sistemlerde mili saniye zaman birimi koruma için yeterince hızlı sayılabılır ancak mili saniye DC korumasında bazı hatalar için çok uzun bir süredir ve tehlikelere yol açabilir. Tüm bu zorluklardan sonra, DC sistemlerinin yapısı, arıza koruması ve yönetimi için kapsamlı bir standart yoktur. Bu zorlukları anlamak ve çözmek için çalışmak temel çalışmalarını sağlamak ve sonunda DCMG sistemlerini oluşturmak için şarttır.

Katkı olarak öngörülen objektiflere yönelik ve farklı deneme ve literatür bilgilerini bir araya getirerek birkaç konsept dizayn edildi ve içinden bir akıllı DC mikroşebeke şeması seçildi. Bu şemanın seçiminde sistemin sadeliği, kontrol hiyerarşisi, günümüzde en çok kullanılan şebeke tipine benzerliği ve aynı zamanda gelecekteki şebeke ve yöntemlere uygun ola bilmesi göz önüne alınmıştır. MADM (multiple Attribute Decision making) yöntemlerinden Vikor yöntemi kullanılarak mikrogrid konseptinin farklı bölgelerine optimize voltaj seviyesi seçilmiştir. Otonomus enerji dağıtım sisteminin gerekli olduğunu vurgulayarak bunun için akıllı dc mikroşebekenin iyi bir seçim olduğu kanıtlandı. Temel konsept simülasyon yapıldı ve sonuçlar elde edildi. Ada modu ve aynı zamanda verimli çalışmasının temel şartı olan dağıtılmış enerji üretiminin etkisi case study olarak gösterildi.

## 1. KONUNUN TEMEL BİLİMİ VE MOTİVASYON

DC şebekelerin düşünce kaynağı olan fikir bazen akım savaşı denilen Edison bir yanda ve Westinghouse ile Tesla diğer tarafta olarak AC ve DC için müşteri ve piyasa payı kazanmak için sürdürdükleri mücadele ve teknolojik savaş olmuştur. Gerçi yazar bu konuyu sonralar DC üretim ve tüketim artışıyla konunun çekiciliğine kapılmıştır ama elektrik güç sistemini tarihsel ve bilimsel temelini gözden geçirmek konuya başlamak için iyi bir ön yazı olacaktır.

### 1.1. Elektrik Güç Sisteminin Kısa Tarihi

Elektriğin var oluşu ile ilgili insanlar en ufak bir bilgi sahibi değilken bile, Elektrikli yılan balığının şok etkisinin farkındalardı. Antik Mısır'da MÖ 2750 de yazılmış bir yazı bu balığı Nil'in fırtınası olarak tanımlamıştır. Bu balık aynı zamanda diğer balıkların koruyucusu olarak görülüyordu. Elektrik balığıyla ilgili yine Romalı ve Arap bilimciler ve fizikçiler tarafından Antik Yunanistan'da bahsedilmiştir. Pek çok antik yazar, Pliny the Elder ve Scribonius Largus gibi, kedi balığından ve torpidodan gelen elektrik şokunun hissizleştirdiğini onaylamıştır. Bu şoklar, iletken objelerde yayılabilirler. Muhtemelen ışığın kimliği ve elektrikle ilgili doğruya en yakın ve en eski yaklaşım, Araplardan gelmiştir. On beşinci yüzyıldan önce Araplar tarafından ray (ışın) olarak adlandırılmıştır.

Antik kültürlerden Akdeniz taraflarında olanlar belli başlı nesnelere biliyorlardı. Örneğin kehribar parçaları kedinin tüyelerine sürüldüğünde, kuş tüyü gibi objeleri çekebiliyordu. MÖ 600 civarlarında Thales of Miletus, durağan elektrikle alakalı bir dizi gözlem yaptı. Magnet gibi maddelerin aksine kehribarın oluşturduğu sürtünmeden dolayı olduğunu düşünüyordu. Thales bu çekimin manyetizmadan olduğunu düşünürken yanıyordu, ancak daha sonraları bilim Manyetizm ve elektrik arasında bir bağlantı kanıtlayacaktı. Tartışmaya açık bir teoriye göre, Parthianlar elektro taban hakkında bir bilgi sahibi olabilirlerdi.1836'da pilin keşfine bağlı olarak, galvanik hücreler ve onun doğadaki bilinmez etkisi buna olanak sağlıyordu.

12pt] Benjamin Franklin yapılan kapsamlı bir araştırma üzerinde elektrik 18. yüzyıl olarak belgelenmiştir tarafından Joseph Priestley (1767) Tarihi ve Mevcut Durumu, Elektrik, kiminle Franklin yapılan uzun yazışmalar.

Antik Yunanlar kürk ile sürtünmesi sonrasında kehribarın küçük nesnelere çektiğini fark ettiler. Bu fenomen, şimşekle birlikte insanlığın elektrikle kayıtlara geçmiş ilk deneyimiydi.

William Gilbert, 1600'de yayımlanan De Magnete adlı eserinde, Latince kehribar anlamına gelen ve Yunancada da aynı anlamı taşıyan electrum (elektron) kelimesinden esinlenerek oluşturulan, sürtülünce küçük nesnelere çekme özelliğini tanımlayan Yeni Latince electricus kelimesini türetti. Thomas Browne'un 1646'da yayımlanan Pseudoxia Epidemica adlı eserinde, yine aynı kelimeler esas alınarak ilk defa İngilizcedeki electricity ifadesi kullanıldı. Elektrik kelimesi Türkçeye, Fransızcada da aynı anlama gelen électrique kelimesinden geçti.

Benjamin Franklin yapılan kapsamlı bir araştırma üzerinde elektrik 18. yüzyıl olarak belgelenmiştir tarafından Joseph Priestley (1767) Tarihi ve Mevcut Durumu, Elektrik, kiminle Franklin yapılan uzun yazışmalar.

İlerleyen çalışmalar, Otto von Guericke, Robert Boyle, Stephen Gray ve C.F. du Fay tarafından yapıldı. On sekizinci yüzyılda Benjamin Franklin, elektrik hakkında çok geniş bir çalışma yaptı. Haziran 1752'de fırtınalı bir günde, uçurtma ipine bağladığı metal bir anahtarla deney yaptı ve uçurtmaya yıldırım düşmesini umdu. Anahtardan eline zıplayan sparklardan, yıldırımın da elektriksel bir doğa olayı olduğunu kanıtlamış oldu. Aynı zamanda, paradoks bir olay olarak Leyden Jar 'ı da elektriğin hem pozitif hem negatif yükler içerdiğini kanıtlayarak açıklamış oldu.

Michael Faraday'ın keşifler kurulan vakfın elektrikli motor teknolojisi 1771'de, Luigi Galvani, biyoelektrik üzerine olan keşfini yayınladı ve elektriğin sinir hücreleri denen hücreler ile kaslara sinyaller yolladığını gösterdi. Alessandro Volta'nın bataryası, ya da Voltaik pili, 1800lerde bakır ve çinko ile yaptığı deneyle, daha güvenilebilir bir bakış açısı yakalanmış oldu. Elektromanyetizmanın bulunması, elektrik ve manyetizmanın birleşmesi olayı, Hans Christian Ørsted ve Andre Marie Ampere tarafından 1819-1820

yıllarında oldu. Michael Faraday elektrik motorunu 1821 de keşfetti ve Georg Ohm, matematiksel olarak elektriksels devreleri 1827 yılında açıkladı. Elektrik ve manyetizma (ışık) mutlaka James Clerk Maxwell ile de ilişkilidir.

19. yüzyılın başlarında, elektrikte ani bir gelişim meydana geldi ve on dokuzuncu yüzyılın sonunda, elektrik mühendisliğinin en büyük keşifleri yapıldı. Alexander Graham Bell, Ottó Bláthy, Thomas Edison, Galileo Ferraris, Oliver Heaviside, Ányos Jedlik, Lord Kelvin, Sir Charles Parsons, Ernst Werner von Siemens, Joseph Swan, Nikola Tesla ve George Westinghouse elektriği inanılmaz bir bilimsel merakla çevirdi ve bunu modern hayata uyguladılar. Bu uygulamalar, ikinci endüstri devrimini tetikledi.

1887’de, Heinrich Hertz elektrotların, ultraviyole ışıklar ile yaratılan elektrik sparkları ile daha kolay aydınlatıldığını keşfetti. 1905’te Albert Einstein, elektriğin kuantlar halinde küçük paketler olarak taşındığını açıkladığı Fotoelektrik olayın deneysel verilerini incelediği bir kâğıt yayınladı. Bu keşif, kuantum devrimine ön ayak oldu. Einstein, 1921 yılında ‘fotoelektrik yasasını keşfi’ nedeniyle, Nobel Ödülü’nü kazandı. Fotoelektrik olayı şu anda güneş panellerinde bulunan foto hücreler tarafından, kullanılıyor ve elektrik enejsisi üretiyor.

M.ö 6.yüzyılda ünlü Yunan düşünür Tales, amber çubukla yaptığı deneyler, elektrik enerjisi hakkındaki ilk çalışmalardır. Bu metot sürtünme ile elektrikleme olarak bilinir ve hafif objeleri kaldırabilir ve sparklar yaratabilir. Çok verimsizdir. 18. yüzyıla kadar galvanik piller icat edilemedi ve bu tarihten sonra elektrik kullanılabilir hale geldi. Galvanik piller, elektrik bataryalarını oluşturdu ve enerji kimyasal olarak depolandı. Bataryalar, pek çok ortak çalışmaya uyum sağlayabilir. Ancak, barındırabileceği enerji miktarı sınırlıdır. Bir kez boşaldığında, tekrar yüklenmesi gerekir. Çok büyük elektrik gereklilikleri için, elektrik enerjileri transit olarak yaratılmalı ve iletken olarak devam etmelidir.

Elektriksels güç genelde elektro-mekanik jeneratörler tarafından fosil yakıtlarla üretilir. Ya da nükleer reaksiyonlar sonucu oluşan ısı kullanılır. Diğer bir şekilde de, rüzgâr ya da suyun kinetik enerjisi kullanılarak üretilebilir. Modern buhar türbini Sir Charles Algernon Parsons tarafından 1884’te icat edildi ve bugün dünyada kullanılan elektik

gücünün yaklaşık yüzde 80'ini üretiyor. Bu tarz jeneratörler, Faraday'ın 1831 yılında ürettiği disk jeneratörünün prensipleri ile hiç alakası yoktur ancak bu cihazların prensipleri hala elektromanyetik bilgilere dayanır. On dokuzuncu yüzyılda transformatörlerin icadı, elektrik gücünün daha verimli ve daha yüksek voltajla fakat daha düşük akımla taşınabilmesine imkan tanıdı. Verimli bir elektrik transmisyonu, yerleşik güç istasyonlarında yaratılabilir. Ekonomik boyutta bu kazançlıdır. Aynı zamanda ihtiyaç duyulduğunda çok uzaktaki yerlere de taşınabilir.

Rüzgâr enerjisinin artan önemi ise birçok ülkenin kullanması ve kullanımının giderek artması Elektrik enerjisi uluslararası ihtiyacı karşılayabilecek kadar büyük boyutlarda kolayca depolanamadığı için, her zaman ihtiyacı karşılayacak kadarının üretilmesi gerekiyor. Bu nedenle elektriği kamuya sunan kuruluşların birikimle ilgili doğru öngörüler yapabilmesi, güç istasyonlarında koordinasyonu sürdürmeleri gerekir.

Uluslar modernleştikçe ve ekonomi geliştikçe, elektriğe olan talep de artmaya başladı. Yirminci yüzyılın ilk üç on yılında, Amerika Birleşik Devletlerinde her yıl elektriğe duyulan ihtiyaç yüzde 12 arttı. Bu artış şu anda da ekonomisi gelişmekte olan Çin ve Hindistan gibi ülkelerde deneyimleniyor. Tarihsel olarak, elektriğe duyulan ihtiyacın artışı diğer enerjilere duyulan ihtiyaçtan daha fazladır.

Elektrik üretimi ile ilgili endişeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına duyulan ilginin artmasına neden oldu özellikle rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve hidrolik santraller. Elektrik üretiminin çevreye olan etkisi üzerine yapılan tartışmalar devam etse de, son durum eskisine nazaran oldukça temizdir.

Alternatif akım teknolojisi, Michael Faraday ve Joseph Henry'nin 1830-31 arasındaki değişen manyetik alanın bir devrede bir elektrik akımı indükleyebileceğini keşfetti. Faraday, önce bulgularını yayınladığı için genellikle bu keşif için itibar verilir. 1832'de Fransız enstrüman yapımcısı Hippolyte Pixii, ilk alternatörü tasarlayıp ürettiğinde ham bir alternatif akım formu üretti. İki sargı teli bobininden geçen döner bir at nalı mıknatısından oluşuyordu. AC'nin uzun mesafeli yüksek voltaj iletimindeki avantajları nedeniyle, ABD ve Avrupa'da 19. yüzyılın sonlarında çalışılabilir AC motorlar geliştirmeye çalışan birçok mucit vardı.

Dönen bir manyetik alan tasarlayan ilk kişi, 28 Haziran 1879'da bir komütatörün yardım ettiği pille çalışan çok fazlı motorunun Londra Fizik Topluluğuna uygulanabilir bir gösterisini yapan Walter Baily idi. Fransız elektrik mühendisi Marcel Deprez, Baily'lerle neredeyse aynı bir cihazı tanımlayan 1880'de dönen manyetik alan prensibini ve onu üretmek için iki fazlı bir AC akım sisteminin tanımını içeren bir makale yayınladı. Pratik olarak hiç gösterilmedi, tasarım iki akımdan biri "makinenin kendisi tarafından döşendiğinden" kusurlu oldu. 1886'da İngiliz mühendis Elihu Thomson, indüksiyon itme prensibini ve wattmetresini genişleterek bir AC motor inşa etti[2]. 1887'de Amerikalı mucit Charles Schenk Bradley, dört telli iki fazlı bir AC güç iletimini patentleyen ilk kişi oldu.

"Komütatörsüz" alternatif akım endüksiyon motorları Galileo Ferraris ve Nikola Tesla tarafından bağımsız olarak icat edilmiş gibi görünmektedir. Ferraris 1885'te tek fazlı asenkron motorunun çalışan bir modelini gösterdi ve Tesla çalışan iki fazlı asenkron motorunu 1887'de yaptı ve 1888'de Amerikan Elektrik Mühendisleri Enstitüsü'nde gösterdi [2-4]. Tesla 1882'de dönen manyetik alanı tasarladığını iddia etti[3]. 1888'de Ferraris araştırmasını Torino'daki Kraliyet Bilimler Akademisi'nde yayınladı ve burada motor operasyonunun temellerini detaylandırdı; Aynı yıl Tesla'ya kendi motoru için bir ABD patenti verildi. Ferraris'in deneylerinden yola çıkarak Mikhail Dolivo-Dobrovolsky, 1890'da Avrupa ve ABD'de kullanılan prototip haline gelen çok daha yetenekli bir tasarım olan ilk üç fazlı asenkron motoru tanıttı. Ayrıca ilk üç fazlı jeneratörü ve transformatörü icat etti ve 1891'de ilk tam AC üç fazlı sistemde birleştirdi. Üç fazlı motor tasarımı İsviçreli mühendis Charles Eugene Lancelotti tarafından da çalışıldı ve diğer üç fazlı AC sistemleri Alman teknisyen Friedrich August Haselwander ve İsveçli mühendis Jonas Wenström tarafından geliştirildi[5].

## 1.2. Dağıtılmış Üretim (DG)

Genelde'de elektrik üretimi ve dağıtımı için mevcut modele merkezi santraller hakimdir. Bu tesislerdeki güç tipik olarak yanma (kömür, petrol ve doğal) veya nükleer olarak üretilir. Bunun gibi merkezi güç modelleri, merkezden dışarıdan tüketicilere dağıtım gerektirir. Mevcut trafo merkezleri, üretilen gücün gerçek kullanıcılarından 10 ila 100 mil uzakta olabilir. Bu, mesafe boyunca iletim gerektirir.

Bu merkezi enerji santralleri sisteminin birçok dezavantajı vardır. İletim mesafesi sorunlarına ek olarak, bu sistemler sera gazı emisyonuna, nükleer atıkların üretimine, uzun iletim hatlarında verimsizliklere ve güç kaybına, elektrik hatlarının inşa edildiği çevresel dağıtım ve güvenlikle ilgili sorunlara katkıda bulunur. Bu sorunların çoğuna dağıtılmış enerjiler aracılık edebilir. Konumlandırılarak, son kullanıcının bulunduğu yerdeki veya sondaki kaynak iletim hattı sorunları geçersiz kılınmaktadır. Dağıtılmış üretim (DG) genellikle güneş panelleri gibi küçük modüler enerji dönüşüm üniteleri tarafından üretilir. ABD’de güneş paneli kullanımının gösterdiği gibi, bu üniteler bağımsız olabilir veya mevcut enerji şebekesine entegre edilebilir. Genellikle, güneş panelleri takan tüketiciler şebekeye aldıklarından daha fazla katkıda bulunacak ve bu da hem güç şebekesi hem de son kullanıcı için bir kazan-kazan durumu ile sonuçlanacaktır. Dağıtılmış üretim, gücün son kullanıcılarına yakın elektrik üretmek için küçük ölçekli teknolojiler kullanan bir yaklaşımdır. DG teknolojileri genellikle modüler (ve bazen yenilenebilir enerji) jeneratörlerden oluşur ve bir takım potansiyel faydalar sunar. Çoğu durumda, dağıtılmış jeneratörler, geleneksel güç jeneratörlerinden daha az çevresel sonuçlarla daha düşük maliyetli elektrik ve daha yüksek güç güvenilirliği ve güvenliği sağlayabilir.

Yük merkezlerinden uzakta bulunan birkaç büyük ölçekli üretim istasyonunun kullanımının aksine - geleneksel elektrik enerjisi paradigması-DG sistemlerinde kullanılan yaklaşım çok sayıda, ancak küçük tesisler kullanır ve dağıtım ve iletim ızgarası. DG teknolojileri, kilowatt [kW] ile yaklaşık 100 megawatt [MW] arasında değişen kapasitelerde güç üretir. Fayda ölçekli üretim birimleri, genellikle 1.000 MW’ı aşan kapasitelerde güç üretir.

Dağıtılmış üretim iki düzeyde gerçekleşir: yerel seviye ve bitiş noktası seviyesi. Yerel düzey enerji üretim tesisleri genellikle rüzgar türbinleri, jeotermal enerji üretimi, güneş sistemleri (fotovoltaik ve yanma) ve bazı hidro-termik santraller gibi sahaya özgü yenilenebilir enerji teknolojilerini içerir. Bu bitkiler, geleneksel model bitkilerden daha küçük ve daha az merkezi olma eğilimindedir. Ayrıca genellikle daha fazla enerji ve maliyet tasarruflu ve daha güvenilirlerdir. Bu yerel düzey DG üreticileri genellikle yerel bağlamı dikkate aldıklarından, genellikle daha büyük merkezi model tesislerden daha az çevreye zarar veren veya bozucu enerji üretirler.



Tablo 1.1. Dağıtılmış Üretim Avantajları ve Hizmetleri.

<b>DG Yararları</b>	<b>Enerji maliyet tasarrufu</b>	<b>Tıkanıklık T&amp;D kayıplar maliyetlerinde tasarruf</b>	<b>Ertelemiş üretim kapasitesi</b>	<b>Ertelemiş T&amp;D kapasite</b>	<b>Sistem güvenilirlik yararları</b>	<b>Güç kalite yararları</b>	<b>Arazi kullanımı etkileri</b>	<b>Pasif savunma kabiliyeti</b>
<b>DG Görevleri</b>								
En yüksek güç gereksinimlerinde azalma	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Yardımcı servisler :								
- Optimizasyon servisleri	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
- Düzenleme	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
- Black start	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
- Reaktif güç	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Acil Güç kaynağı	✓	✓			✓	✓		

Fosfor yakıt hücreleri de DG teknolojisine alternatif bir yol sağlar ki daha önce bahsedilen teknolojiler kadar çevreye bağımlı değildir ve işlemi çok az partikül atığı üretir.

Son nokta düzeyinde, bireysel enerji tüketicisi aynı teknolojilerin çoğunu benzer etkilerle uygulayabilir. Uç nokta kullanıcıları tarafından sıkça kullanılan bir DG teknolojisi, modüler içten yanmalı motordur. Örneğin, Virginia Tech'teki bazı bölümler bu güç jeneratörlerini normal güç şebekesine yedek olarak kullanır. Bu modüler içten yanmalı motorlar RV'leri ve evleri yedeklemek için de kullanılabilir. Bu bilinen örneklerin birçoğunun DG teknolojilerinin elektrik enerjisi üretiminin izole edilmiş "ada" olarak çalışabilir veya güç şebekesine küçük katkısında bulunabilir.

### **1.3. Mikroşebeke**

Bireysel dağıtılmış üreticilerin kullanımı, çözülebileceği ile aynı sayıda soruna neden olabilir. Dağıtılmış üretimin geliştirme yeteneğini bulmak için üstün bir yöntem, bir alt sistem olarak yükler ve üretimler sunan bir şebeke stratejisi veya bir "Mikro Şebeke" adaptasyonu ile elde edilebilir ki farklı şartlarda şebekede kalma ve ana şebekenin arıza durumunda ada moduna geçme potansiyeli olan bir stratejik çerçevede mümkündür. Ada üretimi ve yüklerinin yerel güvenilirlik potansiyeli, güç şebekesinde tüm sistemden daha fazlasını sağlama yeteneğine sahiptir. Mikro Şebeke, 1882 yılında Edison tarafından yapılan ilk elektrik şebekesi olan eski bir kavramdır, bu yüzden büyük şebekelere sahip devasa bir santrali kurmadan önce, ilk mikro şebeke olarak adlandırılabilir.

Güç sistemi koşulları, teknoloji ve ekonomik yönler, son birkaç on yılda, elektrik sistemini çevresel etkilerden daha fazla değiştiren faktörleri zorlayıcıydı. Orta ve küçük ölçekli üretim tesisleri şebekede rahatsız ve büyük ölçekli merkezi enerji santralleri için yerini alır. Bir mikro şebeke, acil durumlarda kritik yükler için elektrik enerjisi ihtiyaçlarını karşılamaya yardımcı olabilir ve hatta ada modunda hizmete devam ederek doğal afetler, savaş veya diğer olaylara karşı kritik yükleri korumak için en etkili pasif savunma teknolojilerinden biridir. Ada modunda çalışan Mg'ler, iletim hatları ve ana enerji santralleri üzerindeki stresi azaltarak karartma olmuş sistemin yeniden kurulmasına yardımcı olabilir.

#### 1.4. Yenilenebilir Enerji

Dağıtılmış enerji söz konusu olunca en önemli akıla gelen enerji kaynağı yenilenebilir enerjiler oluyor. Yenilenebilir enerji, güneş ışığı, rüzgar, yağmur, gelgitler, dalgalar ve jeotermal ısı gibi insan zaman ölçeğinde doğal olarak tekrarlanan yenilenebilir kaynaklardan toplanan bir enerjidir. Temel yaratıcı kaynağı güneş olan yenilenebilir enerji genellikle dört önemli alanda enerji sağlar: elektrik üretimi, hava ve su ısıtma / soğutma, nakliye ve kırsal (şebeke dışı) enerji hizmetleri. yenilenebilir enerji kaynakları 2015 ve 2016 yıllarında insanların küresel enerji tüketimine ve elektrik üretimine sırasıyla % 19,3 ve % 24,5 oranında katkıda bulunmuştur. Dünya çapında yenilenebilir teknolojilere yapılan yatırımlar 2015 yılında 286 milyar ABD dolarını aştı. Küresel olarak yenilenebilir enerji endüstrileriyle ilgili yaklaşık 7,7 milyon iş var ve bu arada güneş enerji kesimi en büyük işveren.

2019 itibariyle, dünya çapında yeni kurulan elektrik kapasitesinin üçte ikisinden fazlası yenilenebilirdi. en az 30 ülke milli çapta enerjisinin %20 sinden fazlasını ve 47 ülke en az %50 sini yenilenebilir enerji ile karşılamaktadır. iki ülke yani izlanda ve norveç enerjisini %100 yenilenebilir enerji ile karşılamakta ve bir çok ülke yüzdeyüz yenilenebilir enerjiyi amaç olarak seçmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları, sınırlı sayıda ülkede yoğunlaşan fosil yakıtların aksine, geniş coğrafi alanlarda mevcuttur.

Yenilenebilir enerjinin hızla yayılması ve enerji verimliliği teknolojilerinin ilerlemesi, sonucu olarak enerji güvenliği, iklim değişikliğinin azaltılması ve ekonomik faydaları beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda ücra köy ve yükleri enerjilendirerek bu konuda ekonomik ve enerji adaleti denilebilecek elektrike erişebilmek meselesini de rahatlatıyor.

2018 yılında, dünya genelinde kurulu rüzgar gücünün kapasitesi 564 GW idi. Hava akımı rüzgar türbinlerini çalıştırmak için kullanılabilir. Modern şebeke ölçekli rüzgar türbinleri yaklaşık 600 kW ila 9 MW nominal güç aralığındadır. Tipik olarak, tam yükteki rüzgar türbinleri yıllık olarak yüzde 16 ila 57 arasında değişir, ancak uygun açık deniz de daha yüksek olabilir. Danimarka'da, rüzgar enerjisi elektrik ihtiyacının % 40'ından fazlasını karşılarken, İrlanda, Portekiz ve İspanya'nın her biri yaklaşık %

20'yi karşılıyor. Açık deniz rüzgar hızları karadan ortalama % 90 daha fazla olduğundan, açık deniz rüzgar türbinleri önemli ölçüde daha fazla enerji üretebilir.

2017 yılında, küresel kurulu güneş kapasitesi 390 GW idi. Güneş enerjisi, parlak ışık ve güneşten gelen ısı, güneş ısıtma, fotovoltaik, konsantre güneş enerjisi (concentrated solar power - CSP), yoğunlaştırıcı fotovoltaik (concentrator photovoltaics-CPV), güneş mimarisi ve yapay fotosentez gibi sürekli gelişen teknolojiler kullanılarak kullanılmaktadır.

Güneş teknolojileri, güneş enerjisini yakalama, dönüştürme ve dağıtma şekline bağlı olarak genel olarak ya pasif güneş ya da aktif güneş olarak nitelendirilir. Pasif güneş teknikleri bir binayı Güneşe yönlendirmek ve saire iken, Aktif güneş enerjisi teknolojileri, ısıtma için güneş kolektörleri ve güneş enerjisi kullanarak, güneş ışığını doğrudan fotovoltaik (PV) kullanarak veya dolaylı olarak konsantre güneş enerjisi (CSP) kullanarak elektriğe dönüştüren güneş termal enerjisini kapsar.

Bir fotovoltaik sistem, fotoelektrik etkiden yararlanarak ışığı elektriksel doğru akıma (DC) dönüştürür. 2011 yılında, Uluslararası Enerji Ajansı, "ekonomik, tükenmez ve temiz güneş enerjisi teknolojilerinin geliştirilmesinin uzun vadede büyük faydaları olacağını söyledi.

Yerli, tükenmez ve çoğunlukla ithalattan bağımsız bir kaynağa güvenerek ülkelerin enerji güvenliğini artıracak, sürdürülebilirliği artıracak, kirliliği azaltacak, iklim değişikliğini azaltma maliyetlerini düşürecek ve fosil yakıt fiyatlarını diğerlerinden daha düşük tutacaktır. Bu avantajlar küreseldir. Dolayısıyla, erken uygulamaya yönelik teşviklerin ek maliyetleri öğrenme yatırımları olarak düşünülmelidir; akıllıca harcanmalı ve geniş çapta paylaşılmaları gerekiyor ".

2015 yılında İtalya % 7,7 güneş enerji üretimi oranıyla dünyadaki en büyük güneş enerjisi oranına sahipti. 2017 yılında, bir yıllık hızlı büyümenin ardından, güneş enerjisi küresel gücün yaklaşık % 2'sini veya 460 TWh üretti.

2017 yılında küresel jeotermal ve biyoenerji kapasiteleri sırayla 12,9 ve 109 GW idi ki oran olarak çok düşük oranlara sahiptiler. gerçi islanda ülkesi hemen hemen elektrik

ve hata ısıtma enerjisini jeotermalardan karşılamaktadır, ama küresel seviyede bu enerji piyasası büyük kapsam alamamaktadır.

Fosil yakıtlar ve nükleer teknolojiye göre rüzgar ve güneş gibi farklı kaynaklardan yenilenebilir enerji üretimi daha değişken ve coğrafi olarak daha yaygındır. Geniş enerji sistemine entegre etmek mümkündür, ancak bazı ek zorluklara yol açıyor. Enerji sisteminin kararlı kalması için bir dizi ölçüm yapılabilir.

Enerji depolamasının uygulanması, çok çeşitli yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanılması ve enerjinin üretildiği anda otomatik olarak kullanıldığı akıllı bir şebekenin uygulanması, yenilenebilir enerji uygulama risklerini ve maliyetlerini azaltabilir. Bazı yerlerde, bireysel haneler, tüketici yeşil enerji programı aracılığıyla yenilenebilir enerji satın almayı tercih edebilir.

Elektrik enerjisi, üretimin (özellikle rüzgar gücü, gelgit gücü, güneş enerjisi gibi aralıklı kaynaklardan) tüketimi aştığı zamanlarda depolanır ve üretim tüketimin altına düştüğünde şebekeye geri döner. Pompalanan depolama hidroelektrik, tüm şebeke gücü depolamasının% 90'ından fazlasını oluşturur. Lityum-iyon pillerin maliyetleri hızla düşüyor ve giderek artan oranda şebeke yardımcı hizmetleri ve ev depolama için kullanılıyor.

## **1.5. Motivasyon**

Elektrik Enerji üretim ve iletimde geleneksel yöntemlerde en kaliteli ve verimli sistem olan üç fazlı alternatif akım yenilenebilir enerji sektöründe kendisi bir sorun hale gelebiliyor. Çünkü yenilenebilir enerji yöntemlerin bir çoğu konvansiyonel enerji üretimi gibi tam kontrol altında değil ve istenilen hız frekans ve güç elde edilmiyor ve doğa anlık şartlarına göre değişiyor ve belirli güç, frekans kontrolü neredeyse imkansız o yüzden sadece frekans eviricilerle kontrol ediliyor ve gücü sistemde float olarak devreye giriyor ki bu da sistemde entegrasyon payını düşürüyor. entegrasyon payı söz konusu olunca, Professor Henrik Lund'ın danimarka 100% yenilenebilir enerji projesi en dikkat çekici nokta oluyor. Bahs edilen eviricilerin de enerji verimliliğine negatif etkisini de göz önünde buldirmek lazım ki bu sadece yenilenebilir enerji üretiminde değil daha da fazla sayıda güç sistem son noktaları olan evlerde ve tüketim seviyesinde devreye

girerek bir daha verimliliği düşürüyor. 100% yenilenebilir enerji mümkün olduğunu söyleyen Aalborg üniversitesi profesörü "Henrik Lund", bu işin karmaşık bir sistem olduğunu vurgulamıştır. Bu karmaşıklığı azaltma bilmeke amaca yaklaşmaya yardımcı olabilir ve DC Akıllı Şebeke ve mikroşebeke bu konuda hem evirici, çevirici sayısını azaltarak hemde interaktif son nokta yükleri üret (Üret tüket veya İngilizce karşılığı olan prosumer) model bir çok fayda gösterebilir, Örneğin;

1. Çevre korunması

Yenilenebilir enerjilerin ana amacı olan bu bölüm daha fazla entegrasyonla hayata geçebilir ve bu amaç için bir çok yenilenebilir kaynağın zaten DC olması ve bazıların ise mecburi nedenlerden dolayı düzleştirilip sonra tekrardan çeviriliyor olması DC akımı daha uygun gösteriyor.

2. Enerji güvenliliği (fossil kaynaklara bağı kopması ve pasif savunma kriterlerinin sağlanması)

Birinci faktörle aynı ve farklı yanları olan bu madde de ise her bölgenin kendi imkanlarına dayanarak doğadan enerji elde ederek daha sürdürülebilir enerji ve elektrik sistemi elde edilmesi hedeflenebilir ve bu hedef Fosil enerji ithal eden ülkelere daha hayati görülmekte dünya iklim ve ekonomi piyasasını değiştirebilir.

3. Ekonomik ve endüstriyel ve işsel meseleler

Bu sistemlerin kurulması için ekonomik ve ona bağı endüstriyel ve iş piyasasına etkisini de ele almak lazım. Bu konuya az dokunduğumuzda örnek olarak Türkiye'ni ele aldığımızda geçen 10 yılda ortalama her yıl yüzde 5 artış büyümüştür ve dünya enerji marketinde yüzde birlik bir paya sahiptir ve genel olarak enerji (petrol, elektrik vs.) 2019 bp energy-economics raporuna göre ithal ediyor.

Türkiye Cumhuriyeti Enerji Bakanlığı sitesindeki verilen verilere göre 2017 yılı sonu Türkiye'nin toplam birincil enerji tüketiminde kömürün payı %27'dir ve 2018 yıl sonu itibarıyla kömüre dayalı santral kurulu gücü 18.997 MW olup toplam kurulu gücün %21,5'ine karşılık gelmektedir ki Yerli kömüre dayalı %11,5 ve ithal kömüre dayalı %10 şeklindedir.

2018 yılında kömüre dayalı santrallerden toplam 113,3 TWh elektrik üretilmiştir

olup toplam elektrik üretimi içerisindeki payı %37,3 düzeyindedir. 2016 verilerine göre termik gaz santralleri %28,9 Türkiye elektrik üretiminde pay sahibi olmuştur. Doğal gaz neredeyse hepsi ithal oluyor diye bakıldığında ülkelerin ekonomik ve enerji güvenliğinde ne kadar dışa bağımlı ve hassas durumda olduklarını açıkça gözükmemektedir.

Buna ilave Elektrikli arabalar geleceğin kaçınılmazı olduğunu göz önünde bulundurulduğunda, tehdit gibi görünen büyük bir fırsat zamanı olduğu söylenebilir, eğer gerekli araştırma ve programlarla ithal edilen yakıt ve enerjilerin bir kısmı kadar yatırımla teknoloji ve yeni altyapı sistemlerine özen gösterilirse.

4. Güç dağıtım sistemi verimliliği ve akıllılığı  
yenilenebilir sistemlerin entegrasyonu çözülmesi gereken büyük bir sorun olması %100 yenilenebilir enerjiye erişmeyi zorlaştırsada olmayacak değil. alt yapı olarak dağıtım ve kontrol sistemlerinin araştırma ve dizayn edilmesi ve daha verimli olma bilmesi için araştırmalar her tarafta devam ediyor. Bu öneme sahip mesele araştırmacıların bazıları DC şebeke daha verimli ve daha az arayüz kullandığı nedeni ve senkronizasyona gerek kalmadığı için rahatlıkla devreye giriş çıkış yapabilecek çok sayıda elektrik üretim veya üretük (prosumer) noktaları daha kolay kontrol edilebilir. frekans sabitleme karmaşasına gerek kalmayacak ve reaktif güç anlamı kalmayacak. kablolardan daha verimli kullanılacak yükler sadece yük değil ve interaktif payları olacak şebekede. ada moduna girip çıkmak daha rahat olabileceği gibi faydaları ön görülüyor.

#### **1.6. Literatür Taraması**

Yeni enerji ortamında, artan güç tüketimi, elektrik akışı düzenlemesinde kalıcı yeniliklerle elektrik şebekesi güvenliğinin ve güvenilirliğinin sürdürülmesini gerektirmekte, elektrik üretimi ve talebi ile yenilenebilir enerjilerin entegrasyonu arasında daha az uyumsuzluk olmaktadır. Yük talep yönetiminin performansına, zamanlamanın optimize edilmesine, enerji kalitesinin iyileştirilmesine, varlık verimliliğinin artırılmasına, dinamik fiyatlandırmanın entegre edilmesine ve daha yenilenebilir elektrik kaynaklarının dahil edilmesine ek olarak, geleneksel şebeke

şebekesinin sürekli sorunu güç dengelemesidir. Bugün arz kesintisi oranı ve biriken süre çok zayıf olsa da, mevcut çevresel, teknik ve ekonomik kısıtlamalar bağlamında bu sistem tarafından yapılan büyük değişiklikler nedeniyle elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımını savunmasız kalmaktadır. Güç talebi ve güç üretimindeki güç şebekesi dalgalanmaları, birkaç saniye için bile, ilave geleneksel üretim birimlerinin devreye alınmasına neden olan bir etki yaratır. Bu geleneksel üretim birimleri fosil birincil enerjisine (gaz, petrol, kömür) dayanır ve elektrik şebekesinin eğirme rezervini oluşturur. Bu nedenle, enerji üretimi ve artan güç talebi arasındaki dengeyi sağlamak için, operasyonda geleneksel üretim birimlerinin sayısı artmalıdır. Eğirme rezervini azaltmak için, yenilenebilir enerji üretiminin daha iyi entegrasyonu ve güç talebi cevabının artırılmasıyla (tedarik koşullarına tepki olarak elektrik yüklerinde geçici değişiklikler) güç dalgalanmaları en aza indirilebilir.

Enerji talebinin artması, çevre sorunları ve azalan fosil enerjilerle karşı karşıya olan yenilenebilir enerjilerin elektrik şebekesine entegre edilmesi gerekmektedir. Gerçekten de, enerji üretiminin sera gazlarını azaltmak için, mevcut elektrik şebekesi, geleneksel elektrik üretiminin gerekli tamamlayıcısı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarını zaten dahil etmiştir. Günümüzde, dağıtılmış enerji üretimi şu şekilde sınıflandırılabilir:

- toplam ve kalıcı güç enjeksiyonu ile şebekeye bağlı bir sistem;
- genellikle uzak sahalar için şebeke şebekesi bağlantısının yerine geçen bağımsız bir sistem; veya
- şebekeden bağımsız / şebekeye bağlı ve güvenlik ağ sistemi.

Yenilenebilir enerji satın alma koşulları nedeniyle, çoğu uygulamada, özellikle rüzgar türbini jeneratörleri ve fotovoltaik (PV) kaynaklar gibi değişken yenilenebilir elektrik üretimi için sürekli enerji enjeksiyonu için şebekeye bağlı sistem önerilmektedir. Bununla birlikte, bu tür yenilenebilir enerji üretiminin çok aralıklı ve rastgele olduğunu bilerek, bu artan enerji enjeksiyonu, gerçek teknik kısıtlamalar haline gelen şebeke bağlantısı olaylarına neden olma eğilimindedir. Sürekli büyüyen bu tür üretim eğirme rezervinin genişlemesine bakılmaksızın şebekeye kontrolsüz olarak enjekte edilirse, şebeke şebekesinde güç uyumsuzluğunu artıracak ve voltaj ve frekansta dalgalanmalara neden olacaktır [6]. Bu nedenle, yardımcı program ızgarasının güvenlik açığı büyük



ölçüde artabilir. Bunun nedeni, tahmin edilemeyen ve çok huzursuz olan değişken yenilenebilir elektrik üretiminin şebeke bağlantısı (voltaj ve frekans ayarı, ada tespiti vb.) için teknik düzenlemelere katılmaması ve pasif elektrik jeneratörleri gibi davranmasıdır [7]. Bu teknik kısıtlamalara yanıt olarak, merkezi olmayan yenilenebilir enerji üretiminin şebeke entegrasyonu [8] veya üst düzey enerji yönetimi kontrolü [9] olarak yeni denetim stratejileri geliştirilmesi üzerine araştırmalar yapılmaktadır.

Şebekeye bağlı sistemler ile ilgili olarak, güç elektroniği dönüştürücüler [10], karmaşık sistem yaklaşımı [11] ve şebeke sistemi bağlantısı [12] konusunda birçok çalışma yapılmış ve çözümler önerilmiştir. Bununla birlikte, şebekeye entegre enerji yönetiminin olmaması nedeniyle, yenilenebilir enerji şebekesine bağlı sistemlerin geliştirilmesi, özellikle de gerçek zamanlı güç geri şebeke kapasitesi ile kısıtlanabilir [13].

Enerji depolama, yenilenebilir enerjinin aralıklı doğasıyla başa çıkmak için mükemmel bir çözüm gibi görünmekle birlikte, mevcut teknolojiler, kapasite, tepki süresi, yaşam döngüsü maliyeti, belirlenmiş arazi formu ve çevresel etkiyi temel alan sınırlamaları vardır [14–16]. Rüzgar santrali gibi büyük ölçekli yenilenebilir enerji santralleri için, pompalanan depolama hidroelektrik istasyonu, yenilenebilir kaynakların rastgele üretimi ile ilgilenmek için umut verici bir teknolojidir [15]. Bu teknik, halihazırda mevcut olan şebeke enerji depolamasının en uygun maliyetli şeklidir. Ancak, sermaye maliyetleri ve uygun arazi gereksinimi bu çözümü genelleştiremez.

Şebeke enerjisi depolamasındaki son gelişmeler hidrojen teknolojilerini (birleşik yakıt hücreleri ve hidrojen tanklı elektrolizerler) pompalanan depolamaya bir alternatif haline getirmektedir [17]. Buna karşılık, binaya entegre yenilenebilir jeneratörler gibi küçük ölçekli bir tesis için, şebekeye bağlı sistemler için şebeke etkileşimli kontrol eksikliğinin üstesinden gelmek için çok az yenilik vardır. PV sistemleri için, kurşun-asit bataryalar, performansları açısından düşük maliyet nedeniyle yaygın olarak depolama olarak kullanılır. Bununla birlikte, sınırlı bir depolama kapasitesi göz önüne alındığında, yüksek penetrasyon seviyesi için değişken yenilenebilir enerji kullanımını optimize etmek için bir enerji yönetimi stratejisi geliştirilmelidir.

Yenilenebilir kaynakların aralıklı doğası göz önüne alındığında, bağımsız sistemlerle ilişkili en büyük sorun, enerji depolama ve konvansiyonel kaynak sayısının gerekli olduğu andan itibaren hizmetin sürekliliğidir. Bu eksenindeki çalışmalar daha çok tekno-ekonomik fizibilite koşulları, optimize edilmiş depolama boyutlandırması ve yük yönetimi üzerinde yoğunlaşmaktadır [18–20].

Bu nedenle, dağıtılan enerji üretimi çok hızlı bir büyüme gösterir ve esas olarak

prosumer sahaları (yani üretici ve tüketici sahaları) nedeniyle şebeke yöneticileri için artan bir karmaşıklıkta ortaya çıkarır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının (örneğin, PV ve rüzgar türbini jeneratörleri) aralıklı doğası, bunların kamu şebekesine entegrasyonu için bir sorun olmaya devam etmekte, bu da voltaj ve / veya frekans dalgalanmaları, harmonik kirlilik, yük yönetimi zorluğu, vb. üretim ve tüketim arasında güç dengelemesi için yeni yöntemlere [11].

### **1.7. Tez Kapsamı**

Bu tezin temel amacı DC Mikroşebekelerin günümüzdeki Mikroşebeke ve çevresel sorunlara, Akıllı sistem sunumu ile yardımcı olub ola mamasını araştırmak ve devamında yenilenebilir enerji ve enerji depolama ve V2G ile bir arada akıllı DC mikro şebekenin sunumu dur.Literatüre tarama, fizibiliti tartışması ve eksiklerin belirlemek ve simülasyon yapmak diğer amaçlarda dır.

uygulanmasının fizibilitesini araştırmak ve daha iyi sistem performansı elde etmek için farklı Matlab kodu, ve Simulink tasarımı yapılmıştır.

yeni bir yaklaşım olarak adalanmanın yanı sıra meş topolojiye dönüşümü gözden geçirilmiştir ve farklı gerilim seviye araştırma ve önerisinde bulunulmuştur.

## 2. MİKRO ŞEBEKELER

### 2.1. Giriş

AC ve dc mikrogridler (MG'ler) yenilenebilir ve dağıtılmış enerji kaynaklarının yanı sıra dağıtılmış enerji depolama sistemlerini entegre etmek için temel unsurlardır. Son birkaç yılda, bu MG'lerin standardizasyonuna yönelik çabalar gösterilmiştir.

Elektrik şebekeleri daha dağılmış, akıllı ve esnek olma eğilimindedir. Yeni güç-elektronik ekipman önümüzdeki on yıllarda elektrik şebekesine hakim olacak. Bu yeni şebekenin eğilimi gittikçe daha fazla dağılmaktır ve bu nedenle enerji üretimi ve tüketim alanları ayrı ayrı tasarlanamaz. Günümüzde elektrik ve enerji mühendisliği, küçük dağıtılmış güç jeneratörleri ve dağılık enerji depolama cihazlarının şebekeye entegre edilmesi gereken yeni bir senaryo ile karşı karşıya kalmaktadır. Akıllı şebeke (SG) olarak da adlandırılan yeni elektrik şebekesi, enerji tasarrufu sağlamak amacıyla tüketicilerin evlerindeki cihazları kontrol etmek için dijital teknolojiyi kullanan tedarikçilerden tüketicilere elektrik sağlayacak, böylece maliyeti düşürecek ve güvenilirliği ve şeffaflığı artıracak. Bu anlamda, beklenen tüm enerji sistemi daha etkileşimli, akıllı ve dağıtılmış olacaktır. Enerji sistemlerinin dağıtılmış üretimi (DG) kullanımı, enerji dengeleriyle başa çıkmak için dağıtılmış depolama sistemleri kullanmadan bir anlam ifade etmez.[21]

Mini şebekeler olarak da adlandırılan mikro şebekeler (MG'ler) DG ve enerji depolama sistemlerini entegre etmek için önemli kavramlar haline gelmektedir. Konsept, son kullanıcı tüketeceği enerjinin bir kısmını üretebiliyor, depolayabiliyor, kontrol edebiliyor ve yönetebiliyorsa gerçekçi olabilen yenilenebilir enerji sistemlerinin penetrasyonu ile başa çıkmak için geliştirilmiştir. Bu biçim değişikliği, son kullanıcının sadece bir tüketici değil, aynı zamanda şebekenin bir parçası olmasını sağlar.

## 2.2. Akıllı Mikroşebekeler

Şebeke ihtiyaçları ve bulunabilirliği bilgileri, istenmeyen enjeksiyonlardan kaçınarak ve yoğun saatlerde yük tıraşı yaparak güç dengelemesine yardımcı olabilir. Bunun için bilgi alışverişini kolaylaştırmak için akıllı şebeke oluşturulmaktadır [15]. Son yıllarda doğan akıllı şebeke kavramı, enerji otoritesi alanlarının bölge ölçeğindeki kayıpları azaltmak ve enerji talebi zirvelerini azaltmak ve veri iletişimi, enerji yönetimi optimizasyonu ve etkileşim yoluyla yerel bir şebeke düzenlemesi yürütmek için bir çözüm gibi görünmektedir. tüm şebeke ızgarası ile. Peki, akıllı şebeke nedir?

- “Akıllı şebeke sonuçta megawatt elektriği daha verimli ve uygun fiyatla taşımak için megabayt veri kullanmakla ilgilidir.” (Tanım, Ontario Akıllı Şebeke Forumu raporu, Mayıs 2011 tarafından verilmiştir.)
- “Akıllı şebeke” genellikle bilgisayar tabanlı uzaktan kumanda ve otomasyon kullanarak insanların elektrik dağıtım sistemlerini 21. yüzyıla getirmek için kullandıkları bir teknoloji sınıfı anlamına gelir.

Bu sistemler, on yıllardır diğer endüstrilerde kullanılan iki yönlü dijital iletişim teknolojileri ve bilgisayar işlemesi ile mümkün olmaktadır. Elektrik şebekelerinde, santrallerden ve rüzgar çiftliklerinden evlerde ve işyerlerinde elektrik tüketicilerine kadar kullanılmaya başlanıyorlar. Bunlar, çoğunlukla elektrik şebekesinde enerji verimliliği ve güvenilirliğinde ve enerji kullanıcılarının evlerinde ve ofislerinde büyük iyileştirmelerde görülen kamu hizmetlerine ve tüketicilere birçok avantaj sunuyor. ” (Tanım ABD Enerji Bakanlığı tarafından verilmektedir.) Özetlemek gerekirse, akıllı şebeke, iletişim ve bilgi teknolojisi ile entegre olarak verimli bir şekilde (üreticilerden tüketicilere) nakledilen, dönüştüren ve dağıtan elektrik dağıtım sistemi olarak tanımlanabilir.

Akıllı şebeke iletişiminin temel amacı, güç üretimi ve güç tüketiminin dengelenmesine yardımcı olmaktır. Akıllı şebeke, doğrusal olmayan, rastgele, çift yönlü güç akışı ve çift yönlü iletişim ile çok karmaşık bir ağdır. Sonuç olarak, tüm sistemin durumunu denetlemek ve büyük ölçekli gerçek zamanlı verilerle uğraşmak, akıllı cihazların ve iletişim protokolünün teknolojilerine rağmen açık bir sorun olmaya devam etmektedir.

Öte yandan, bir şebekeye yüksek düzeyde yenilenebilir enerji penetrasyonu sağlamak için, daha sağlam bir şebeke oluşturmak için stratejiler ve güç yönetimi araçları geliştirilmelidir. Ayrıca, istenmeyen enjeksiyonlardan kaçınmak ve yoğun saatlerde yük traşı yapmak için ızgara ihtiyaçları ve kullanılabilirliği hakkında bilgi çok önemlidir. Bunun için akıllı şebekenin bilgi alışverişini kolaylaştırması beklenir.

Akıllı şebekenin, akıllı mikro şebekelerin, akıllı binaların ve dağıtılmış verilere dayalı yeni teknolojik cihazların, yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı aralıklı merkezi olmayan üretimin neden olduğu sorunlara cevap vermesi ve aynı zamanda ekonomik optimizasyon gerçekleştirilmesi gerekiyor. Zorluk, teknolojik kullanıcılar ve mikro şebekeler için insan kullanıcıları ve üreticileri ile sürekli etkileşim halinde kolektif zeka modelleri oluşturmaktır. Bu sürekli etkileşimler nedeniyle, bu kolektif zeka modelleri, ortaya çıkan optimal tüketim ışığında teknik kısıtlamaları ve alışkanlıkları, uygulamaları ve sosyal normları dikkate almalıdır.

Tablo 2.1. Avrupada Son Tüketici evsel Enerji tüketimi

<b>EU-28</b>	<b>Toplam</b>	<b>Ortam Isıtma</b>	<b>Ortam Soğutma</b>	<b>Su Isıtma</b>	<b>Soğutma</b>	<b>Aydınlatma ve Aletler</b>	<b>Diğer</b>
<b>Elektrik</b>	24,3%	3,4%	0,3%	2,8%	2,7%	14,4%	0,7%
<b>türetilmiş ısı</b>	7,8%	6,1%	0,0%	1,7%	0,0%	0,0%	0,0%
<b>Doğal gaz</b>	36,5%	27,6%	0,0%	7,1%	1,9%	0,0%	0,0%
<b>katı yakıtlar</b>	3,3%	3,0%	0,0%	1,6%	0,7%	0,0%	0,1%
<b>Petrol ve ürünleri</b>	11,3%	9,0%	0,0%	1,6%	0,7%	0,0%	0,1%
<b>Yenilenebilir ve atıklar</b>	16,8%	15,0%	0,0%	1,5%	0,3%	0,0%	0,1%
<b>Toplam</b>	100%	64,1%	0,3%	14,8%	5,6%	14,4%	0,9%

### 2.3. AC ve DC Mikroşebeke Karşılaştırması

Avrupa evsel toplam enerji tüketim verileri tablo da verildiği gibi elektrik enerjisinin önemini vurgulayarak aynı zamanda elektrik yüklerinin zaman içerisinde yön değiştirdiğini ve geçen onyıllardaki gibi ev aletleri enerji tüketim payı hızla büyümüyor ve hatta aydınlatma enerji tüketimi yüzdesi düştü bile.

Tek fazlı bir AC sistemi ve tek pole bir DC sistemini göz önünde bulundurarak aşağıdaki verilen denklemler söylenebilir.

$$V(t) = V_m \cos(\omega t + \theta_v) \quad (2.1)$$

$$V_{DC}(t) = V_{DC} \quad (2.2)$$

Burada;  $V_{AC}$  AC Gerilim Dalga formudur,  
 $V_m$  AC Gerilim genliğidir,  
 $\omega$  Açısal frekansdır,  
 $\theta_v$  Açısal faz farkıdır,  
 $t$  Zamanı gösterir.  
 $V_{DC}(t)$  DC Gerilim formudur,  
 $V_{DC}$  DC Gerilim genliğidir,

$$i_{AC}(t) = I_m \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2.3)$$

$$i_{DC}(t) = i_{DC} \quad (2.4)$$

$$P_{AC}(t) = V_{AC}(t)i_{AC}(t) = V_m I_m \cos(\omega t + \theta_v) \cos(\omega t + \theta_i) \quad (2.5)$$

$$\theta = \theta_v - \theta_i \quad (2.6)$$

$$|V| = \frac{V_m}{\sqrt{2}} \quad (2.7)$$

$$I_{II} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (2.8)$$

Buradan aktif ve reaktif AC güç değer leri elde edilir.

$$P_{AC} = IV_{II}\cos\theta \quad (2.9)$$

$$Q_{AC} = IV_{II}\sin\theta \quad (2.10)$$

hal buki DC güç trigonometrik hesaplara gerek duymadan böyledir:

$$P_{DC} = V_{DC}I_{DC}$$

Bu denkleme istinaden Tablo 2.2 verilmiştir ki tabloda DC gücünün aktif ve reaktif bileşenlerinin değerleri verilmektedir.

Tablo 2.2. DC sisteminde karakteristik parametreleri

Parameter	Value	Units
P	1	kW
Q	0	kVAr

$$S_{AC} = P_{AC} + jQ_{AC} \quad (2.11)$$

$$S_{DC} = P_{DC} \quad (2.12)$$

Denklemler tek fazlı AC ve tek kutuplu DC sistemlerini karşılaştırma sonucuydu. Üç fazlı AC ve iki kutuplu DC sistemlerini de karşılaşımında ise,

$$v_{p*n} = \sqrt{2}|V_p|\cos(\omega t + \theta_v + \theta_{p*}) \quad (2.13)$$

$$i_{p^*} = \sqrt{2}I_p \cos(\omega t + \theta_i + \theta_{p^*}) \quad (2.14)$$

$$P_{3\phi} = 3V_p I_p \cos\theta \quad (2.15)$$

$$Q_{3\phi} = 3V_p I_p \sin\theta \quad (2.16)$$

Burada  $p^*$ ,  $a, b, c$  fazların temsilcisidir. Oysa ki iki kutuplu, DC sistemler aşağıda verildiği gibidir.

$$P_{DC-2pole} = 2V_{DC}I_{DC} \quad (2.17)$$

Denklemsel açılıma baktıktan sonra DC yüklerin şehirlerdeki katkı payına bakmak için 2012 yılının verilerinden oluşan Tablo 2.3 incelenir. İlave etmek lazım ki DC yüklerin katkısı hergün daha da artmakta.

Tablo 2.3. Ticari Yapılar Elektrik tüketimi (kWh), 2012

Parametreler	Value (TWh)	Percentage	AC or DC	Açıklama
Isıtma	25	2%	AC	
Soğutucu	185	15%	Both	DC evirici
Havalandırma	196	15,8%	Both	DC sürücü
Su Isıtma	6	0,5%	AC	
Aydınlatma	217	17%	DC	
Yemek pişirme	27	2,2%	DC	DC evirici
Buzdolabı	196	15,8%	DC	DC evirici
Ofis ekipmanı	50	4%	DC	
Bilgi işlem	119	9,7%	DC	
Diğer	225	18%	AC	
<b>Toplam</b>	<b>1243</b>	<b>77,5% DC</b>	<b>22,5% AC</b>	



Tablo 2.4. AC ve DC Mikroşebekelerde PCC Davranış karşılaştırması

Parametreler	AC Mikroşebeke	DC Mikroşebeke
<b>senkronlaşma</b> (coupling)	Çok parametrelili ve hassas	AZ parametrelili ve kolay
<b>Ayrılma</b> (decoupling)	Kesmek daha kolay	Kesmek zor
<b>PCC Güç seviyesi</b>	Yüksek	Düşük
<b>Dağıtım seviyesi</b> (PCC maliyeti)	Yüksek	Düşük

2016 yılında dünya çapında üretilen toplam elektrik 25086 TWh idi ve bu miktarın %40'ı konut yüklerinde tüketildi ve bu miktarın en az yarısı DC yüklerdi [22]. Bu istatistiklere göre DCMŞ, DC yük oranının ACMŞ'ye kıyasla yüksek olduğu konut yükleri için ekonomik faydalar için ACMG'ye kıyasla büyük bir potansiyele sahiptir, ayrıca yeni teknolojiler DC yük miktarı ve toplam yüzde artmaktadır.

#### 2.4. Hibrit AC/DC Mikroşebeke

DC Mikroşebeke araştırma alanında bu konu çok tartışılan bir başlık olsada hala DC sistemlerin tüm detayı araştırılmadığı ve gelişmediği için yazar bu konuyu tez kapsamında çalışmamıştır. Ama AC den DC ye geçiş süresinde Hibrit bir şebeke üzerine çalışılması ve gelişmenin devamlı olması için en önemli noktalardan gözükmektedir. Böylece AC tamamen Mikroşebeke anlayışından ayrılırsa veya varlığını sürdürsede Hibrit şebeke araştırması kendi önemini taşıyacaktı.

#### 2.5. Mevcut AC Mikroşebekelerde Sorun Bildirimi

Ac Mikroşebekelerde gerçek anlamda ayakta durması için ve ada modunda küçük bölge olarak ayakta durması çok maliyetli ve zor olduğu için gerçekte tercih edilmeyen bir sistem olmuştur ve maliyetin önemli bir kısmı PCC lerden kaynaklanıyor. PCC ler devreyi ayakta tuta bilmeleri için bir sürü parametrelere uyarak açma ve kapama işlemleri gerekiyor ve bu parametrelerde akım yönü ve seviyesi, frekans durumu, ve saire parametreler işlemi daha da karmaşık yapıyor. Birde buna mikroşebekelerin

Tablo 2.5. AC ve DC dağıtım hatlarının karşılaştırması

Parametreler	AC Dağıtım hatları	DC Dağıtım hatları
<b>Güç İletimi</b>	Düşük verim sebebi daha az güç iletimi	yüksek verim sebebi yüksek güç iletimi
<b>İletken</b>	daha kalın iletkene gerekir	daha ince iletken yeterliliği
<b>Sistem Kararlılığı</b>	Dış örselenme etki nedeni düşük kararlılık	Daha kararlı
<b>Frekans ayarları</b>	Frekans gözetimi gerekli	frekans yok ve hassasiyeti düşüktür
<b>Geçici durum</b>	daha hassas	düşük seviye kararlılığı
<b>Elektromanyetik</b>	hesaplarda etkisi hesaplanmalı	engelleme etkisi yok, tüm bileşenler filterlenir
<b>Direnç</b>	Daha büyük ampedans	Düşük direnç
<b>Relüktans</b>	Var	Relüktanssız
<b>süseptans</b>	şarj akımı ve aşırı voltaja neden oluyor	yok
<b>Cilt Etkisi</b>	Akım ve Gerilimi limitler, kayıp, fiziksel sistem yıpranışı	yok
<b>dijital işlem</b>	fazla parametre, karmaşık analiz	daha sade ve az parametre
<b>Kontrol sistemi</b>	Karmaşık	Daha rahat gelişebilir
<b>Koruma sistemi</b>	Var	Araştırmalara ihtiyacı var

bir birine bağılı olduğunu ve birinin devreden çıkması tüm birbirine bağılı şebekeleri kaskad şekilde çöktürme ihtimali de bulunmaktadır ve bu ihtimalin karşısına geçmek için merkezi veya dağıtılmış kontrol sistemi yukarıda işaret edilen parametreleri kendi özerk bölgeleri veya merkezi kontrol ve yönetim sisteminde tüm sistemde göz altına alması gerekiyor. Bu sorunlara birde harmoniklerin güç Kalitesini bozmalarını de ölçüm cihazlarında yanlış tespip nedeni olmalarını eklemek lazım. Hatırlatmak lazım ki Harmoniklerin büyük bir kısmı güç elektroniği cihazlardan neticeleniyor, ve bu cihazların hem evirici hem doğrultucu olarak mecburi şekilde elektrik üretim veya tüketimde kullanılıyor ve kaçınılmaz bir mesele olmuştur ve eviricinin genel olarak daha fazla negatif etkisi açıktır[23]. Reaktif güçler şebekenin kapasitesini dolduruyor ve tüketicinin bozuk ritme ve senkronsuz ve kısmi dalga formu kullanımı ile baş verir, bunun için harmonikler de aynı zamanda reaktif gütt parçasıdır. Bu soruna çözüm olan kompanzasyon sistemleri çok maliyetli ve AC mikroşebekenin karmaşık durumunu daha da karmaşık yapıyor.

Mevcut AC Mikroşebekelerin hakkında söylenen negatif yanları genel olarak iki kısma bölüne bilir. Yenilenebilir enerji üretim yolları ve yeni teknolojilerin yarattığı yüklerin DC ile uyumlu olması ve AC sistemler bu yük ve kaynakları kendilerine uydurmak zorulundan ortaya çıkan karmaşıklık ve zorluklar ki neticesi sistemin düşük verimliliği ve yüksek maliyetidir.

## **2.6. DCMŞ Araştırma Alanları ve Tezın Odak Alanı**

Mikro şebekeler geleneksel güç ağı topolojisini değiştirebilir. Mikro şebekelerdeki ana araştırma konularının dinamikler, kontrol, güç kalitesi, koruma, enerji yönetimi, iletişim, ekonomi, güvenli çalışma, vb. İle bağlantılı olduğu vurgulanabilir. gerçekten de kontrol, koruma sistemi ve cihazları ve enerji yönetimi en önemlisi gibi görünmektedir.

### 3. DC MİKROŞEBEKE

#### 3.1. Giriş

DC devreler eskiden santrallerde yardımcı besleme, alarm ve aydınlatma sistemleri olarak kullanılır, ayrıca bazı veri merkezlerinde, gemi ve uçak güç sistemlerinde de kullanılır, ancak son yıllarda bazı örnek araştırm amaçlı LVDC ler gerçekleşse de hala LVDC MG'de henüz geniş bir kullanım alanı yoktur. Doğru akım (DC) mikro Şebekeleri, küçük ölçekli üretim, enerji depolama sistemlerinin yedeklenmesi, veri merkezleri, denizcilik ve diğer hassas yükler ve endüstriyel uygulamalar gibi farklı güç uygulamaları için geniş potansiyele sahiptir [8, 15]. DC mikro şebekeler, güç yoğunluğuna ve verimliliklerine göre karşılaştırıldıklarında geleneksel alternatif akım (AC) güç sistemlerine göre çeşitli avantajlara sahiptir [9]. Öte yandan, DC mikroşebekeler için etkili bir koruma düzeninin olmaması, DC sistemlerinin daha fazla benimsenmesinin önündeki önemli bir engeldir. Zorluklar DC mikroşebeke ile bağlantılı kısa devre (SC), hatalarına karşı korunması bulunmaktadır. Bu nedenle, DC mikroşebekeler için bir koruma yöntemi geliştirilmesine büyük dikkat gösterilmiştir. Koruma, güç sistemlerinde çok önemli bir rol oynar ve mikroşebekeleri tanıtmanın temel amaçlarından biri güvenilirliği arttırmaktır.

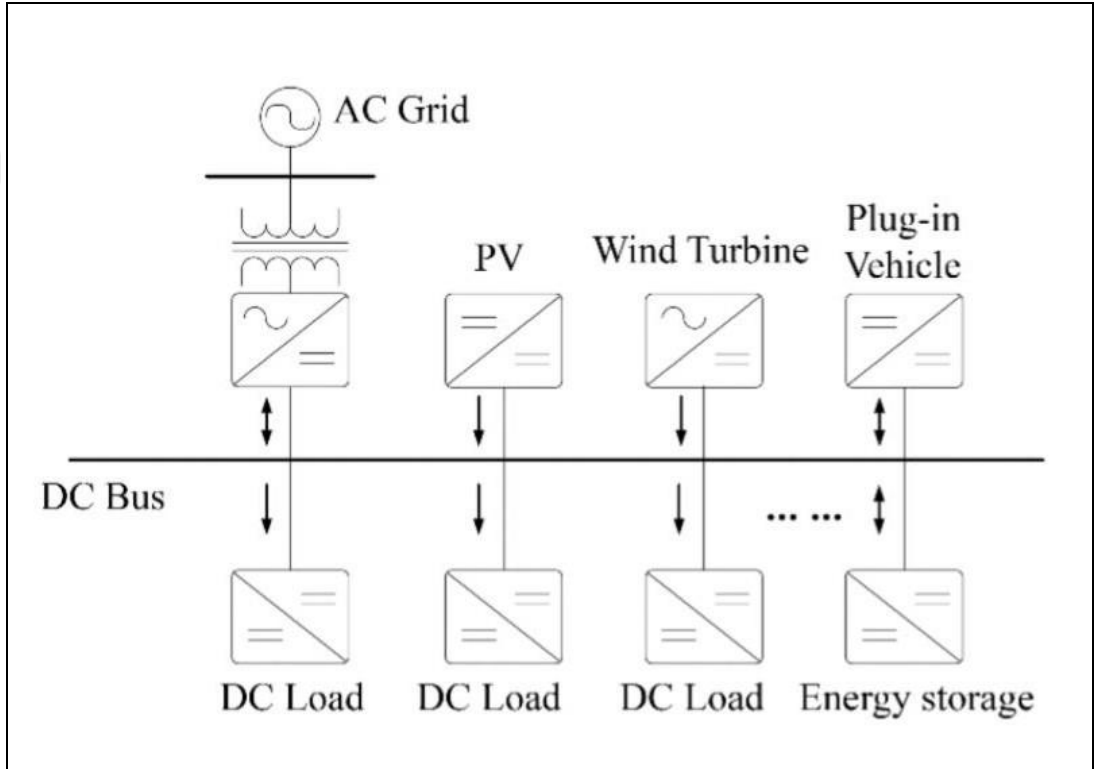
Mikroşebeke kullanımının ana sorunlarından biri koruma sorunlarıyla ilgilidir, çünkü mikrogridlerin korunması çeşitli nedenlerle geleneksel yöntemlerle çözülemeyebilir. Bu nedenlerin bazıları mikro şebekelerin çift yönlü gücü, yenilenebilir kaynakların dinamik özellikleri, adalı modda arıza akımının değiştirilmesi, kaynak sayısı ve türleridir. Bu nedenle hem şebeke hem de adalı modda mikro şebekeler için güvenilir bir koruma yöntemi önermek önemlidir. Yükler ve güç kaynakları, daha az güç dönüşüm aşamasına sahip ortak bir DC veri yoluna bağlanabildiğinden , sonuç daha az atık ısı ve potansiyel olarak AC sistemlerinden daha düşük maliyetlidir. Ayrıca, DC iletim hatlarından AC'ye göre daha fazla güç akabilir. DC mikroşebeke kullanmanın olumlu yönleri, yüklerin, dağıtım enerji kaynaklarının (DER'ler) ve depolama

ekipmanlarının daha basit ve daha verimli şekilde birbirine bağlanabilmesidir. DC mikro şebekeleri esneklik, verimlilik, güvenilirlik ve esneklik açısından büyük avantajlar sağlar [17]. Ek olarak, DC mikro şebekeleri aşağıdaki avantajlara sahiptir:

- DC mikro şebekeler, AC mikro şebekelerle karşı beş kablo yerine, yalnızca iki tel kabloya ihtiyaç duyar
- Konut yüklerinin çoğu DC'dir veya DC voltajla beslenebilir.
- DC mikro şebekelerdeki kayıpları azaltabilir ve bu nedenle soğutma ihtiyacını ve maliyet etkinliğini azaltır [19].
- DC de cilt etkisi oluşmaz, dolayısıyla kablo kayıpları%15-20 oranında düşebilir [19].
- DC sistemleri insan vücudunda, insan vücudundaki zararlarda daha güvenlidir.
- DC sistemi deşarjı AC'den [18] düşük.
- Yüksek güç aktarım kapasitesi [20].
- Dönüştürücülerin daha az yedek olması, her ikisinde olduğu gibi kayıpları ve ısıyı azaltabilir yükler ve kaynaklar DC'dir [15].
- Bir veri yoluna birden fazla kaynak bağlanabilir; bu nedenle güç akışı daha sağlamdır [15].
- Batarya ve ultra kapasitörler gibi depolama cihazlarının çoğu DC'dir [20].
- Senkronizasyon problemleri DC mikro şebekelerde ortadan kaldırılmıştır[24].

DC mikro şebekeleri birçok uygulamada göz önünde bulundurulur ve iki voltaj seviyesine ayrılır: orta voltajlı DC (MVDC) ve düşük voltajlı DC (LVDC). MVDC mikro şebekeleri, deniz ve gemi güç sistemleri için büyük ilgi çekmektedir, çünkü bu deniz sistemlerinin güç ve enerji yoğunluğunu hazırlayabilecektir [17] ve MVDC sistemleri 1500 V ile 22 kV arasında [25] . Ayrıca, MVDC sistemlerinin farklı uygulamaları [23, 24] 'de tanıtılmıştır. Öte yandan, LVDC mikro şebekeleri kullanıma uygundur, çünkü düşük voltaj oranındaki yüklerin çoğu DC'dir. LVDC mikro

şebekeleri, Telekom güç sistemleri, güç sistemi kontrolleri, koruma sistemleri ve konutlar gibi geniş uygulamalarda kullanılabilir [26]. LVDC mikro şebekeleri dönüştürücüler kullanarak AC güç sistemine bağlanmalıdır ve sistemin güç akışı iki yönlü olacaktır ve bu nedenle DC mikro şebeke için farklı bir koruma şeması gereklidir [23]. Şekil 3.1, tipik bir DC mikro şebekesini göstermektedir. Öte yandan, DC mikroşebekelerin koruma yöntemleri ile AC arasındaki farklar nedeniyle, arıza yeri, sınıflandırma ve tespit, bu sistemlerdeki koruma zorluklarıdır.



Şekil 3.1. DC Mikroşebeke Diyagramı

Bu nedenle, DC sistemi arızalara karşı etkili bir şekilde korunmalıdır. Bir koruma yöntemi, DC mikro şebekelerinde hassas, güvenilir ve seçici bir koruma önermelidir. Bataryalar , yükler ve PV'ler DC mikro şebekelere, ilave arıza aşamaları olmadan kolayca bağlanabilir [27], bu da dahili arıza olasılığını azaltabilir. Öte yandan, AC mikro şebekelerinde, gerilim trafolar tarafından değiştirilebilir, ancak DC mikro şebekelerde, dönüştürücülerin hata ve kontrol sistemlerine duyarlılığı nedeniyle dönüştürücüler daha karmaşık bir korumaya ihtiyaç duyar.

Ayrıca, koruma sistemleri bir arıza cihazı temizlemek için bir koruma cihazı (PD) ve aktüatörler gerektirir. DC mikro şebekelerinde, DC ve AC akımlarının karakteristik

farklılıkları nedeniyle, DC mikro şebekelerinde AC PD'ler ve aktüatörler kullanılmaz. Bu nedenle, tipik olarak DC PD'ler ve aktüatörler sigortalar, röleler, DC CB'ler ve anahtarlardır. DC mikro şebekedeki arıza sırasında, ana şebekenin katkısı sınırlayıcı cihaz ve yöntemlerle sınırlanırsa, DC mikro şebekenin güç kalitesi düşecektir. Ayrıca, yüksek empedanslı hatada, ana şebekenin [28] hatalı enjeksiyonuyla voltaj düşüşü azalır. Ek olarak, DC mikro şebekeleri tipik olarak sabit güç yükleri (CPL'ler) [29] gibi davranan birkaç yük dönüştürücüsüne sahiptir. CPL'ler voltaj düşüşünden sonra ve bunların negatif artımlı empedansından dolayı koruma sistemi üzerinde istenmeyen bir etki yaratır [30]. CPL gibi davranan DC yüklerinin artan kullanımı, çalışmalarını daha önemli ve pratik hale getirir.

### **3.2. DCMŞ Grilim Polaritesi**

AC şebeke sistemlerinde, kullanım tarafından sağlanan güç iki tel (tek fazlı) ve dört tel (üç fazlı) kullanılarak iletilebilir. DC şebekeler kanalındaki güç, benzer bir yapılandırma kullanılarak iletilir: iki telli (tek kutuplu) ve üç telli (iki kutuplu) sistemler [31, 32]. Bu iki DC şebeke konfigürasyonu arasındaki fark, mevcut voltaj seviyelerinin sayısıdır.

(a) Tek kutuplu(Unipolar)DC Mikroşebeke Sistemi:

Tek kutuplu bir DC sisteminde, kaynaklar ve yükler, Şekil 11'de gösterildiği gibi DC barasının pozitif ve negatif kutbu arasına bağlanır. Enerji, DC bara üzerinden bir voltaj seviyesinde iletilir; bu nedenle, DC bara voltajı seviyesinin seçimi bu sistemde anahtar bir faktördür. Daha yüksek voltaj seviyesi sistemin güç aktarım kabiliyetini artırır, ancak son kullanıcı voltaj seviyesini eşleştirmek için daha fazla DC-DC dönüştürücüsü gerektirir. Ayrıca, daha yüksek voltaj seviyesi güvenlik risklerini artırabilir.

Düşük voltaj seviyesi ile sistemin iletim kapasitesi kısa bir mesafe ile sınırlıdır. Bununla birlikte, düşük voltaj seviyesinin doğru seçilmesi, düşük güç şebekesine bağlı ekipmanlarda birçok DC-DC dönüştürücününün açılmasını önleyebilir. Tek kutuplu sistem, hiçbir şebeke şebekesi altyapısının bulunmadığı uzak kırsal bölgelerdeki şebekesiz evler için geçerlidir. Son zamanlarda Hindistan'ın kırsal alanlarındaki şebekesiz evler için PV panellerinin mikro şebekelere entegrasyonu ile 48V DC tek

kutuplu sistemler uygulanmıştır [33]. Genel olarak, tek kutuplu sistemin uygulanması basittir ve DC kutupları arasında asimetri olma ihtimali yoktur. Bununla birlikte, bu sistem herhangi bir fazlalık sağlamaz ve bu nedenle tek bir hata bile tüm sistemin kapanmasına neden olabilir [34]. Ayrıca, bu sistem müşterilere farklı voltaj seviyesi seçenekleri sunmamaktadır.

(b) iki kutuplu (Bipolar) Dc Mikroşebeke Sistemi:

Bir bipolar sistem, tek kutuplu bir sistemle ilgili yukarıda belirtilen sınırlamaların üstesinden gelebilir. İki kutuplu sistem ayrıca  $+V_{dc}$ ,  $-V_{dc}$  ve Şekil 12’de gösterildiği gibi nötr bir hattan oluşan üç kablolu DC bus sistemi olarak da bilinir. Bu yapılandırmada müşterilerin üç farklı voltaj seviyesi seçme seçeneği vardır:  $+V_{dc}$ ,  $-V_{dc}$  ve  $2V_{dc}$ .

Ayrıca, DC kutuplarından birinde bir arıza durumunda, güç diğer iki kablodan (bipolar) ve bir yardımcı dönüştürücüden sağlanabilir. Bu nedenle, arıza koşulları sırasında sistemin güvenilirliği, kullanılabilirliği ve güç kalitesi artar. Farklı voltaj seviyeleri, farklı yükleri bağlamak için müşterilere daha fazla esneklik sunar, ancak aynı zamanda bu, yüklerin eşit olmayan dağılımı nedeniyle sistemde dengesizliğe neden olabilir. Bu nedenle, bir voltaj dengeleme devresi veya kaynak tarafındaki güç dönüştürücüler için uygun bir kontrol sistemi bu tip sistemlerde şiddetle tavsiye edilir [35]. Tek kutuplu ve iki kutuplu topolojiler, gelecekteki sistem mimarisi ve DC mikroşebeke sistemlerinde topraklama düzeni için temel oluşturur.

### 3.3. DC Mikroşebeke Mimarisi

RES (PV paneli gibi) ve ESS’ nin bazıları dağıtım güç sistemlerine giderek daha fazla entegre oluyor. DC geriliminde güç ürettikleri için, DC mikroşebekelere entegrasyonları araştırma topluluğunda izleme kazanıyor. Bununla birlikte, herhangi bir DES’in güç kapasitesi hava durumuna bağlılığı nedeniyle çok değişken ve belirsizdir. Bu nedenle AC şebekesiyle bir arabirim, bir DC mikro şebeke sisteminde gücün güvenilirliğini ve kullanılabilirliğini geliştirmek için çok önemlidir. Bir DC mikro şebekesini AC gibi bir şebeke ile arayüzlemek için birkaç seçenek vardır:

Radyal konfigürasyon, Ring veya loop konfigürasyonu ve Interconnected



konfigürasyon, burada her bağlantı şemasının avantajları ve dezavantajları vardır. Bu bağlantı şemalarına dayanarak, farklı DC mikro şebeke mimarileri mümkündür. Son yıllarda zaten bildirilen bu tür mimariler var. Bu bölüm, uygulamaları, avantajları ve dezavantajları dahil olmak üzere her bağlantı şemasını ayrıntılı olarak gözden geçirir.

(a) Radyal yapılandırma:

Bu yapılandırmada, DC veri yolu bir uçta bir AC şebekesi ile arayüzlenir ve güç, yüklere doğru tek bir yol boyunca alçalır. Bu nedenle, AC şebeke arayüzüne giden her bir yük arasında sadece bir yol bulunur. Radyal DC mikro-şebeke sisteminin tek bir çizgi diyagramı Şekil 13'te gösterilmektedir, burada bir dizi RES, ESS ve yük (hem AC hem de DC) DC veriyoluna bağlanmıştır. Bu veri yolu, uygulamalara ve gereksinimlere bağlı olarak tek kutuplu veya iki kutuplu olabilir. Bu mimari, düşük voltajlı DC veriyolunun birçok cihazın voltaj seviyesine uygun olması ve fazladan DC-DC dönüşüm aşamalarından kaçınmak için tercih edildiği konut binalarında kullanılabilir. Ayrıca, bu tür sistemlerde, dağıtım kayıplarını azaltmak için yükler ve AC şebeke arayüzü birbirine yakın yerleştirilebilir.

Aynı kavram olabilir uzanan böyle her Mikroşebeke farklı yüklerle birlikte RES ve ESS olabilir çok katlı bina veya yerel topluluk gibi birçok DC Mikroşebeke sistemine. Bu tür sistemlerde, her bir mikro şebekenin DC barası, binaların veya toplulukların fiziksel düzenine bağlı olarak seri veya paralel olarak birbirine bağlanabilir. Bu şekilde, her bina bir mikroşebekenin bir kümesi olarak hareket eder ve komşu mikroşebekelere güç tüketebilir veya enjekte edebilir. Paralel radyal mimari, arıza durumunda sadece hatalı Bus ları izole ederek sistemin güvenilirliğini artırabilir, böylece sağlıklı Bus ların normal çalışmasına devam etmesini sağlar. Seri radyal mimarisi, ada modları sırasında bazı stabilite sorunlarına sahip olabilir. Bu iki konfigürasyon Şekil 14'te gösterilmektedir.

Radyal DC mikro şebeke konfigürasyonları basitlik, çoklu voltaj seviyesi (iki kutuplu) ve komşu veri yollarından (çoklu veri yolu mimarisinde) gücü paylaşma gibi çeşitli avantajlar sunabilir. Bununla birlikte, seri radyal mimari arıza koşulları sırasında esnek değildir. Örneğin, tek bir hata, tek bir veri yolu sistemine bağlı tüm müşterileri etkileyebilir. Seri radyal çoklu veri yolu sistemi durumunda, hatalı bir veriyolu devre

kesiciler tarafından izole edildiğinde, hatalı veri yolu öncesi ve önündeki Bus lar, güçlerini tüm sistem ile paylaşma olanağına sahip olmayacaktır.

(b) Halka veya döngü yapılandırma:

Üstesinden gelmek için sınırlama s radyal konfigürasyonunun, bir halka veya halka tipi dağıtım sistemi kullanılabilir. Bu konfigürasyon, AC şebeke arayüzü ve Şekil 15'te gösterilen müşteriler arasındaki iki veya daha fazla yoldan oluşur. Hızlı DC anahtarları, hatalı veri yolunu sistemden izole etme esnekliği sunan her DC veri yolunun her iki ucuna yerleştirilir. Her veriyolunu ve bunların diğer komşu Bus lara olan arabirimini kontrol etmek için bir Akıllı Elektronik Cihaz (IED) kullanılır [35]. Herhangi bir veriyolunda bir hatayla karşılaşıldığında, IED ilk önce hatalı veri yolunu tespit eder ve sistemden ayırır ve ardından müşteriye güç sağlamak için alternatif bir yol sağlar. Bu tip dağıtım sistemi kentsel ve endüstriyel ortamlarda kullanılabilir.

Halka tipi dağıtım sistemi radyal sisteme kıyasla daha güvenilirdir, ancak her iki mikro şebeke sistemi de AC şebekesi kaynağına bağlıdır. AC besleyicide herhangi bir hata meydana gelirse, DC mikro şebeke sisteminin gereken beslemeyi AC şebekesinden alma imkânı yoktur.

(c) Birbirine bağlı yapılandırma (Mesh ve Zonal):

Bir veya daha fazla besleyicinin arızalanması durumunda müşterilere alternatif bir AC şebeke beslemesi sağlanarak DC mikro şebekeli sistemin güvenilirliği artırılabilir. Bu, DC veri yolunu AC şebekeden birden fazla tedarik ile birbirine bağlamak suretiyle yapılabilir. İki farklı Mesh ve Zonal Tip DC Mikroşebeke Sistem mimarisi mümkündür:

1. Mesh Tipi DC (MTDC) Mikro Şebekeler:

Çok uçlu bir şebeke olarak da bilinen bir kafes tipi DC mikro şebekede, her biri bir AC-DC dönüştürücüsüyle DC Şebekelerin birden fazla AC şebeke arabirimi bağlanır. Birkaç DC ve AC güç kaynağının DC besleyicilere bağlı olduğu bu yapılandırmaya bağlı olarak farklı DC mikro yapı mimarileri mümkündür. Şekil 16, böyle bir mimariyi göstermektedir. MTDC, sistemin çeşitli parçalarına güç sağlamak için diğer besleyicilerin mevcudiyeti nedeniyle radyal veya halka DC Şebekelerine kıyasla daha güvenilirdir. Kıyı dışı rüzgâr santralleri ve yeraltı

kentsel alt iletim ve dağıtım sistemi gibi Yüksek Gerilim Doğru Akım (HVDC) sisteminde de benzer mimariler kullanılmaktadır [36].

Arızalı DC veri yolunu bulmak ve izole etmek ve MTDC sistemini, sistemdeki AC-DC dönüştürücüler içinde herhangi bir dahili iletişim olmadan geri yüklemek için bir “el sıkışma” yöntemi önerilmiştir [37].

## 2. Bölgesel Tip DC (ZTDC) Mikroşebekeleri (Zonal):

Ayrıca, sistemin güvenilirliğini artırmak için, bir bölgesel, elektrik dağıtım sistemi vardır önerilmiştir [38–40], dağıtım sistemi alt bölünmüş bölgelerin sayısı ve her bir bölge içinde iki yedek akım lastikler olarak sahip olduğu Şekil 17’de gösterilmiştir. Aslında, bu DC şebeke mimarisi simetrik bir konfigürasyona sahip basamaklı DC mikro şebeke sistemlerinden oluşur.

ZTDC mikroşebekesi sistemi, bir grup yük sağlamak amacıyla güç dönüştürücüler, enerji depolama sistemleri, üretim ve anahtarlama cihazları gibi birkaç güç sistemi elemanı içerir. Her bölge , AC şebekesi tarafından desteklenen ve dağıtılan DC ve AC enerji kaynakları ile iki yedek DC veri yolu ile bağlanmıştır . Bu mimari türü, besleyicilerden birinin sağladığı yükler için daha iyi bir güvenilirlik ve kullanılabilirlik sağlar. Bölge-1’in üst veriyolunda (Veri Yolu 11) bir hata oluştuğunu varsayarsak , üst taraftaki düğmeler (S11 ve S13) alt taraftaki düğmeler (S2) güç kesilirken korunur diğer besleyiciler yoluyla yüklere aktarılır. Ayrıca, her bölge kendi güç kaynağına (DC ve / veya AC kaynakları) da bağlı olduğundan, her bölgenin hem üst hem de alt besleyicilerindeki çoklu arızalar DC şebeke sistemini birkaç bölüme bölebilir. Bu konfigürasyon, daha fazla sayıda anahtar nedeniyle daha esnek ve modülerdir ve dağıtım planlaması için uygundur.

ZTDC şebekesi, yüklere güç sağlamak için birden fazla seçenek sunar. Güç aynı anda, sırayla veya sadece bir veri yolundan aynı anda birden fazla veri yolundan beslenebilir. Bununla birlikte, çoklu veri yollarından çekilen güç, dağıtım sisteminin tasarımını ve çalışmasını zorlaştırabilir [41–44]. Bu nedenle, [45]’de bir Bus seçim stratejisi önerilmiştir. Bu stratejiye dayanarak, bir yük en yüksek voltaj seviyesine sahip Bus tan güç çeker (bir seferde sadece bir Bus). Bununla birlikte, yük gerekli koşullara bağlı olarak başka bir veriyoluna geçebilir. Bu tür bir yapılandırma genellikle gemi güç

kaynaklarında kullanılır [46, 47].

### **3.4. DC Güç Dönüştürücüler**

DC Mikroşebekelerin büyük getirisinden birisi güç dönüştürücü katmanlarını azaltarak şebeke genel verimliliğini arttırmaktır, buna ilave dönüştürücülerin tolere akımı ikincil bir koruma taşıyarak son kullanım ve arayüzlerinde koruyucu eleman olarak da işe yarayabilir. Bu önemleri taşıyan elemanı devamında ayrılan kategorilerde incelenmiştir:

#### **3.4.1. DCMŞ ile AC arayüzü**

Bir DC mikro şebeke sisteminde, AC ve DC ağlar arasındaki elektrik gücünün nasıl aktığını analiz etmek çok önemlidir. Aslında, akıllı DC şebekesi sistemleri, PV paneli veya yakıt hücreleri gibi bazı RES tarafından üretilen elektrik enerjisinin AC şebekesini desteklemek için AC şebekesine geri aktarılabilmesi için çift yönlü güce dayalı olarak tasarlanmalıdır. AC ve DC şebekeleri arasındaki arayüz sorunlarını analiz etmek için, bu bölümde farklı AC-DC topolojileri ele alınmıştır. DC şebeke sistemlerinin çok paralel redresörlerinde dolaşımdaki mevcut konular da ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

##### **3.4.1.1. Arayüz dönüştürücü topolojiler**

DC mikroşebeke sistemi için AC-DC dönüşümü , aşağıdaki kategorileri tanımlayan Diyot ve kontrollü redresörler, Aktif Ön Uç (AFE), Özel Topolojiler olarak sınıflandırılabilir:

###### **(a) Diyot ve Kontrollü doğrultucu**

Diyot ve kontrollü redresörler topolojilerde tek yönlü güçtür ve hat akımları, esas olarak 2 kHz'in altındaki önemli düşük dereceli harmonikler tarafından bozulur. DC bağlantısındaki ve / veya redresörün ön ucundaki pasif filtreler gibi hat akımının kalitesini iyileştirmek için çeşitli çözümler vardır [17]. Bu redresörler Şekil 3'te gösterildiği gibi tek fazlı veya üç fazlı olabilir.

###### **(b) Active front End (AFE)**

Bu, yüksek kaliteli sinüzoidal bir hat akımı dalga formu sağlayan iki yönlü bir güç akış dönüştürücüsüdür. Sistem, IGBT'ler veya MOSFET'ler gibi altı aktif güç anahtarına

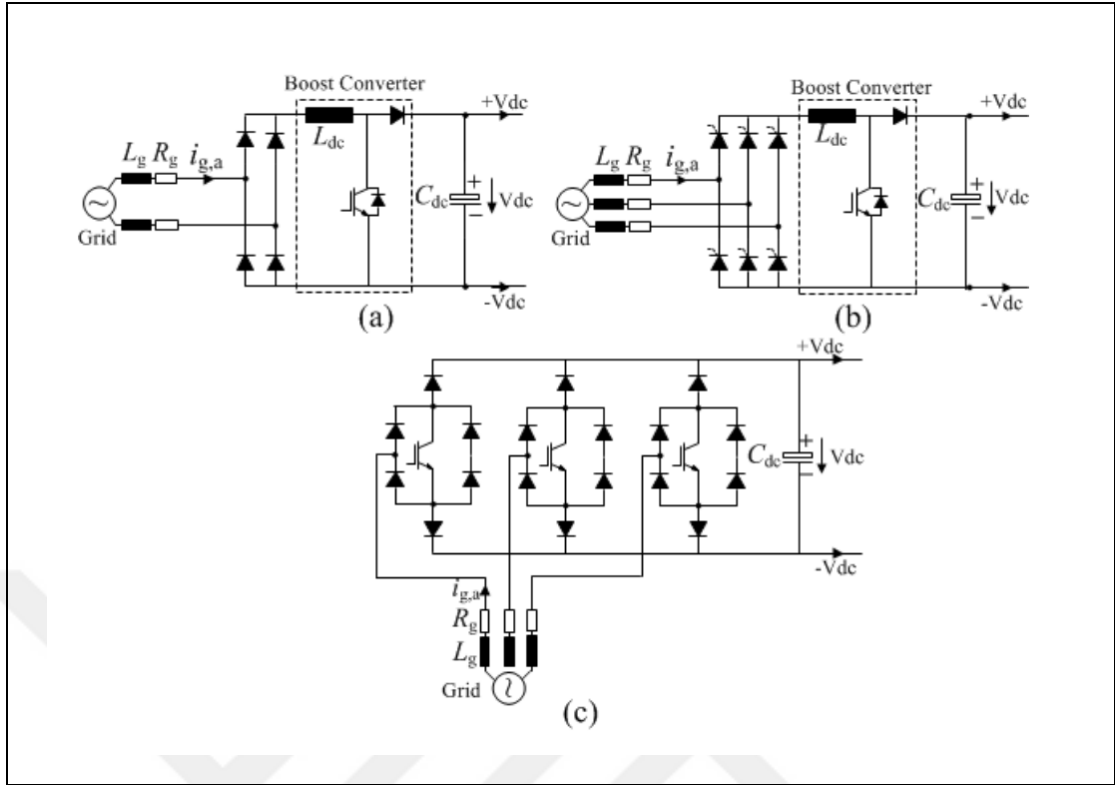
sahiptir ve uygun bir Darbe Genişliği Modülasyonu (PWM) tekniğine dayanarak kontrol edilir. Anahtarlama frekansı dalgalanmasını kontrol etmek için, L, LC veya LCL tipinde olabilen bir ön taraf filtresi gereklidir. LCL filtresi, yüksek frekans akımını çıkarabildiği ve bu filtrenin bağlı olduğu şebeke tarafındaki hat akımını temizleyebildiği için çok yaygındır (bkz. Şekil 3.2). Bununla birlikte, dönüştürücünün kararlılık sorunu nedeniyle, uygun bir sönümleme yöntemi gereklidir. Muhtemel kontrol yöntemleri:

- Sistemin verimini etkileyebilecek kapasitöre seri olarak bir direnç ekleyerek pasif sönümleme.
- Sanal rezistör geliştirmek için durum değişkenlerinden birini, kapasitör akımı gibi kontrol yöntemine ekleyerek aktif sönümleme. Her ne kadar aktif yöntem verimliliği artırabilirse de ölçüm için ek sensor gereklidir.
- Filtrenin çevresinde, sistem kutuplarının orijine yakın konumlarından dolayı oldukça zorlayıcı olan uygun bir kontrol tasarımı.

#### (c) Özel Teknolojiler

Şekil 5'te gösterilen bazı başka AC-DC topolojileri vardır. En yaygın olanı, DC bağlantı tarafında bir yükseltici dönüştürücüsüne sahip bir diyot doğrultucusuna dayanan tek fazlı bir sistemdir (Şekil 3.3(a)). Bu topolojinin ana avantajları, DC link sistemindeki aktif devreye dayalı olarak geliştirilmiş hat akım kalitesi ve sistemin güç faktörüdür. Bu topoloji, Güç Faktörü Düzeltme (PFC) devresi ile tek faz olarak adlandırılır. Benzer bir konsept üç kullanılmıştır - fazlı diyot veya doğrultucu kontrol ve topoloji Şekil 1'de gösterildiği gibi, elektronik Endüktör (EI) 'deki bileşik 5 (b). Bu topolojinin bir ana avantajı, DC bağlantı akımını ve voltajı farklı yük prolinleri altında kontrol edebilme yeteneğidir. DC bağlantı akımı, ya da modüle edilmiş dalga biçiminde olabilir [18, 19]. Bu üç fazlı sistemde, her diyot 120 derece iletir, bu nedenle hat akımı, hat akımı harmoniklerini iyileştirmek için modüle edilmiş dalga formu olan veya olmayan bir kare dalga olabilir.

Viyana doğrultucu (Şekil 3.3 (c)) sadece tek yönlü bir gücü mümkün kılar, ancak akım akımı neredeyse sinüzoidaldir. Anahtarların sayısı bir AFE topolojisine göre azalır ve bunun sistemin güvenilirliği ve maliyeti üzerinde büyük etkisi vardır.

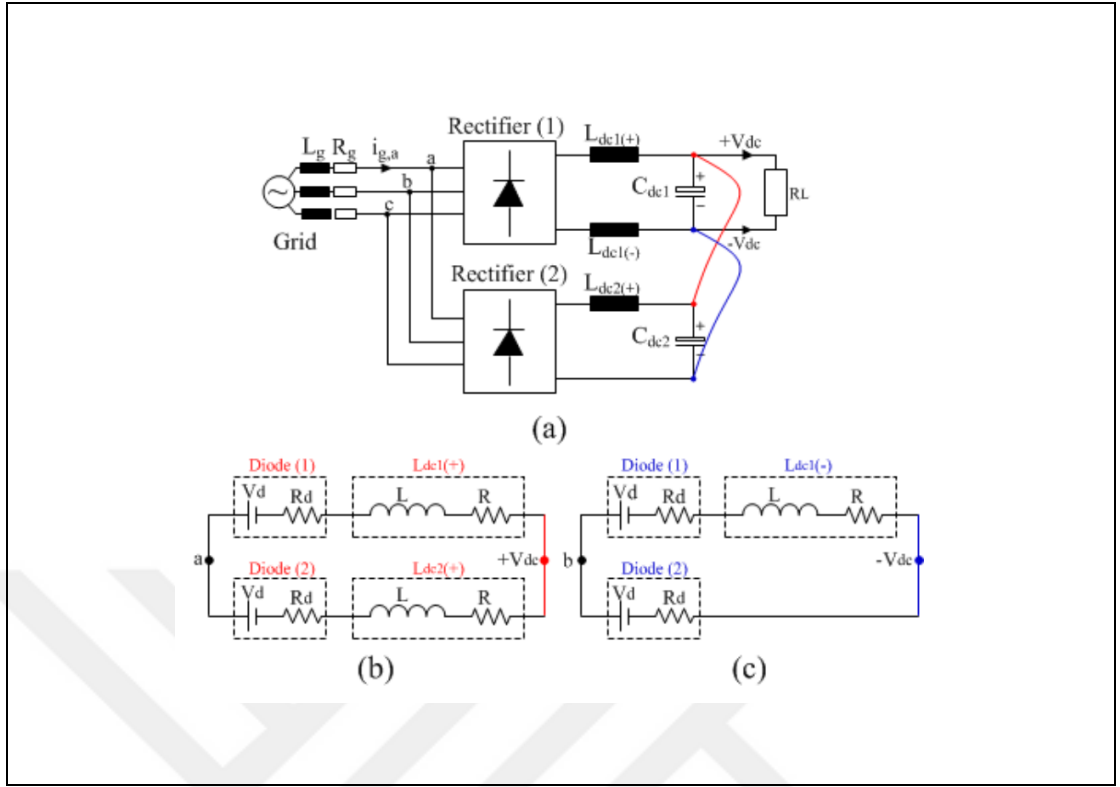


Şekil 3.2. Farklı AC-DC topolojileri (a) tek fazlı PFC (b) üç fazlı EI ve (c) üç fazlı Viyana doğrultucu

### 3.4.1.2. AC-DC dönüştürücü paralel bağlantıları

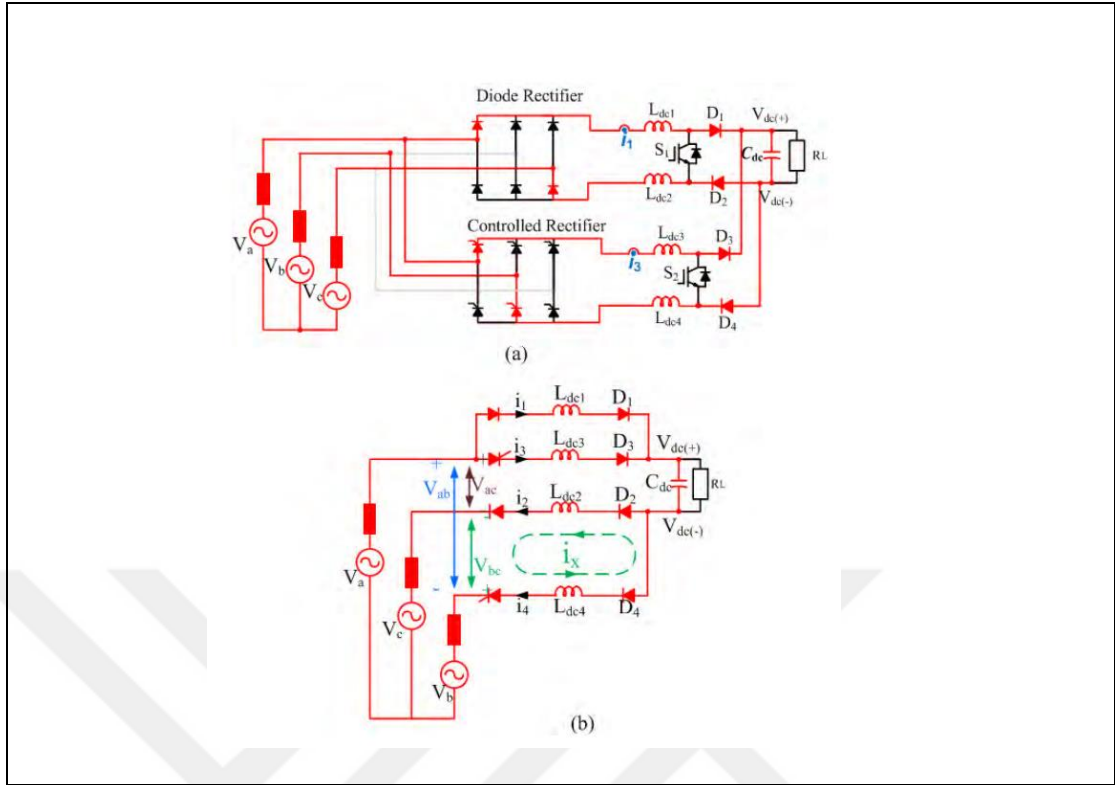
Ortak bir DC bağlantı kapasitörlü (örneğin, bir DC mikro şebekede) çok paralel redresörlerin ana sorunlarından biri, mümkün olduğunca düşük olması gereken bir dolaşım akımıdır. Dolaşım akımı, redresörlerin topolojisine ve tüm sistemin konfigürasyonuna bağlıdır. Aşağıda, farklı topolojilere sahip birkaç vakanın dolaşım akımı dikkate alınmıştır.

Durum 1: Diyot redresörleri, birçok ürün ve sistemde kullanılan ucuz ve basit tasarımlardır. Bununla birlikte, hat akımı harmoniklerini IEC 61000-3-2 ve 12 [20] veya IEEE 519 gibi bir yönetmelikle tanımlanan sınırın altına düşürmek için - DC bağlantısına ve / veya redresörün AC tarafında uygun bir pasif filtre bağlanır . Şekil 3.3 (a) 'da gösterildiği gibi, bir DC ağına iki veya daha fazla paralel doğrultucu bağlandığında, filtre yapılandırması farklı filtre tipleri veya güç derecesi nedeniyle dolaşım akımını etkileyebilir. Örneğin, Şekil 3.3 (a) 'da aynı DC bağlantı filtresine sahip iki diyot redresörü düşünülmüştür. Topolojiler aynı olsa bile, güç derecesi farklı



Şekil 3.3. (a) İki üç fazlı doğrultucuların aşağıdakilere paralel bağlanması farklı DC-link filtre konfigürasyonları (b) eşdeğer empedans döngüsü

olabilir. Filtrelerin indüktans değerleri, Birim Başına ( $x \% \text{ PU}$ ) baz empedansa göre belirlenir. Bu nedenle, endüktans değerleri de güç seviyesine göre değişmektedir. Şekil 3.3 (b ve c) 'de gösterildiği gibi, iki paralel bacak (pozitif veya negatif DC bağlantı bacaları: doğrultucu 1 ve 2) aynı uçlara (Vahası (t) ve Vdc) bağlanır . Bu topolojideki ana sorunlardan biri, DC akımının DC bağlantı ayaklarının (esas olarak diyot ve DC bağlantı şoku) direncine, dalgalanma akımının (300 Hz'deki ana frekans) endüktans değerine bağlı olmasıdır. Bu nedenle, mevcut paylaşım, bileşenlerin kalitesine ve toleransına önemli ölçüde bağlıdır. Şekil 3.3 (a), farklı DC link filtrelerine sahip iki redresörü göstermektedir. İki paralel ayak üzerindeki voltaj aynıdır ve bu nedenle, DC ve AC akım paylaşımı rezistif ve endüktif değerlere ve diyotlar arasındaki voltaj düşüşüne bağlıdır. Diğer iki paralel bacak için durum daha kötüdür (negatif DC bağlantı bacaları: doğrultucu 1 ve 2). Doğrultucu 2 pozitif DC bağlantı tarafında sadece bir indüktöre sahip olduğundan, negatif bacak empedansı çok düşüktür ve akımın çoğu bu bacağın içinden geçer. Olası bir çözüm, akımı negatif DC bağlantı ayakları üzerinden paylaşmak için bir AC indüktörü eklemektir.



Şekil 3.4. (a) S1 ve S2 kapatıldığında MMR topolojisi. (b) Gerilim

Durum 2: Doğrultuların paralel olarak bağlanması, diyot doğrultular aynı anda halka açısında gecikme olmadan açılıp kapatıldığı için dolaşım akımı yoktur. Kontrol redresörleri bir sistemde kullanıldığında, hat akımı kalitesi, çok seviyeli akım dalga formuna dayanarak geliştirilebilir. Bu topoloji, Modüler Çoklu Doğrultucu (MMR) [17, 25] olarak adlandırılmıştır. Kontrollü doğrultucunun halka açısı sıfır olmadığında, dolaşım akımı oluşturulur.  $D$ , iki farklı fazlarına bağlı doğrultucunun iki negatif bacaklar üzerinde voltajlarına  $u_e$  (Şek. 3.4 (a)) ve bir dolaşım akımı üretebilir (Şek. 3.4 (b)). Bununla birlikte, bu akım aktif akım kontrol yöntemine dayanarak kontrol edilebilir [25]. Durum 3: Son durum, AFE dönüştürücülerinin Şekil 9'da gösterildiği gibi ortak bir DC bus sistemi ile paralel bağlanması ile ilgilidir. Bu sorun paralel dönüştürücülere uygulanan PWM yöntemiyle ilgilidir. Tüm AFE dönüştürücülerinin giriş tarafları aynı voltaj kaynaklarına ve DC link kondansatörleri tüm dönüştürücüler için ortak bir DC bağlantısına bağlanır. Anahtarlama cihazları açılıp kapatıldığında, anahtarlama durumları sırasında ileri dolaşım akımı üretilebilir. Dolaşım akımını azaltma yaklaşımlarından biri, PWM paternlerini [24] kontrol etmek ve / veya anahtarlama frekansını [23] arttırmaktır.



### 3.4.1.3. DCMŞ arayüz elektronik trafo

Elektronik Trafo veya Katı Hal Trafosu (SST), akıllı şebekeler gibi gelecekteki elektrik enerjisi dağıtım mimarisinde uygulama için önemli bir teknoloji olarak kabul edilir [26, 28]. SST uygulaması zaten mikroşebeke, çekiş ve veri merkezinde görselleştirilmiştir [29, 34]. Son yirmi yılda bildirilen birkaç farklı SST konfigürasyonu vardır [35]. Çift aktif köprü (DAB) bazlı SST topolojisi, hat frekansında çalıştırılan mevcut pasif dağıtım trafosunu değiştirebileceği DC mikro-şebeke sisteminde [29, 30, 35] uygulamalarını göstermektedir. LVDC sistemine doğrudan bağlantı sağlarken, 50Hz / 60Hz.

SST konsepti, pasif dağıtım trafosuna sahip bir AFE'ninkiyle eşit işlevsellik özelliği sağlar (Şekil 10 (a) 'da gösterilmiştir). Ayrıca, SST topolojisi, Şekil 10 (b) 'de gösterildiği gibi galvanik izolasyon ve voltaj ayarlaması sağlayan DC-DC dönüşüm aşamaları (Şekil 10 (c)' de gösterilen çift aktif köprü topolojisi) ile bütünleşir. DC-DC dönüştürücü daha yüksek frekans aralığında (birkaç 100 Hz - kHz) çalışabilir ve böylece reaktif bileşen boyutunda önemli bir azalma da elde edilebilir [38, 39].

Bir SST tipik olarak, yüksek bir DC bağlantı voltajı üretmek için yüksek voltajlı bir AC - DC güç dönüşümü içerir ve daha sonra DC bara voltajını ayarlamak için yüksek frekanslı bir DC-DC dönüştürücü aşaması gerekir. Bu nedenle, SST temel olarak üç enerjili bir port sistemidir: bir port yüksek AC voltajı ile arabirim gösterirken, diğer iki port DC portu (LVDC) ve düşük voltajlı AC portudur (LVAC). SST'nin üç portlu özelliği, giriş tarafının bir AC şebekesine ve / veya dağıtılmış bir enerji kaynağına ve DC tarafının PV, Yakıt hücresi ve batarya sistemlerine Şekil 3'te gösterildiği gibi bağlandığı DC mikro şebeke uygulaması için çok uygundur Şekil 10 (b).

SST tabanlı AC-DC dönüşümü daha iyi bir güç faktörü düzenlemesine, VAR kompanzasyon kabiliyetine sahiptir ve ayrıca DC bus sistemine galvanik izolasyon sağlayabilir. Genel olarak, SST tabanlı DC mikro şebekesi, bir AC şebeke arayüzünün gerekli olduğu daha iyi işlevsellik ile daha kompakt olacaktır. Bununla birlikte, SST'nin devrimi gelecekteki DC mikro-şebeke sistemlerine getireceği yaygın olarak kabul edilmektedir, ancak pratik uygulaması uzun zamandır beklenmektedir.

### 3.4.2. DC / DC buck-boost çevirici

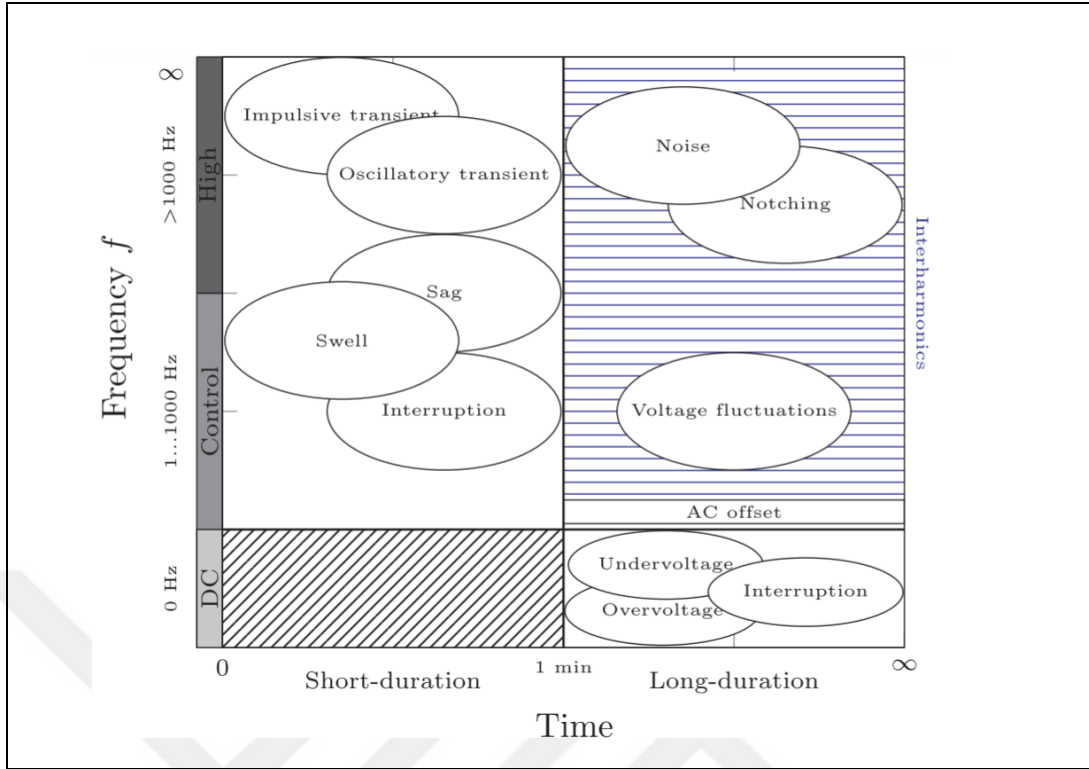
Buck-boost dönüştürücü, giriş gerilimini azaltabilecek (buck) ya da artırabilen (artıran) bir DC-DC dönüştürücüdür. 3.1 denklem de görüldüğü D Katmanı voltaj seviyesinin artıp azalacağını gösteriyor. Bu dönüştürücü lerin sadeliği en önemli özelliklerinden dir.

$$D = \frac{V_0}{V_i + V_0} \quad (3.1)$$

### 3.4.3. DCMSŞ'de uygulanan güçkalite standart ve tanımlar

AC mikro şebekelerle karşılaştırıldığında, DC mikro şebekeler, çok sayıda yenilenebilir enerji kaynağı, enerji depolama sistemi ve enerji tasarruflu yüklerin varlığında dönüştürücü hâkim güç dağıtımının donanım karmaşıklığını azaltır. DC şebekesinin sıkça vurgulanan bir diğer avantajı, AC şebeke bozukluklarına karşı dayanıklılığı ve toleransıdır ki bu geliştirilmiş genel güç kalitesi ile sonuçlanır; Bununla birlikte, güç kalitesi ile ilgili soru, mevcut uluslararası güç kalitesi standartlarının ve metriklerinin DC mikro şebekelerde geçerli olup olmadığı veya ayarlamalar gerektirip gerektirmediği sorusudur. Bu nedenle, IEC 61000 ve IEEE Std1159'da belirtilen tanımları ve güç kalitesi göstergelerini eleştirel olarak gözden geçirilir. Güç kalitesi ile ilgili ilk endişe hem AC hem de DC'yi kapsayacak kadar genel olan uygun bir tanımın bulunmasıdır. IEC 61000 tarafından sağlanan tanım, AC ve DC güç kalitesi arasında hiçbir ayırım yapmadığı için uygundur. “Güç kalitesi, bir elektrik sistemi üzerinde belirli bir noktadaki elektriğin özelliklerini kapsar ve bir dizi referans teknik parametreye göre değerlendirilir” [25]. Diğer referanslar güç kalitesi için farklı tanımlar sağlar, ancak bunların hiçbiri AC ve DC güç kalitesi arasında bir ayırım yapmaz:

- Güç kalitesi, voltaj kalitesi ile akım kalitesinin birleşimidir. Bu nedenle, güç kalitesi voltaj ve / veya akımın ideal dalga formundan sapsması ile ilgilidir [25].
- Gerilim, akım veya frekans sapsmalarında ortaya çıkan ve müşteri ekipmanının arızalanmasına veya yanlış çalışmasına neden olan herhangi bir güç sorunu [24].
- Güç kalitesi, hassas ekipmanın, bu ekipmanın çalışması için uygun olan ve tesis kablo sistemi ve diğer bağlı ekipmanlarla uyumlu bir konuda güç ve topraklama konseptidir [23].



Şekil 3.5. Güç kalitesi konularının zaman frekans sınıflandırması.

Öte yandan, IEEE tarafından önerilen Std1709 uygulaması 1–35 kV orta gerilim DC (MVDC) dağıtım sistemlerini ele alır ve güç kalitesini “belirtilen voltaj toleranslarına ve voltaj dalgalanmasına uyum” olarak tanımlar [26]. Bu tanım, DC kalitesini DC güç dağıtım sistemlerindeki güç dengesinin dağıtılmış bir ölçüsü olduğundan, güç kalitesini DC güç dağıtım sistemlerinin temel bir özelliği olan voltaj kalitesine açıkça daraltır.

#### 3.4.4. DC güç kalite sorunları

Şekil 1, fenomenin süresine (zaman eksenine) ve gerilim dalga formunun (frekans eksenine) frekans içeriğine bağlı olarak DC dağıtım sistemleri içinde düşünülebilen güç kalitesi sorunlarını sınıflandırır. Zaman eksenine kısa süreli, geçici fenomenler ile uzun süreli, sabit durum fenomenleri arasında alt bölümlere ayrılmıştır. Frekans eksenine, yüksek frekanslı bileşenlere (tipik olarak anahtarlama frekansı 1 kHz ve üstü aralığında), bileşenler DC bileşenlerinde ve DC bileşenlerinde bulunan voltaj denetleyicilerinin kontrol bant genişliği büyüklüğüne göre alt gruplara ayrılır. Daha sonra tartışılacak olan güç kalitesi sorunları, bunları ölçmek için göstergeler, olası nedenler ve sonuçları da içeren Tablo 1’de özetlenmiştir. Şekil 3.5 DC güç kalitesi konularının zaman-frekans

sınıflandırması. Şekil 1, fenomenin süresine (zaman eksenini) ve gerilim dalga formunun (frekans eksenini) frekans içeriğine bağlı olarak DC dağıtım sistemleri içinde düşünülebilen güç kalitesi sorunlarını sınıflandırır. Zaman eksenini kısa süreli, geçici fenomenler ile uzun süreli, sabit durum fenomenleri arasında alt bölümlere ayrılmıştır. Frekans eksenini, DC bileşenlerinde ve DC bileşenlerinde bulunan voltaj denetleyicilerinin kontrol bant genişliği büyüklüğüne göre bileşenler yüksek frekanslı bileşenlere, bileşenlere bölünür (tipik olarak 1 kHz ve üzeri anahtarlama frekansı aralığındadır). Daha sonra tartışılacak olan güç kalitesi sorunları, bunları ölçmek için göstergeler, olası nedenler ve sonuçları da içeren Tablo 1’de özetlenmiştir.

#### **3.4.4.1. Geçici parametre ve durumlar**

IEEE Std1159’a [27] göre, itici geçici akımlar ani, güçsüz frekans kutupsal olarak tek yönlü olan voltaj, akım veya her ikisinin nominal durumundan değişir. Buna göre, salınım geçişleri ani, pozitif ve negatif polarite değerlerini içeren gerilim, akım veya her ikisinin kararlı durum koşullarında güçsüz frekans değişimleridir. İtici geçişler yükselme süresi, düşme süresi ve pik büyüklüğü ile karakterize edilirken, salınımlı geçişler frekans spektrumu ve süresi ile karakterize edilir.

IEEE Std1159 [27]’de, düşük frekanslı (<5 kHz), orta frekanslı (5-500 kHz) ve yüksek frekanslı (0,5-5 MHz) salınımlı geçişler ayırt edilir. Benzer şekilde, EN50160 [29] geçici aşırı gerilimi kısa süreli salınımlı veya salınımlı olmayan aşırı gerilim olarak genellikle çok sönümlü ve birkaç milisaniye veya daha kısa bir süre olarak tanımlar. IEC61000’e (Ek A.3) [25] göre, geçici bir süre “ilgilenilen zaman ölçeğiyle karşılaştırıldığında kısa bir zaman aralığında iki ardışık sabit durum arasında değişen bir fenomen veya miktar” anlamına gelir. Önerilen tanımlar eşit derecede geçerlidir. İtici ve salınımlı geçişler muhtemelen yıldırım çarpmaları veya uyarılmış gerilimlere neden olan ani anahtarlama işlemlerinden kaynaklanır. Genellikle denetleyici bant genişliğinin frekans aralığının ötesinde meydana gelirler. Bu, yalıtımın bozulmasına veya sistem rezonanslarının tetiklenmesine neden olabilir.

Tablo 3.1. DC Güç Kalite Sorunları

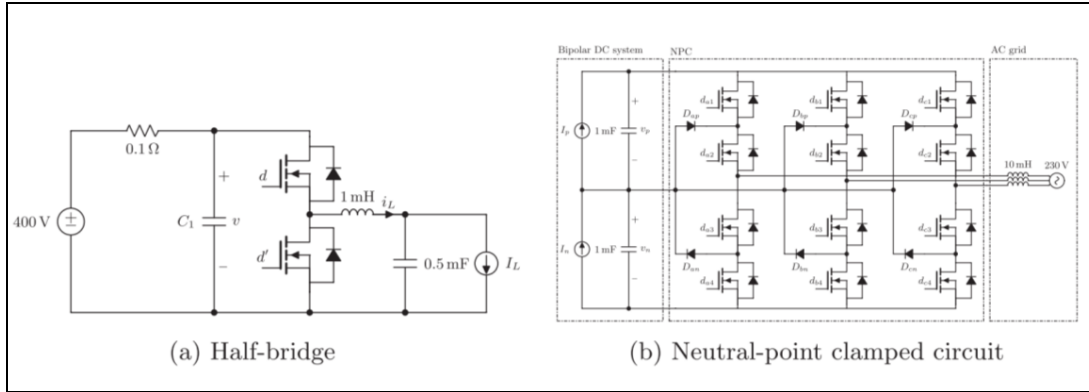
<b>Kategori</b>	<b>Göstergeleri</b>	<b>Nedenler</b>	<b>Sonuçlar</b>
Transient impulsive	Raise Time Fall Time Peak magnitude	Lightning strikes Inductance switching	Voltage resonances Insulation breakdown
Oscillatory	Duration Peak magnitude spectral content	Line switching Cap. switching Power variation	Voltage resonances Insulation breakdown
Short duration variation sag	duration magnitude	Cap. switching Power variation	Equipment shutdown
Swell	Duration	Faults Cap. switching	Protection Malfunction Over setting equipment
Interruption	Duration magnitude	Faults	Equipment shut down
Long-duration variations Under voltage	Magnitude	Poor system voltage regulation Overloading	Increased losses Voltage Instability
Over voltage	Magnitude	Poor system voltage regulation	Over setting equipments
Interruption	Magnitude	Faults	Equipment shut down
Imbalance voltage	Magnitude	Single pole devices Pole-neutral faults	Pole neutral over voltage or under voltage
current	Magnitude	Single pole devices	Nt. Conductor overloading Increased losses voltage imbalance
waveform distortion, AC offset	Magnitude	Fault interconnecting AC & DC system EM <sup>1</sup> coupling	Increased losses by reactive current Voltage sag & swells
Interharmonics Noise	Spectral content	Switch mode power converters	Increased losses Increased current in the filter capacitors Disturbance of measuring & communication devices
Notching	Magnitude (notch depth)	Switch mode power converters	—"—
Voltage fluctuations	Spectral content duration	Low frequency power oscillations	Light intensity Periodic voltage sag & swell

#### 3.4.4.2. Kısa ve uzun süreli varyasyonlar

Gerilim değişimleri, IEEE Std1159'a benzer şekilde süreleri, büyüklükleri ve değişim yönlerine göre sınıflandırılabilir [27]. Kısa vadeli ve uzun vadeli varyasyonlar, öncelikle altta yatan nedenlere dayanarak ayırt edilir. Kısa vadeli varyasyonlar, anahtarlama işlemleri, arızalar ve sistemdeki büyük güç dalgalanmalarından kaynaklanırken, uzun vadeli varyasyonlar, güç akışı varyasyonları nedeniyle sabit durumda meydana gelir. AC için pratikte bir dakikanın keyfi sınırı kullanılır ve anlık, anlık ve geçici varyasyonlar açısından daha ileri bir sınıflandırma yapılır [27].

Değişim yönüne ve büyüklüğüne bağlı olarak, üç rms voltaj varyasyonu oluşabilir: sarkmalar, yükselmeler ve kesintiler. IEEE Std1159 [27] 'ye göre, bir sarkma rms voltajının 0.1 ila 0.9 p.u değeri arasında bir azalma olarak tanımlanır ve Yarım dalga dögüsünden 1 dakikaya kadar süre bilir. Aynı şekilde yükselme Yarım dalga dögüden 1 dakikaya kadar süreler için rms voltajında 1.1 p.u'nun üzerinde bir artış olarak tanımlanır. Bir kesinti 0.5 dögü ve 1 dakika süreler için rms geriliminde 0,1 p.u.'nun altında bir gerilim düşüş seviyesi olarak tanımlanır. 1 dakikadan uzun süreler için, IEEE Std1159 [27] Düşük Gerilim, Aşırı Gerilim ve sürekli kesinti alt kategorilerini, yani sarkmaların, şişmelerin ve kesintilerin uzun süreli varyantlarını tanımlar. Kısa süreli varyasyonlar için aynı büyüklük seviyeleri geçerlidir.

IEEE Std1159 [27] ilgili tanımlarda rms içerirken, IEC61000 [25] içermez. Bir voltaj düşüşü (sarkmanın eş anlamlısı) "elektrik sisteminde bir eşiğin altındaki bir noktada voltajın geçici olarak azaltılması" dır. Voltaj yükselmesi "elektrik sisteminde bir eşiğin üzerindeki bir noktada voltajın geçici olarak artması" olarak tanımlanır. Kesinti eşik seviyesi daha düşük olmasına rağmen, kesinti ve gerilim düşüşü aynı tanımı paylaşır. IEC61000 standardı, IEEE Std1159'un kararlı durum sapmaları için yaptığı gibi aşırı ve Düşük Gerilim kavramlarını tanımlamaz. EN50160 [29] istandardına benzer tanımlamaları benimser ancak 0.9 ve 1.1 p.u değerini belirtir. Gerilim düşüşleri ve yükselmeleri için eşik değerleri. Bir besleme kesintisi "besleme terminallerindeki voltajın referans voltajın%5'inden düşük olduğu bir durum" olarak tanımlanır. Ayrıca, 3 dakikada kısa ve uzun süreli kesintiler arasındaki sınırı belirler. Sunulan tanımların, yeniden formülasyon olmadan DC güç dağıtım sistemlerine de uygulanabileceğini, ancak eşik seviyelerinin daha fazla tartışmaya konu olabileceğini unutmayın. Örneğin



Şekil 3.6. a)Yarım Köprü düzleştirici b)nötr nokta kenetlenmiş 3faz düzleştirici devre

Finiş SFS 6000 standardı, nominal değerine göre  $- \%25$  ila  $+ \%10$  aralığındaki DC voltajını sınırlar [30].

Gerilim düşüşleri ve yükselmeleri, ağdaki dc-dc dönüştürücülerin ön ucu genellikle filtre kapasitörleri, ekipman açma ve kapatma ve arızalar içerdiğinden kondansatör anahtarlamasından kaynaklanır. Kesintiler öncelikle bir arızayı takiben bağlantısı kesilmiş bir bölümde meydana gelir.

Benzer şekilde, düşük ve aşırı gerilimler güç değişimlerinden veya zayıf voltaj regülasyonunun bir sonucundan kaynaklanır. Sistem altyapısı (dc-dc dönüştürücüler, kablo altyapısı) geri dönüşü olmayan yalıtım arızası yaşayabileceğinden, voltaj yükselmeleri ve aşırı voltajların ekipmanın çalışması üzerinde daha zararlı bir etkisi olduğu düşünülmektedir. Aksine, voltaj düşüşleri ve Düşük voltaj, cihazların kapanmasını ve bağlantısını kesmeyi tetikleyebilir ve bu da sistemin kullanılabilirliğini etkiler.

Ayrıca, düşük gerilim durumunda artan kayıplar meydana gelebilir, çünkü mevcut seviyeler aynı miktarda gücü dağıtmak için artar. Düşük gerilimin bir başka sonucu, sabit marjlar azaldıkça sabit güç yüklerinin varlığında gerilim kararsızlığıdır [17]. Üç telli (pozitif-nötr-negatif) bir konfigürasyon benimseyen iki kutuplu DC dağıtım ağları göz önüne alındığında [31, 32], bir gerilim düşmesi veya yükselmesi, bir kişinin beklenenin aksine bir yük düşüşünün veya artmasının bir sonucu olabilir.

Örneğin, nötr ve negatif kutup arasına bağlanan yüklerin kapatılması durumunda, pozitif kutup ile nötr arasında gerilim düşüşleri veya düşük voltaj oluşabilir ve bunun

tersi de geçerlidir. Benzer şekilde, diğer kutuptaki bir arızayı takiben voltaj yükselmeleri meydana gelebilir.

### 3.4.4.3. Dengesizlik

#### (a) Gerilim Dengesizliği

Üç fazlı AC sistemlerde voltaj dengesizliği, voltaj dengesizlik faktörü ile karakterize edilir (yani negatif veya sıfır dizi ile pozitif dizi gerilimi arasındaki oran). Ki EN50160 [29] 'da %2 ve IEEE Std1159 [27]' de %3 ile sınırlıdır. IEC61000 [25] aynı tanımlamaları benimser. İki kutupluda, üç fazlı AC sistemlerindeki tek fazlı cihazlar gibi, kutuplar ve nötr iletken arasında cihazların bağlanması durumunda benzer bir fenomen ortaya çıkabilir. Alternatif olarak, voltaj dengesizliği kutuptan nötr arızalara neden olabilir.

Bipolar voltaj ve akımların dengeli ve dengesiz bileşenlerine ayrılması [32, 33], (1) 'de bir voltaj dengesizlik faktörü VUF'yi ağdaki belirli bir düğümdeki dengesiz ve dengeli voltaj arasındaki oran olarak tanımlamayı sağlar.

$$VUF \equiv \frac{V_U}{V_B} = \frac{V_P - V_n}{V_P + V_n} \quad (3.2)$$

Burada  $V_p$  is the positive pole ile neutral voltajı,  $V_n$  neutral ile negative pole arası voltajı,  $V_p \equiv (V_p - V_n)/2$  dengesiz voltajdır ve  $V_n \equiv (V_p + V_n)/2$  balans voltajdır. Üç fazlı AC kısıtlaması için, negatif sıra bileşenleri makinenin termal yükünü arttırdığı için aktif ön ucu olmayan üç fazlı AC makinelerinin varlığında VUF gereklidir [34]. Ancak iki kutupluda, kutup nötr voltaj kısıtlamalarına kısa ve uzun süreli varyasyonlarda tanımlandığı gibi itibar duyulursa, cihazlar düzgün çalışır. Böylece belirli bir VUF kısıtlaması kullanılmaz hale gelir. (b) Akım Dengesizliği

Akım dengesizliği, nötr iletkende akımlara neden olur, potansiyel olarak aşırı yüklenir ve aşırı akım koruyucu cihazları tetikler. Dengeli ve dengesiz voltajların tanımına paralel olarak, şebeke kablosundaki akım dengesizliği (2) 'deki dengesiz akım  $I_U$  ile karakterize edilebilir.

$$I_U \equiv \frac{I_p - I_n}{2} \quad (3.3)$$



Tablo 3.2. AC ve DC Güç Kalitede Sorunlar ve Standartlar

Güç kalite konuları	AC	DC	IEEE 61000	IEEE Std1 159
<b>Güç frekans değişimi</b>	■	□	□	□
<b>Geçici</b>				
İtici/Dalgalanma	■	■	✓	✓
Titreşim	■	■	×	×
<b>Kısa süreli değişimler</b>				
Sarkma/Daldırma	■	■	✓	✓
Kabarma	■	■	✓	✓
kesinti	■	■	✓	✓
<b>Uzun süreli değişim</b>				
Düşük gerilim	■	■	×	×
Aşırı gerilim	■	■	×	×
Kesinti	■	■	✓	✓
<b>Dengesizlik</b>				
Voltaj	■	■	Δ	Δ
Akım	■	■	Δ	Δ
<b>Dalga formu bozulması</b>				
AC offset	□	■	×	×
DC offset	■	□	□	□
Harmonikler	■	□	□	□
interharmonikler	■	■	✓	✓
Gürültü	■	■	×	×
Çentik	■	■	×	×
<b>Voltaj salanmaları</b>	■	■	✓	Δ
Konu uygulanırlığı: ■ □	var yada yok: ✓ or ×		Need reconsideration: Δ	

Burada  $I(p)$ , pozitif kutup ile nötr arasında bağlı bir cihaz tarafından pozitif kutuptan çekilen akımdır ve  $I(n)$ , nötr ve negatif kutup arasında bağlanan bir cihaz tarafından negatif kutuptan çekilen akımdır.  $I_U$ , ağ yapılandırmasına bağlı olarak nötr iletken akımı ile ilgilidir. Örneğin, bir radyal şebeke durumunda,  $I(U)$  nötr iletken akımının iki katını temsil eder. Pozitif kutba net miktarda akım enjekte edilmesine ve negatif kutuptan çekilmesine ve tam tersine dikkat edilmelidir. Bu durumda, nötr iletkeninde nominal kutup iletken akımının iki katına kadar akabilir.

#### 3.4.4.4. Dalga formu bozulması

##### (a) AC Daldanmak

AC ve DC arasındaki istenmeyen galvanik veya manyetik kuplaj nedeniyle güç frekansı AC voltaj dalga formları DC voltaj seviyesinin üzerine bindirilmiş olarak görünebilir [35]. AC'deki DC ofseti trafo doygunluğuna ve yalıtımın ilişkili ısınmasına ve stresine neden olabilirken [27], bir AC ofseti ağda reaktif akımlara yol açar ve ek kayıplara ve muhtemelen dayanılmaz voltaj değişikliklerine neden olur. Temel DC voltaj bileşenine göre güç frekansı bileşeninin (50 veya 60 Hz) genliği, AC ofsetini ölçmek için bir ölçüdür. Büyüklük, kısa ve uzun süreli varyasyonlar için belirtilen voltaj kısıtlamaları ile sınırlı kaldığı sürece, AC güç frekansı bileşeninin, çıkış voltajını sondaki çıkış voltajını düzenleyen DC-DC yük noktası dönüştürücüler tarafından filtrelenmesi muhtemeldir. Dolayısıyla hiçbir işletim kaybına neden olmaz. Bununla birlikte, dağıtım sistemindeki artan kayıplar bir sınırlama getirme motivasyonu olmaya devam etmektedir.

##### (b) Gürültü ve Harmonikler arası

Harmonikler “güç frekansının tamsayı katları olan frekanslara sahip sinüzoidal dalga formları” olarak tanımlandığından [27], tanımı gereği harmonikler DC dağıtım sistemlerinde mevcut değildir. Oluşabilecek tüm farklı sinüzoidal dalga formları sonuç olarak interharmonikler arasında sınıflandırılır, yani, güç frekansının tam sayı katları değil [27]. İnterharmonikler, ilgili anahtarlama frekanslarında akım enjekte eden anahtar modu dönüştürücülerden ve darbe genişliği modülasyonu nedeniyle anahtarlama frekansının harmonik bileşenlerinden kaynaklanabilir.

İnterharmonikler filtre kapasitörlerinde ek kayıplara neden olur ve iletişim sinyallerini ve ölçüm cihazlarını bozabilir [35]. Örneğin interharmonikler ark arızası tespit

cihazlarının ve artık akım cihazlarının düzgün çalışmasını etkileyebilir. Ayrıca interharmonikler iletim kayıplarını artırır.

AC'deki interharmonikler genellikle güç frekansı aralığındaki frekanslarda meydana gelirken, interharmonikler de geniş bant aralıklı güç yarı iletkenlerinin ortaya çıkmasıyla 1-100 kHz aralığında ve daha yüksek anahtarlama frekansına yakın önemli ölçüde daha yüksek frekanslarda ortaya çıkabilir [36]. Bu nedenle, gürültü (tipik olarak 200 kHz'den düşük olan spektral içerik) arasındaki ayırım daha az katı hale gelir. Gürültü ve (anahtarlama) interharmoniklerin sonuçları da çakıştığından, her iki fenomen arasındaki bir ayırımın başka bir önemi olmayabilir. İnterharmoniklerin ortaya çıktığı yeni bir örnek, nötr nokta klempli bir invertör ile çalışan bipolar DC ağılardır [37]. Mariscotti ve diğ. Interharmoniklerin, örneklenmiş bir voltaj veya akım sinyali  $q[n]$  için (3) 'de tanımlandığı gibi dalgalanma indeksini kullanarak ölçmeyi önerdikleri voltaj ve akım dalgalanması ile yakından ilişkili olduğunu kabul etmişlerdir.

$$q_{pp,T} = \max_{n,k \geq 0} (q[n] - q[n + k_T + k]) \quad (3.4)$$

Burada  $q_{pp,T}$ , zaman penceresi T üzerinden değerlendirilen tepeden tepeye dalgalanma endeksidir,  $q[n]$  ise n indeksli örneklenmiş voltaj veya akım sinyalidir, k pozitif bir tam sayıdır,  $k_T = [T/\Delta t]$  ve  $\Delta t$  örnekleme dönemidir. Tepeden tepeye dalgalanma indeksinin, analog filtreleme veya ayrı bir Fourier dönüşümü kullanılarak değerlendirilebildiği gösterilmiştir [20]. Ayrıca, yazarlar 2 kHz ve 150 kHz aralığında farklı dalgalanma frekanslarını hesaba katmak için üç farklı zaman penceresi T için tepeden tepeye dalgalanmayı değerlendirmeyi öneriyorlar:  $T = 6.7\mu s$ ,  $T = 50\mu s$  ve  $T = 500\mu s$ . , büyük ve küçük güç elektronik dönüştürücüler neden oldu. Alternatif olarak, göreceli tepeden tepeye dalgalanma (4) [38] 'te olduğu gibi tanımlanabilir.

$$q_{pp,T} = \frac{q[n_{max}] - q[n_{min}]}{q_{dc}} \quad (3.5)$$

Burada  $q[n_{max}]$  ve  $q[n_{min}]$  sırayla  $q[n]$  örnekleme sinyalin maksimum ve minimum değerleri olarak T zaman aralığında gözlemlendi ve  $q_{dc}$  gözlem sinyalinin T zaman karesindeki DC değeridir.

### (c) Çentiklemek

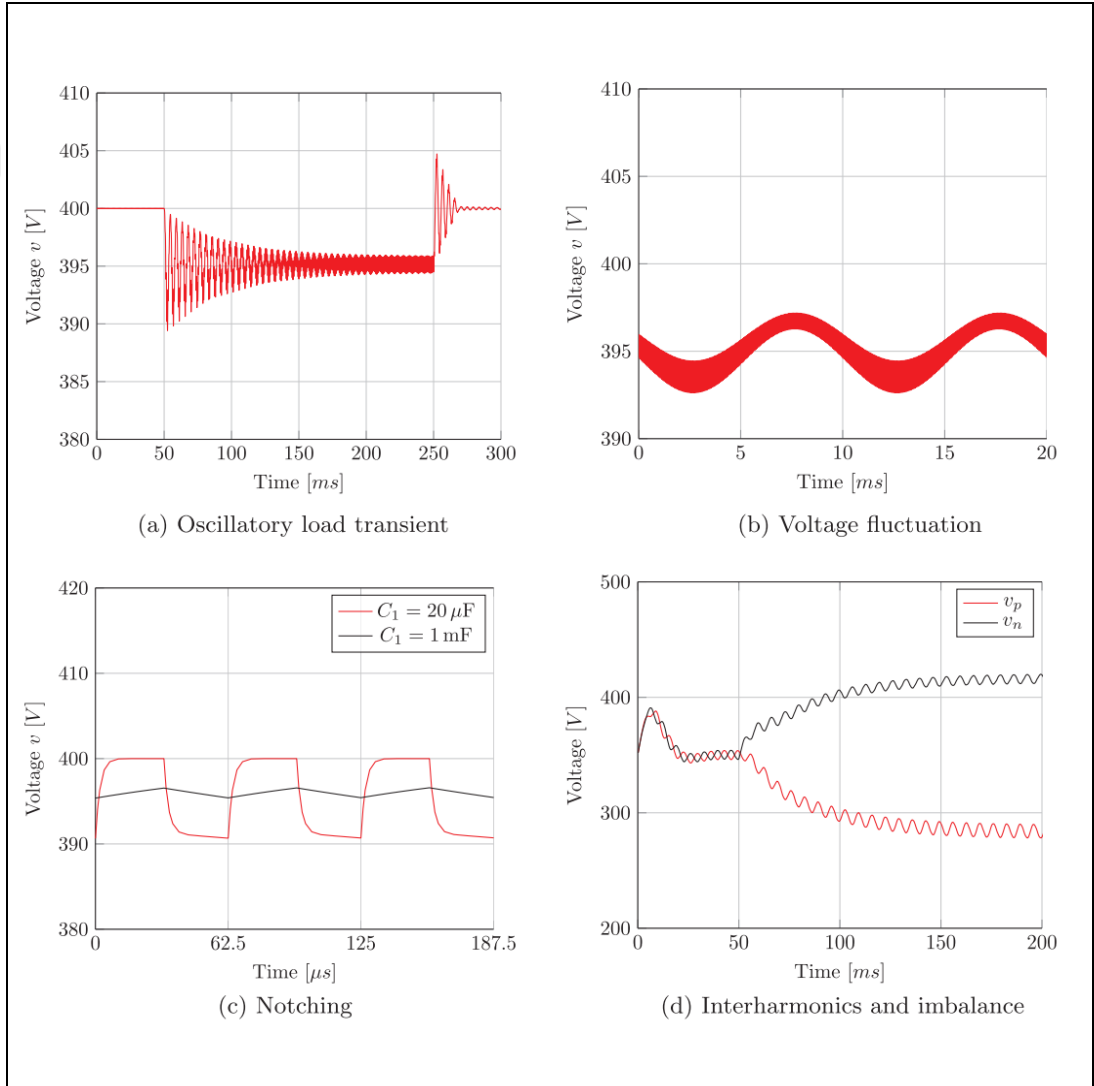
IEEE Std1159, voltaj çentiklemeyi “akım bir fazdan diğerine aktarıldığında güç elektroniği cihazlarının normal çalışmasının neden olduğu periyodik bir voltaj bozukluğu” olarak tanımlar [27]. Alternatif olarak, IEEE Std519 bir çentiği “normal voltaj dalga formunda, başlangıçta dalga formundan ters polariteye sahip olan ve böylece tepe noktası açısından normal dalga formundan çıkartılan 0,5 döngüden daha az süren bir anahtarlama (veya diğer) bir rahatsızlık olarak tanımlar. Bozulma voltajının değeri ”[35]. Açıkça, bu tanımlar AC’de voltaj çentiklerinin altında yatan nedene, yani güç elektroniği dönüştürücülerinde bir fazdan diğerine geçişi temel alır [27]. AC’deki voltaj çentiklerinin sistemin doğal frekanslarını uyardığı ve potansiyel olarak aşırı gerilim stresine neden olan paralel rezonanslara neden olduğu bildirilmiştir [39]. AC için uyumluluk seviyeleri IEC61000-2-2’de belirlenmiştir [40]. Çentik derinliği ve süresi ile karakterizelenir. Bir sonraki bölümde örneklerle anlatılacağı gibi, yetersiz front end kapasitansa sahip anahtarlama modunda olan dc-dc dönüştürücülerden kaynaklanır.

### 3.4.4.5. Voltaj titremeleri (dalgalanmaları)

AC dağıtım sistemlerindeki voltaj dalgalanmaları, titreme olarak adlandırılan bir olgu olan insanları rahatsız eden düşük frekanslı ışık yoğunluğu salınımlarına yol açar [27]. IEC61000 titremeyi “Spektral dağılımın parlaklığı zamanla dalgalanan bir ışık uyarısının neden olduğu görsel duyumun dengesizliğinin izlenimi” olarak tanımlamaktadır. Öte yandan, voltaj dalgalanmaları, tolere edilebilir voltaj aralığını aşan periyodik tepe voltajlarına neden olabilir. Voltaj dalgalanmaları düşük frekanslı güç dalgalanmalarından kaynaklanır ve daha sonra DC voltaj dalgalanmalarına neden olur. Benzer şekilde, DC voltaj dalgalanmaları bindirme AC şebekesine reaktif güç ve diğer yardımcı hizmetlerin sağlanması sonucu da ortaya çıkabilir [41].

AC’de voltaj dalgalanmaları, rms voltaj ölçümünden kaynaklanan bir dizi duyarlılık fonksiyonu ile insanlar tarafından titreşimin nasıl algılandığını ölçen kısa ve uzun vadeli titreme şiddet endeksi kullanılarak ölçülür [42]. Hassasiyet fonksiyonları, akkor ampuller için özel olarak belirlenmiştir ve bu nedenle LED veya floresan aydınlatma gibi diğer aydınlatma kaynaklarına uygulanamaz.

Soru, bu voltaj dalgalanmalarının, her ikisi de AC ile de ilgili olan bir tartışma olan aydınlatma armatürleri giderek daha fazla dönüştürücü arayüzüne sahip olduğundan fark edilebilir bir etkiye sahip olup olmayacağı ortaya çıkmaktadır. Örneğin, ışık akısını korumak için çıkış akımını kontrol eden DC-DC dönüştürücülere sahip led sürücülerin, üst üste bindirilmiş AC voltaj değişimlerine karşı daha yüksek bağışıklık gösterdiği sonucuna varılmıştır [43]. Bu nedenle, voltaj titremesinin pratik önemi hem AC hem de DC'de tartışmaya tabidir.



Şekil 3.7. DCMŞ'de Simülasyon sonucu Güç Kalite Karakteristiği

### 3.4.4.6. DC'de olmayan AC güç kalitesi sorunları

Önceki tartışma, başlangıçta bir AC perspektifinden tanımlanan güç kalitesi sorunlarının da alakalı olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, harmonikler [26] ve

güç frekans değişimleri DC yok olur.

Şekil 2’de gösterilen yarım köprü ve neutral-point clampes (NPC) dönüştürücü leridir. Yarım köprü konvertörü,  $R_l = 0.1\omega$  hat direnci üzerinden 400 V’a karşı tek kutuplu bir voltaj kaynağından beslenir ve  $I_L = 100A$  sabit akım yükünü çalıştırır. Konvertör 16 kHz sabit anahtarlama frekansında çalışır. NPC ayrıca 16 kHz’de çalışır ve iki kutuplu bir DC sistemini AC şebekesine bağlar. İlk simülasyon durumu Şekil 3a’da gösterilmiştir, yükün açılmasını ( $t = 50ms$ ’de) ve kapanma ( $t = 250ms$ ’de) dinamiklerini dikkate alır. Yarım köprü %50 sabit görev çevriminde çalışır ve  $I_L$  (0- 100- 0 A) adım değişiklikleri uygulanır. Şekil, DC barasında meydana gelen geçici gerilimi gösterir, mevcut adım değişikliklerinin çıkış filtresinin ön uç kapasitör C1’de de gözlemlenen LC rezonansını tetiklediğini gösterir. Bu nedenle, açma ve kapama olayları 225 Hz’de 5 V büyüklüğünde salınım geçişlerine neden olur. İkincisi, yük akımı belirli bir eşiği aşarsa, ağda kalıcı bir Düşük Gerilime neden olabilir. İkinci simülasyon durumu, Şekil 3b’de gösterilmiştir ve ortalama 100 A değerine sahip bir 100 Hz. dalgalanan sabit akım yükü  $I_L$ ’sini dikkate alır.

Bu güç dalgalanmaları şekilde gösterildiği gibi C1 genelinde voltaj dalgalanmalarına neden olur. Daha yüksek DC bara kapasitörleri voltaj dalgalanmalarının büyüklüğünü azaltır. Gerilim dalga formu ayrıca, ayrı bir frekans spektrumuna sahip olduğu için harmonikler olarak kabul edilebilecek 16 kHz’lik anahtarlama dalgalanmasını da içerir. Tabii ki, bu yarım köprü dönüştürücülerin birden fazlası farklı anahtarlama frekanslarında paralel olarak çalıştığında, voltaj dalgalanması sürekli bir spektruma sahip olacaktır. Bu durumda tepe-tepe gerilim dalgalanması (3) ’e göre  $QPP = \%0,56$  ve (4) ’ e göre  $QPP = \%0.37$ ’ye eşittir.

Üçüncü simülasyon durumu, Şekil 3c’de üç anahtarlama periyoduna yaklaştırılır (anahtarlama süresi  $62,5\mu s$ ’ye eşittir) ve yük akımının C1 =  $20\mu F$  ve C1’ nin iki farklı kapasitans değeri için sürekli 100A olması durumunda voltaj dalgalanmasını gösterir. 1 mF. Nispeten küçük bir kapasitansın, 10V voltaj dalga formunda tekrarlayan şarj ve deşarj RC’nin RC geçici dalga formlarına karşılık gelen çentiklerle sonuçlandığını gösterir. Dördüncü simülasyon durumu, 230 V 50 Hz. AC sistemini  $\pm 350V$  bipolar DC sistemine bağlayan Şekil 2b’deki NPC’yi dikkate alır. Gösterildiği gibi, bipolar DC

sistemi sırasıyla pozitif-nötr ve negatif-nötr arasında bağlı iki sabit akım kaynağı içerir. Şekil 3d, iki veri yolu voltajı VP ve VN ve her iki akım kaynağı için 10 A'ya ayarlanan simülasyon sonuçlarını gösterir. Sonuçlar bir başlatma geçici gösterir ve  $t = 50 \text{ ms}$ 'de In (10-14 A). Simülasyon sonuçları, dengesizlik ve 150 Hz. arası harmonikler olmak üzere iki DC güç kalitesi sorunu sunmaktadır.

Mevcut güç kalitesi tanımlarının çoğu, DC mikro şebekeleri kapsayacak kadar geneldir. Gerilim geçişleri, kısa ve uzun vadeli değişimler, gürültü, çentik ve gerilim dalgalanmaları mevcut AC güç kalitesi sorunlarına oldukça benzerdir. Bununla birlikte, güç kalitesi sorunları AC ofseti, interharmonikler ve dengesizlik açıkça farklıdır. Ayrıca harmonikler, DC ofseti ve güç frekansı değişimleri tanım gereği DC mikrogridlerde mevcut değildir. İki kutuplu DC mikro şebekelerde voltaj dengesizliği oluşabilir ve voltaj dengesizliği faktörü tanımlanmıştır. Bununla birlikte, diğer voltaj kısıtlamaları zaten işlevselliği sağladığından belirli bir sınır gerekli değildir. Güç elektroniği dönüştürücüler, DC ön ucunda uygun filtreleme ile azaltılabilen bazı güç kalitesi sorunlarına neden olabilir. Güç elektroniği dönüştürücülerinin anahtar modu çalışması, denetleyicilerin bant genişliği ve hızlı hata dinamikleri nedeniyle. DC mikro şebekelerdeki güç kalitesi sorunlarının AC ile karşılaştırıldığında daha yüksek frekanslara kayması beklenmektedir.

### **3.5. DCMG Koruma Sistemleri**

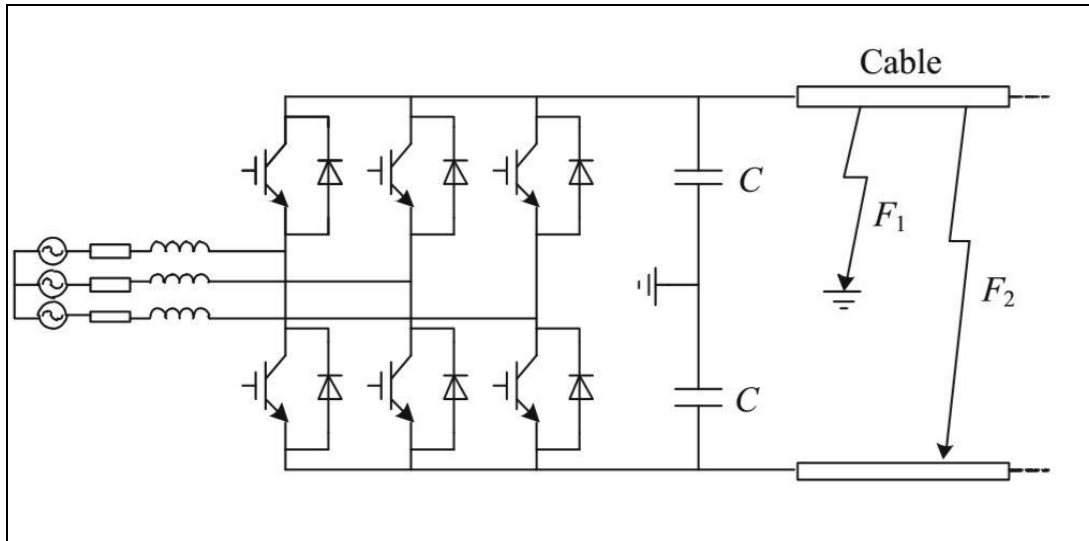
#### **3.5.1. DC mikroşebekelerdeki hatalar**

Arıza akımlarının bilgisi ve analizi, uygun bir koruma düzeni tasarlamının önemli bir parçasıdır. Ayrıca, röleler gibi PD'lerin koordinasyonu, arıza akımı özelliklerini bilmeyi gerektirir. Ayrıca, arıza akımı, mikro şebeke bileşenlerine zarar verebilir. Bu nedenle, dönüştürücüler voltajı ve akım kontrolünü kaybedebilir, dönüştürücüler maliyeti artıran ve diğer koruma bölgelerinde kademeli açmayı [48] artıran daha yüksek güç oranına ihtiyaç duyarlar.

DC mikroşebekelerde arızalar iki farklı şekilde gerçekleşir; kutup direğe (PP) ve kutup direğe (PG). PG arızalarında, bir veya her iki iletken de toprağa bağlanır. Kutup-toprak arızalarının arıza empedansı düşük veya yüksek olabilir [49]. Öte yandan, kutup

arızaları endüstriyel sistemlerde en yaygın olanlardır [50]. PP arızalarında, iletkenler doğrudan birbirlerine bağlanır. Genel olarak, kutuplar arası hataların arıza empedansı düşüktür ve bu hatalar daha belirgin ve tehlikelidir [51, 52]. Arıza tipleri, arıza yerine bağlı olarak bus arızası ve besleyici arızası olabilir. Belirtildiği gibi, elektronik ekipman savunmasızdır ve aşırı akım toleransı sonludur. Arıza yeri enerji kaynaklarına daha yakın olduğunda, arıza çok daha ciddi olur; bu nedenle, bus hatası tüm sistem için kritik öneme sahiptir. VSC'lerin ve bataryaların içindeki arızalar kutup dan kutupa kısa devre hatasına neden olabilir ve bunlar genellikle hızlı bir şekilde giderilemeyen terminal hatalarıdır. Bu durumlarda, cihazların değiştirilmesi gerekir ve sigortaların kullanılması uygun bir seçim olabilir.

Dönüştürücü arabirimli bir DC ağının tipik hata yanıtı, [53]'de ayrıntılı olarak sunulmuştur . Bir DC kısa devre arızası durumunda, IGBT'ler derhal kendiliğinden korunmak üzere bloke edilir ve aşırı akıma maruz kalan ters diyotlar bırakılır. Bu arada, yüklü filtre kapasitörleri yüksek hata seviyeli kaynakların rolünü oynar, tipik hata akımı profili, DC kablosu kısa devresinin nerede gerçekleştiğinden bağımsız olarak, Şekil 2.4'te gösterilen eşdeğer devre ile gösterilebilir. [54] 'de, eşdeğer devrenin doğal tepkilerinin iki ayrı fazda tanımlandığı Laplace metodu kullanılarak kapsamlı ve sistematik analizler yapıldı. Arıza özellikleri bu analizlerden elde edilebilir ve koruma çalışma zamanının tanımlanmasına ve önerilen koruma planlarının etkisinin değerlendirilmesine yardımcı olabilir.



Şekil 3.8. Biopole sistemde doğrultucunun DC tarafında ki hatalar



Tüm sistemler, Şekil 3.9c’de gösterildiği gibi, Thevenin DC ve AC eşdeğer devresi ile modellenilebilir ve burada aynı şekilde a, b ve c’de ayrı bir hata parçası olarak belirtilebilir. DC sistemlerindeki hataların tepki özellikleri iki farklı duruma ayrılmıştır: geçici ve kararlı durum. Arızanın geçici kısmı, DC-link kondansatörlerinden ve dönüştürücülerin kablo deşarjlarından ve sabit durumdaki taraflardan güç kaynaklarından enjekte edilmiştir [55].

Diğer sınıflandırma türlerinde, kutuptan kutup dan kutupa arıza aşamaları: kondansatör boşalma aşaması, diyot serbest dönme aşamaları, kablo boşalma aşaması ve bu tip kutup-kutup arızasına beslenen şebeke-akım akımının aşaması, Şekil 33’te tarif edilecektir. Şekil 2.4c’deki aşağıdaki denklemle elde edilen DC-link kondansatörü SC:

$$\frac{d^2i_c}{dt^2} + \frac{R}{L} \frac{di_c}{dt} + \frac{1}{LC} i_c = 0 \quad (3.6)$$

Burada C, DC-link kondansatör kapasitansdır, L, hattın indüktansdır, R, hattın direncidir ve  $i_c$ , hata akımıdır ve Şekil daki DC-link kapasitör deşarj aşaması için:

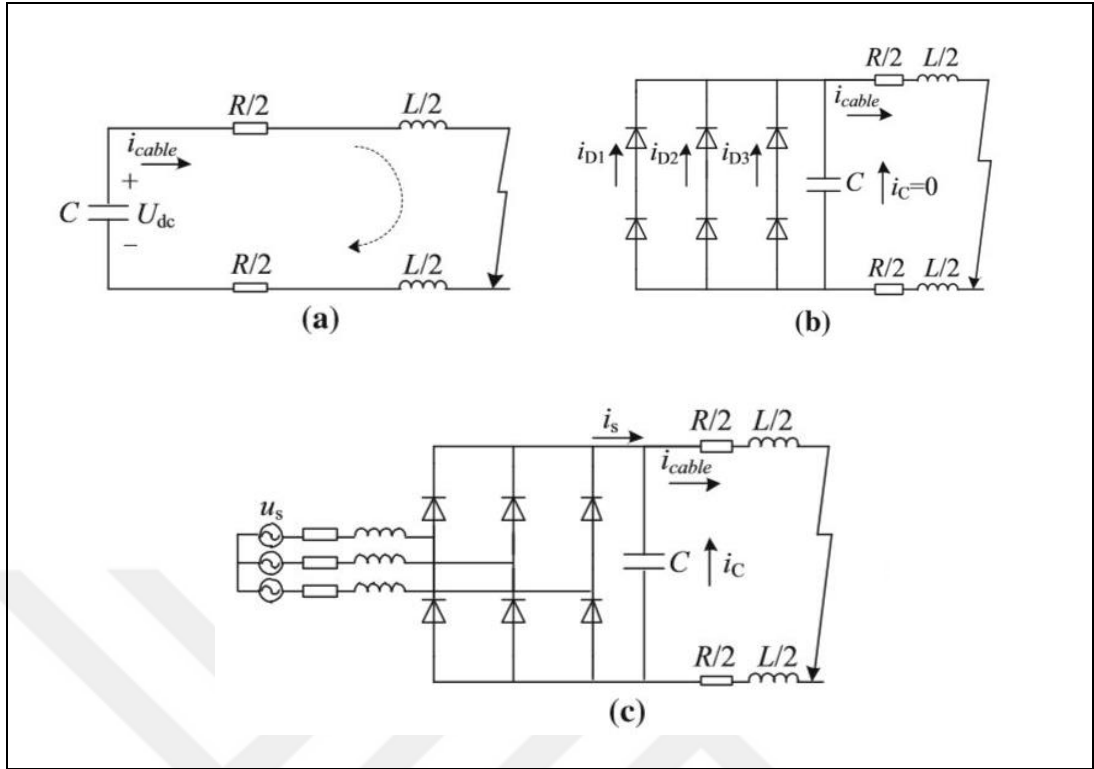
$$LC \frac{d^2u_{dc}}{dt^2} + RC \frac{du_{dc}}{dt} = 0 \quad (3.7)$$

Ayrıca, arızaların ve dönüştürücülerin anahtarlanmasından sonra, kablo endüktansındaki enerji boşaltılır. Şekil 2.4b’de gösterilen diyot serbest tekerlek aşaması, DC-link gerilimi sıfıra ulaştığında başlatılır. Aşama t1 zamanında gerçekleştiğinde, akımın başlangıç değeri  $i_{cable}(t_1) = I_1$ . Kablo deşarj akımının ifadesi aşağıdaki denklemlerdir:

$$L \frac{di_{cable}}{dt} + i_{cable} R = 0 \quad (3.8)$$

$$i_{cable} = I_1 e^{-R/L(t-t_1)} \quad (3.9)$$

hatanın geçici akımı  $i_{cable}$  ve  $i_c$  tarafından yapılır, bu kısım Şekil 2.4’te gösterilmiştir. Ek olarak, hata akımlarının geçici kısmı yavaş, orta ve hızlı ön geçici olarak ayrılmıştır. Voltaja bağlı yükler, konvertör kontrolü ve aküler yavaş geçişlere neden olur. Filtrenin kapasitörlerindeki aşırı akım orta ön geçici çalışmaya neden olur ve PD’lerin açılışındaki



Şekil 3.9. İki Kutup arası arıza devresi a) kapasitör-boşalma aşaması b) diyot serbest flyweel ile kablo endüktans deşarj aşaması c) Şebeke tarafı akım besleme aşaması

geçici geri kazanım voltajı hızlı ön geçici çalışmaya neden olur [56].

DC-link kondansatörü, arızadan hemen sonra boşaltılır, şekil2.4a'da gösterilmiştir ve ifade, diferansiyel akım denklemi için denklem 2 ve gerilim diferansiyel denklemindeki denklem 3'tür. O halde t'den küçükte arızanın oluştuğunu göz önünde bulunduran  $R < 2\sqrt{(L/C)}$  koşulu ile, başlangıçtaki gerilim ve akımın  $v_{dc}(t_0) = V_0$ ,  $i_{cable}(t_0) = I_0$  olarak, denklem şudur:

$$V_{dc} = \frac{V_0\omega_0}{\omega}e^{-\delta t}\sin(\omega t + \beta) - \frac{I_0}{\omega c}e^{-\delta t}\sin\omega t \quad (3.10)$$

$$i_{cable} = C\frac{dv_c}{dt} = \frac{-I_0\omega_0}{\omega}e^{-\delta t}\sin(\omega t - \beta) + V_0\omega Le^{-\delta t}\sin\omega t \quad (3.11)$$

Burada;  $\delta = R/(2L)$ ;  $\omega^2 = 1/(LC) - ([R/(2L)])^2$ ;  $\omega_0 = \sqrt{((\delta^2 + \omega^2))}$ ;  $\beta = \arctan(\omega/\delta)$

Kararlı hal bölümünde, AC şebekeden enjekte edilen hata akımı (şebeke tarafı akım beslemesinin aşaması), Şebeke tarafı akım besleme aşamasında, eşdeğer devre Şekil 2.4c'de gösterilen kontrol edilemeyen bir düzeltme olarak çalışır. Arıza giderme

olmadan, arıza akımı o zaman önemli ölçüde azalsa da uzun bir süre boyunca mevcut olacaktır ve sıfır geçiş noktası yoktur.

Tipik kutup-kutup arıza özellikleri, Şekil 2.5'te gösterilmiştir, arıza tepkisi üç aşamada gösterilebilir: kapasitör deşarj aşaması, diyot serbest basamak aşaması ve şebeke tarafı akım besleme aşaması. Arızanın  $t_0$ 'da olduğu varsayıldığında, kapasitör hızlı bir şekilde deşarj olmaya başlar ve arıza akımı, kapasitör voltajı sıfıra düşene kadar birkaç milisaniyede doruğa ulaşır. Bundan sonra, kablo endüktansı  $t_1$  ile  $t_2$  döneminde gösterildiği gibi akımı serbest diyotlar yolu etrafından sürmeye başlar. O anda diyotlardan geçen akım ani olur ve böylece diyotlar hızla zarar görür. Belli bir zayıflamadan sonra, arıza akımının DC tarafı ve AC tarafı akımı aynı büyüklüğe yakındır. Sonuç olarak, AC tarafı,  $t_2$ 'den sonraki süre için tarif edildiği gibi hata noktasını besler. Kutup-toprak arızası [57] 'te detaylı olarak analiz edilmiştir. Kutup-kutup arızası ile karşılaştırıldığında, tipik kutup-toprak arızası diyot serbest tekerlek aşamasına sahip değildir, ancak özelliklerin geri kalanı benzerdir.

Bu nedenle, AC halinin üç fazından üretilen sürekli hal parçası arıza akımı. Kararlı durum arıza akımı aşağıdaki denklemle [24] elde edilir:

$$i_{\text{Grid}} = i_{\text{phase-a}} + i_{\text{phase-b}} + i_{\text{phase-c}} \quad (3.12)$$

Burada arıza akımı, diğer fazlara SC akımının pozitif değeri eklenerek hesaplanır. Her fazın akımı [24] ile hesaplanır.

$$i(t) = A \sin(\omega_s t + \gamma) + B e^{-\left(\frac{R}{L_T}\right)t} + \frac{C}{\omega_d} \omega_0 e^{-\left(\frac{R}{L_T}\right)t} \sin(\omega_d t + \beta) + \frac{D}{\omega_d} \omega_0 e^{-\left(\frac{R}{L_T}\right)t} \sin(\omega_d t) \quad (3.13)$$

$$\text{Burada; } A = I_g \sqrt{(1 - \omega_s^2 LC)^2 + (RC_s)^2};$$

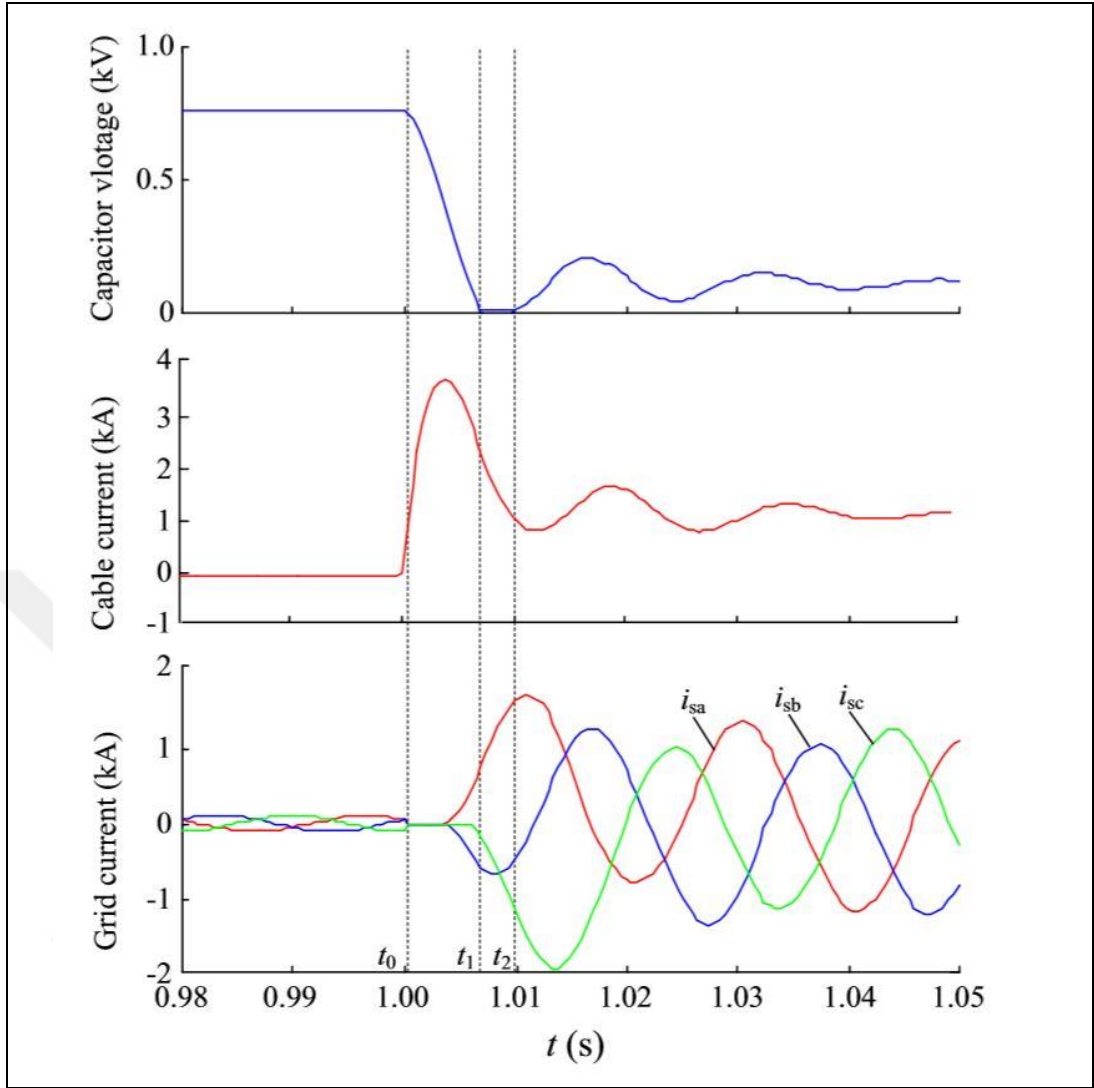
$$B = I_{gn} [\tau^2 / (\tau^2 - RC_\tau + LC)];$$

$$C = -(A \sin \gamma + B);$$

$$D = (BL_T/R) - \omega_s A \cos \gamma;$$

$$L_T = L + L_{\text{Reactor}};$$

$$\gamma = \alpha - \arctan((RC\omega_s)/(1 - \omega_s^2 LC)) - \arctan((\omega_s L_\tau)/R);$$



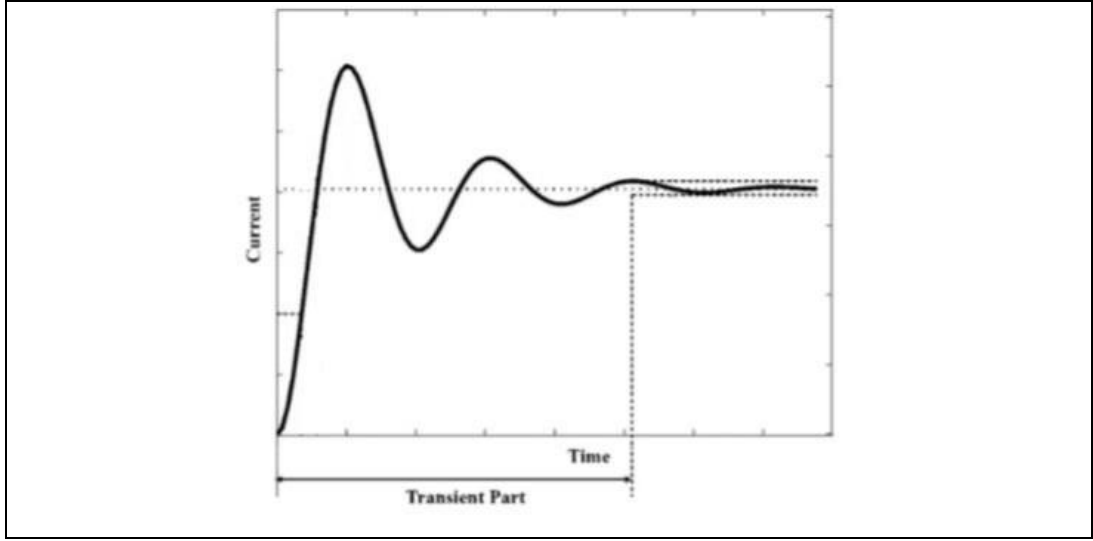
Şekil 3.10. İki Kutup arası arıza karakteristikleri

$I_g$  Fazın maksimum akımı;

$\omega_s$  Sistem frekansıdır;

$\alpha$  Faz fazıdır.

Şekil 3.10'ya göre, DC mikro şebekedeki arıza akımı sıfır çapraz noktaya sahip değildir, bu nedenle AC CB'ler DC mikro şebekelere uygulanamaz (Tablo 1). Ek olarak, DC sistemlerinde reaktansın değeri önemsizdir, bu nedenle, DC hatasının en yüksek değeri AC sistemlerdekinden daha yüksektir ve ayrıca DC mikroşebekelerde daha yüksek bir değişim oranı verir [58]. Bu yüksek hata oranından dolayı, DC mikro şebekelerdeki hatalar AC mikro şebekelerden daha hızlı gelişir [59, 60]. Ayrıca, DC mikro şebekeleri tipik olarak dayanma derecesi AC sistemlerindeki cihazlardan daha

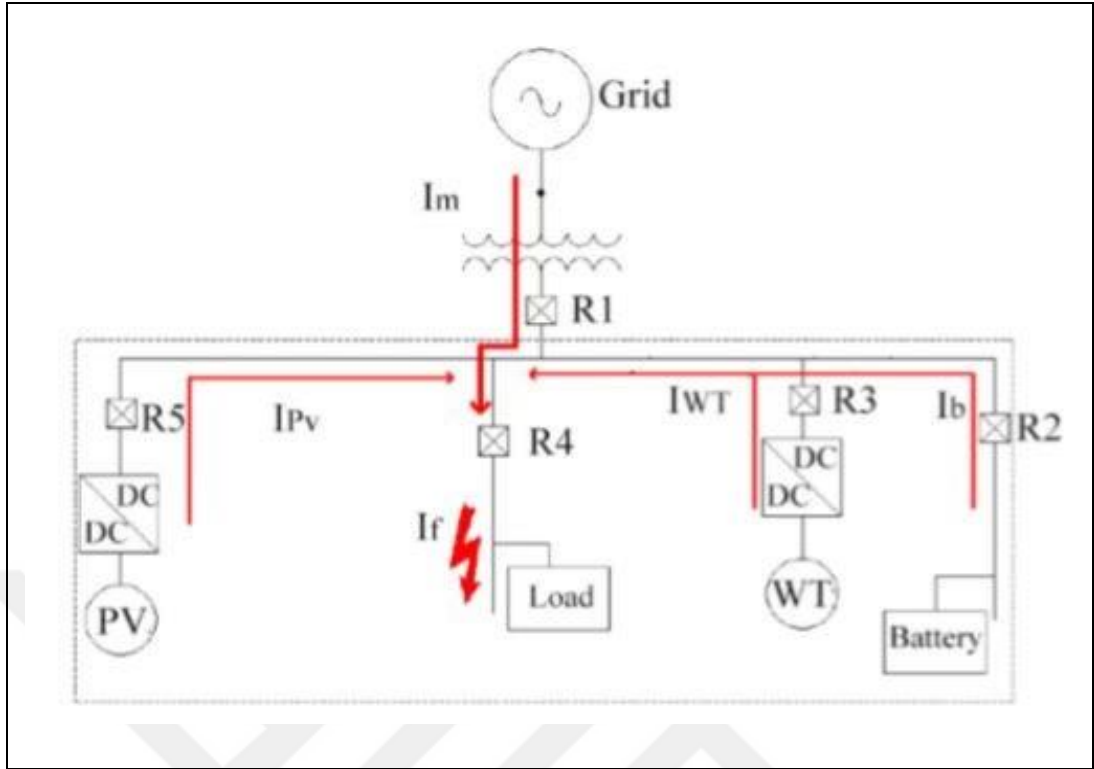


Şekil 3.11. DC sistemindeki SC akımı

düşük olan voltaj kaynağı dönüştürücüler (VSC'ler) kullanırlar [52]. Bu nedenle, DC mikro şebekelerinin koruma sistemleri, dönüştürücülere zarar gelmemesi için AC sistemlerinden daha hızlı olmalıdır. Ayrıca, yukarı akış şebekesinin koruma sistemi üzerinde bir etkisi olabilir. Örneğin, Şekil 3.12'da, şebekeye bir DC mikro şebeke bağlanır ve yükte bir hata meydana gelir. Pasif bir sistemde, R4 enjekte edilen hata akımını ana şebekeden,  $I_m$ . Bununla birlikte, DC mikro şebekelerde hata fotovoltaik (PV), Rüzgâr Türbini (WT) ve bataryadan da enjekte edilir.

Ardından, R4'ün ayarları tüm hatalara göre değiştirilmelidir. Bu nedenle, kaynakların sayısı ve büyüklüğü arttığında, ana şebekenin katkısı azalacaktır. Arıza ana şebekede meydana gelirse, R1 DC mikro şebekesine aittir. Bu nedenle, röleler çift yönlü çalışma olmalıdır [61].

Mikro Şebekelerin besleyici şebekeye bağlı çalışma modunda, arıza akımı, ada modundan daha fazladır. Ayrıca, hata akımının katkısı, senkron güç kaynağı tipinin, nominal akımın 5 katı ve invertör temel kaynağının 5 katı SC akımı enjekte ettiği kaynak türüne göre farklıdır [62].



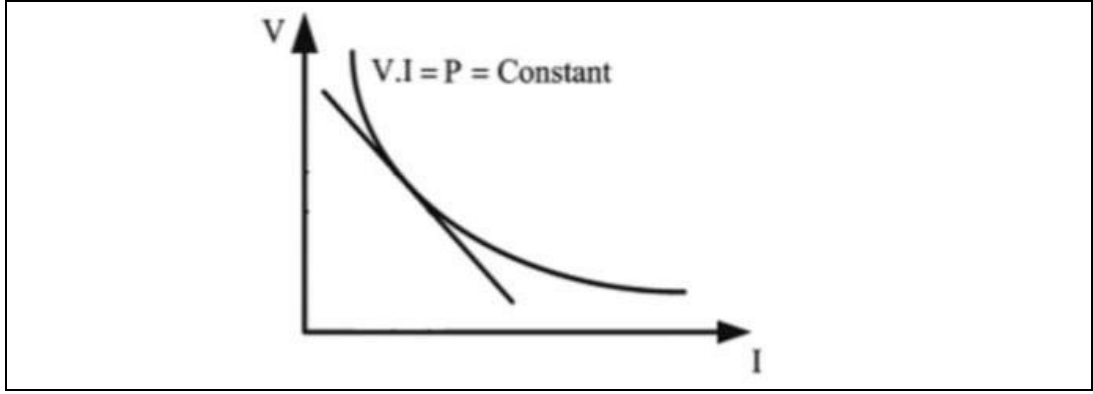
Şekil 3.12. hata akımı ve koruma örneği

Tablo 3.3. Sistemin arıza karakteristik parametreleri

Tip	Özellikleri
PP PG	Düşük empedans hatası, algılanabilir, tehlikeli yalıtım bozulmasında hata meydana gelir, yüksek empedans, kritik değil
Geçici hatalar	DC-link kondansatörü Kablo deşarjı yavaş, orta ve hızlı geçici durum
Kararlı Arızalar	kararlı hal denklemi

### 3.6. CPL'lerin DC Mikroşebeke Koruması Üzerindeki Etkisi

DC mikro şebekelerde sabit güç yüklerinin (CPL) yüksek penetrasyonu, sistem üzerinde ciddi voltaj salınımlarına yol açabilecek dengesiz bir etkiye neden olabilir. bazı tekniklerle CPL'lerin neden olduğu salınımları sönümlemesi gerekir. DC mikro şebekede, yük taraflarında birkaç dönüştürücü uygulanmıştır ve sıkıca ya da kapalı döngü kontrollü olduklarında dönüştürücüler ve yükler bir CPL işlevi görür. CPL, yük tarafındaki dönüştürücünün çıkış gücünün sabit olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, bir



Şekil 3.13. V–I eğim modellemesi

voltaj düşmesinden sonra, yüklerin akımı artmalıdır. Dolayısıyla, CPL'nin matematiksel modeli aşağıdaki denklemlerle elde edilebilir [63]:

$$P_{out} = \text{Constant} \quad (3.14)$$

V – I eğrisi, Şekil 2.2'de gösterilmiştir. CPL'nin davranışı aşağıdaki model tarafından gösterilebilir:

$$R = \frac{dV}{dI} = -\frac{V}{I} \quad (3.15)$$

Bu negatif işaret V – I eğrisi ile eklenebilir ve buna artımlı negatif direnç (INR) denir. DC veriyolundaki arıza sırasında INR problemi ortaya çıkıyor. Bir arıza durumu varsa, sistemin voltajı düşecek ve ardından sabit gücü korumak için tüm CPL'lerin daha fazla akıma ihtiyacı olacaktır. Bu eğilim devam edebilir ve arıza akımını hızlandırabilir [64]. Öte yandan, CPL'ler voltaj ve akımda salınım yapabilirler ve DC mikro şebekelerinin adanmış modundaki arıza akımının düşük değerinden dolayı, PD'lerin akım salınımı ve arıza durumlarını ayırt etmek zor olacaktır [65]. Bu nedenle çözümlerden biri, voltaj düşüşü sırasında INR'yi değiştirmek için yük girişindeki hataları sınırlandırmaktır [66]. Diğer koruma yöntemleri göreceli bölümde açıklanacaktır.

### 3.7. DC Mikroşebeke Koruma Zorlukları

DC sistemlerindeki hatalar, DC veriyolundaki benzersiz zorluklarla ve kısa devre akımlarıyla karşı karşıya kaldığında, hızla yüksek bir seviyeye yükselebilir. Ayrıca,

geleneksel ve DC mikroşebekelerin karakteristiklerindeki farklılıklar nedeniyle, koruma şemaları geleneksel güç sistemleri için tasarlanmıştır ve DC mikroşebekelerin temel farklılıkları vardır. Bu bölümde, DC mikro şebekelerinin koruma zorluklarıyla ilişkili ana konular ele alınmıştır.

### **3.7.1. Arıza akımının yönü**

Geleneksel güç sistemleri normalde radyaldır ve akımın tek yönlü davranışı nedeniyle, akım tabanlı röleler tarafından korunurlar [47, 48]. Bu nedenle, bu sistemlerin koruma şemaları tek yönlü arıza akımı için tasarlanmıştır. Tersine, farklı konumlardaki güç kaynaklarının bağlantısı nedeniyle, mikroşebekelerdeki arıza akımı çift yönlüdür ve geleneksel koruma programları mikroşebekelerde uygulanamaz [67]. Başka bir deyişle, halka sistemlerinde, tüm DER'ler hatalara katkıda bulunabilir ve hata yönünü değiştirebilir. Bu nedenle, yönsüz röleler sistemi koruyamaz ve bu, mikro şebekelerin güvenilirliğini azaltır. Öte yandan, DC mikro şebekelerinin topolojisi düzenli olarak değişebilir, bu nedenle hatanın yönü değişebilir. Bu nedenle, bunun yeni topolojinin koruma düzenini sağlamak için uyarlamalı (adaptive) bir koruma yöntemine ihtiyacı vardır.

### **3.7.2. Akım bazlı rölenin koordinasyon sorunu**

DC dirençlerinde düşük hat direnci değeri ve yüksek hata yükselme oranı nedeniyle, akım tabanlı rölelerin koordinasyonu zor bir iştir [49, 50]. Bu nedenle, tüm seri akım bazlı röleler yüksek değerli bir arıza akımı algılar ve röleler arasında bir koordinasyona neden olur. Öte yandan, daha önce de belirtildiği gibi, DC mikroşebekelerdeki hatalar PP ve PG'dir. Bu nedenle, röleler her iki hatada da koordine edilmelidir. Bununla birlikte, PP ve PG'deki arıza akımlarındaki farklılıklar nedeniyle, röle ayarları bunlardan biri için ayarlanmışsa, başka bir durumda bir koordinasyon olacaktır. [20] 'e göre, seçicilik eksikliği nedeniyle DC aşırı akım şebekelerinde tipik aşırı akım röleleri uygulanamaz. Böylece, akım bazlı röleler için çeşitli koruma yöntemleri önerilmiş ve Bölüm 5'te tartışılmıştır.



### **3.7.3. AC devre kesicilerin uygun olmaması (CB'ler)**

CB'ler güç sistemlerinde arıza akımlarını mekanik bir mekanizma ile keser ve AC CB'ler her yarım periyotta sıfır noktasındaki arıza akımını keser. Bununla birlikte, DC mikro şebekelerinde çapraz sıfır noktasının bulunmaması nedeniyle, geleneksel CB'ler bu sistemlerde uygulanamaz. Ek olarak, DC mikro şebekeler VSC'lerde hasarı önlemek için daha hızlı hata akımı kesiciler gerektirir [20, 31, 51]. Diğer yandan, DC CB'ler, arıza akımını sıfıra zorlamak için manyetik ark üfleyiciler ve ark kanalları [68] ile yapılabilir. Bununla birlikte, bu yöntem pahalıdır, yavaştır ve tüm DC mikro şebekelerinde uygulanamaz. Bu nedenle, bu sorunun en iyi çözümü, Yalıtımlı geçit çift kutuplu transistör (IGBT) ve entegre geçit komütasyonlu tristör (IGCT) gibi güç elektroniği aygıtları kullanmaktır.

### **3.7.4. Kısa devre seviyesindeki değişiklik**

AC güç sistemlerinde, kısa devre hataları tipik olarak sistemin nominal akımından 10 kat daha büyüktür ve bu daha büyük hata akımı hataları kolayca tespit etmek için koruma şemalarına yardımcı olur. Bununla birlikte, DC mikro şebekelerindeki arıza akımları dönüştürücüler tarafından sınırlandırılabilir ve akımlar, arıza tespit şemalarının eşliğinden daha küçük olabilir ve arıza tespitini zorlaştırır. Öte yandan, DC mikro şebekelerin çalışma modları SC seviyesini ve yönünü etkiler. Şebeke bağlı modda, şebeke ve DER'ler, anma akımdan 20–50 kat daha büyük arıza akımına katkıda bulunurken, adalanmış modda, sadece DER'ler anma akımdan 5 kat daha büyük arıza akımı üretir [69]. Bu nedenle, şebekeye bağlı moddaki hatanın seviyesi ada modundan daha yüksektir ve bu akımın yönü her modda farklı olabilir. Bu nedenle, bu sorunun üstesinden gelmek için, rölelerin ayarları, arıza akımı seviyelerindeki değişikliklere göre ayarlanmalı veya DC mikroşebekelerde uyarlanabilir bir koruma şeması uygulanmalıdır [70].

### **3.7.5. Eviricilerin düşük arıza akım kapasitesi**

Mikroşebekelerin içindeki Eviricilerin arıza akımı kapasitesi normal olarak tasarlandıkları arıza akımının yarısından azdır [71]. Bu nedenle, arızalar sırasında, DER'lerin nüfuzu mikro şebekede düşükse, DC akım şebekesinin çalışma modu, arıza

akım seviyesini azaltmak için adalanmış moda geçebilir. Sonuç olarak, akım bazlı rölelerin koordinasyonu ve hassasiyeti etkilenecek ve röleler arasında gecikme veya dengeleme yapılabilir [67]. Ek olarak, şebeke ile DC mikro şebeke arasındaki invertör, sınırlayıcı bir rolü olan ana invertördür. Bu invertör en fazla hataya sahiptir; bu nedenle, çoğu hata toleransına ihtiyaçları vardır. Dahası, bu invertörler hatayı yüksek esneklikle sınırlayabilir [72].

### **3.8. DC Mikroşebekelerde Koruma Yöntemleri**

Geleneksel güç sistemlerinde, sistemin topolojisi radyaldır [73] ve bu sistemlerin tek yönlü güç esas alınarak tasarlanan koruması akar. Öte yandan, dağıtılmış kuşakların (DG'lerin) sisteme nüfuz etmesinin artırılması, sistemlerin korunmasını daha zorlaştırmaktadır. DG'ler arıza akım seviyesini arttırmaya ve sistemin güç akış yönünü değiştirmeye neden olur. Bu nedenle, PD'lerin koordinasyonu üzerinde etkili olabilir. Hem DC hem de AC koruma ile ilgili genel sorunlara ek olarak, büyük DC kapasitörleri, DC kabloların düşük empedansı, yüksek geçici akım ve gerilim gibi DC güç sistemlerinin yapısı nedeniyle, bazı zorluklar sadece DC korumayla ilgilidir [20]. Hata akımı kesicilerinden biri, AC şebekelerinde hata akımını sıfır geçiş kullanarak kesen CB'dir. Bununla birlikte, DC sistemlerinde sıfır geçiş eksikliği nedeniyle, DC sistemlerinde geleneksel CB'ler kullanılamaz. Diğer taraftan, DC sistemleri, voltaj kaynağı invertörlere (VSI'ler) herhangi bir zarar gelmesini önlediğinden, daha hızlı bir koruma düzenine ihtiyaç duyar.

Ayrıca, DC mikro şebekelerinde topraklama, arızaları tespit etmek için uygun şekilde tasarlanmalıdır [70]. Bu nedenle, bir topraklama sistemi DC kaçak akımını ve genel mod voltajını en aza indirmelidir [74]. Son yıllarda, DC mikro şebekesini korumak için çeşitli koruma yöntemlerinin olduğu bildirilmiştir. AC sistemlerinde, mesafe koruması, hata direncinin koruma yöntemi üzerindeki etkisini önlemek için simetrik bileşenin analizini kullanır. Ancak, DC sistemlerinde bunlar mümkün değildir.

#### **3.8.1. Akım ve gerilim temelli yöntemler**

Empedans ve hareketli dalga yöntemleri AC güç sistemleri için bir endüstri standardı olarak kabul edilmiştir, ancak fazör parametrelerinin bulunmamasından dolayı bu

yöntemleri doğrudan DC mikroşebekelerine uygulamak zordur [51]. AC mikro şebekelerinde, voltaj açılarını değiştirerek, hareket eden dalgaların büyüklüğü değişecektir. Bu nedenle, seyahat dalgası koruma yöntemleri için bu bir problemdir. Öte yandan DC mikro şebekeler için böyle bir problem yoktur [75]. Yüksek geçici arızalar, arıza sırasında 5 ms içinde voltaj düşmesine neden olur. Bu nedenle, DC mikro şebekeler için gereken koruma yöntemleri AC güç sistemlerinden çok daha hızlı olmalıdır [76]. [52] 'da önerilen bir yöntem, LVDC mikro şebekelerinde hatayı bulmak ve tespit etmek için DC link voltajının genliğini hata ile birlikte hesaplamak için kullanılmıştır. [76] 'te önerilen bir diğer yapı olaya dayalı korumadır. Bu yöntemde veri yolunun voltajı ve akımı gibi değişkenler her bir koruma ünitesinde yerel olarak sınıflandırılır daha sonra gerçek verileri göndermek ve almak yerine sadece arıza sınıfı koruma üniteleri arasında dağıtılır. Kabul edilebilir koruma şeması [77] 'da incelenmiştir. Bu yöntem, çok terminalli bir DC güç sisteminde çeşitli (hatlar arası ve hatla zemin arası) arızaların tespiti ve izolasyonu için uygulanabilen bir koruma şemasıdır. Başka bir deyişle, çok terminalli bir sistemde bir DC barasının bir hattında pozitif bir topraklama hattı arızası meydana geldiğinde, arızalı hattın mevcut yönü her zaman bara'dan arıza konumuna gider hal bu ki akım, DC barasının diğer sağlıklı hatlarında negatif yönde görünür.

### **3.8.2. Empedansa dayalı yöntemler**

[24] 'da DC sistemleri için bir mesafe koruması önerilmiştir, bu yöntem ile konvansiyonel yöntemler arasındaki fark, hata yerinin bir tahminidir. Hızlı bir arıza tespit yöntemi tasarlamak için bu çalışma iletim hattında sadece iki adet DC ölçüm ünitesi kullanarak basit bir algoritma sunar. İletişim gereksinimlerini önlemek için bir tane daha referans voltaj kullanan bir şema ele alınmıştır. DC tarafındaki mesafe ölçümü ve gösterimi için iki voltaj bölücü kullanılır. Ayrıca, referans voltajlarını ölçerek bir SC'nin konumlandırılması, nispeten büyük bir empedansa sahip olabilecek bir toprak arızasının yerini belirtmekten daha kolaydır. Ancak, bu yöntemin sorunu, bu tip rölenin hata empedansına yüksek duyarlılığıdır. Diferansiyel koruma, DC şebekelerinde arıza tespiti ve koruma için çok kullanışlıdır. Bu nedenle, hata tespitinde yapılan araştırma çalışmalarının çoğu hata direncine bağlıdır.

Örneğin, [78]'de DC mikro şebekeler için diferansiyel koruma stratejisine dayanan bir

koruma şeması önerilmiştir. Önerilen yöntemdeki hata miktarı hata direncine bağlıdır. Bu nedenle, arıza direncinin arıza koruma yöntemleri üzerindeki etkisinin ortadan kaldırılması çok önemlidir. Ek olarak, [76] 'te yeni bir mesafe koruma yöntemi önerilmektedir, bu yöntem, ana ve yedek röleler arasında ayırım yapmak için röle ayarlarını ayarlamak için farklı mesafe hesaplamaları kullanır.

### **3.8.3. İletişim tabanlı yöntemler**

Diferansiyel koruma, bir ağ içinde belirli bir ünitenin sınırları içindeki mevcut genlik ve yönleri kullanarak ve karşılaştırarak sistemi koruyan üniteler için ortak bir koruma yöntemidir [79]. [80] 'da, bir DC şebekesinde arıza koruması için diferansiyel tabanlı bir yöntem uygulanır; diferansiyel koruma, doğru bir koruma sistemine sahiptir. İlk olarak, röle bu iki akım arasındaki akım farkını hesaplar ve eğer akımlar arasındaki bu fark eşikten büyükse, kesicilere bir açma sinyali gönderir. Arıza seviyesi, DG'ler ve arıza direnci diferansiyel koruma üzerinde düşük etkiye sahiptir. Sonuç, diferansiyel korumanın DC arızalarını çok hızlı ve doğru şekilde tespit edebildiğini göstermektedir. Yine de iletişim gereklilikleri nedeniyle, bu koruma röleleri pahalıdır [81].

### **3.8.4. Yerel koruma yöntemleri**

[76] 'te, yerel ölçüm birimlerine dayalı olarak DC mikro şebekede arıza tespiti için bir koruma şeması önerilmiştir. Hataları tespit etmek için birinci ve ikinci dereceden türev kullanır. Ancak, bu yöntemle ilgili sorun sistem topolojisine bağlıdır. Bu yöntemde, PD'lerin ayarları sistem topolojisine ve hataların farklı konumlarına göre hesaplanır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kesintisi ve belirsizliği ayrıca besleyiciye değişken besleme akımları getirebilir; bu nedenle, koruma sistemi hata sırasında hassasiyetini ve seçiciliğini kaybedebilir [82]. Mikro şebeke için uygulanabilir başka bir çözüm, sistem koşullarında veya gereksinimlerindeki bir değişikliğe yanıt olarak koruyucu ayarları değiştirebilen uyarlanabilir korumadır [83]. Bu nedenle, gerçek güç sistemlerindeki çeşitlilik nedeniyle, uyarlanabilir bir koruma şeması güç sistemleri için şarttır. Bu nedenle, DC mikroşebekelerde adaptif bir koruma yönteminin tanımlanması çok önemlidir.

### 3.8.5. Dalga ve akıllı yöntemler

[84] 'de bir WT hata koruma yöntemi önerilmiştir. WT, zaman frekansındaki sinyalleri gösterir ve sinyal zamanının lokalizasyonunu sağlar . WT, geçici bir sinyalin frekans değeri belirli bir süre boyunca değiştiği için geçici sinyallerin hesaplanması için etkili bir yöntemdir. Öte yandan, WT hem zaman hem de frekans bilgisi sağlayabilir, dolayısıyla geçici bilgiyi hata akımından alabilir. [84] 'te verilen yöntem, gerilim ve akım, gerilimin genliği ve türevi faktörlerine dayanmaktadır. Dalgacık yöntemleri, DC mikroakımların korunması için akıllı yaklaşımlarla bağlanabilir. Akıllı yöntemler, AC güç sistemlerinde yaygın olarak kullanılır. Bu yöntem hızlı Fourier dönüşümü gerektirir; bu nedenle, DC sistemlerinde kullanılamaz, ancak [85] 'de gerilim ve akımın örneklenen büyüklüğü yapay sinir ağlarına (YSA) gönderilir. Tipik olarak, YSA'nın giriş verileri arıza sonrası dalga formu bilgisinden alınır. Belirtildiği gibi, DC mikro şebeke korumalarındaki ana zorluklardan biri, hızlı ve uygun maliyetli bir hata engelleme yöntemi seçmektir [86]. Dolayısıyla, özet olarak, koruma şeması şunları içermelidir:

- Yüksek dirençli arızaları tespit etmek
- Hızlı koruma yöntemi
- Arıza bölümünü yalıtım
- Uygun maliyetli
- Topolojinin değiştirilmesinde uyarlanabilir
- Yenilenebilir kaynakların dinamiklerini göz önünde bulundurmak

Tablo 3.4'de, bahsedilen yöntemlerin avantajları ve dezavantajları tanıtılmıştır. Tablo 3.5, DC mikro-şebeke koruma yöntemlerinin hızını, seçiciliğini, güvenilirliğini ve fiyatını karşılaştırmaktadır.

### 3.9. DC Mikroşebeke Koruma Cihazları

Şu anda, DC mikro şebekeleri için ticari olarak temin edilebilen koruma cihazları (PD'ler) sigortalar ve devre kesicilerdir [87]. Tipik olarak, hatanın tespitinden sonra, hata bölümünü izole etmek için bir koruma cihazı gerekir. Ayrıca, DC arıza akımının

niteliğine ve çapraz sıfır noktalarının olmamasına bağlı olarak, AC ekipmanı DC sistemlerinde kullanılamaz. Sıfır geçişi, DC güç sistemi teknolojilerini uygulamak için hala bir zorluktur. Neyse ki, bu zorlukların aşamalı olarak üstesinden gelinmesi gerekmektedir.

PD'ler DC, sigortalar [88], röleler ve DC CB'ler [89] ve anahtarlar [90] gibi aktüatörler kullanır. Ayrıca, bu cihaz hatların endüktans ve kapasitansındaki farklılıkları göz önünde bulundurarak DC sistemlerine uygulamak için optimize edilmiştir.

### **3.9.1. Sigortalar**

Arıza sırasında sistemi korumak için güç sistemine bir sigorta uygulanır. Sigortalar, devre içindeki sigorta bağlantısını eriterek koruyan en geleneksel koruma cihazlarıdır . Sigortanın ana kısmı, sistemi korumak için güç hattı ile seri olarak kullanılan bir bakır veya gümüşdür ve arıza sırasında ve/veya akımı artırmak, arıza akımının ısıyı sigortayı eritir. Bu nedenle sigortası sistemde açık devre bir cihaz olacaktır [ 109]. Sigortalar hem AC hem de DC sistemler için geçerlidir. DC sistemlerinden farklı olarak, AC sistemlerindeki değerler RMS değerleri cinsinden belirlenir. Bununla birlikte, koruma zamanı ve arıza akımının zaman sabiti üzerindeki kısıtlamalar göz önüne alındığında, sigortalar uygulamaya göre özenle seçilmiştir.

Sigortalar iki tipe ayrılır: hızlı etkili ve zaman gecikmeli sigortalar [91]. Zaman geciktirme sigortaları daha yüksek ani ve aşırı akım uygulamalarında kullanılır, ancak hızlı etkili sigortalar, korumaları için dönüştürücülerle seri olarak uygulanmaya uygundur. [92] 'de, DC motorunu DC güç sisteminde korumak için bir sigorta kullanılır ve DC güç sistemi parametrelerinin sigorta çalışması üzerindeki etkisi araştırılır. Bu nedenle, temizleme süresi motor zaman sabitine, besleme empedansına ve sigortaların sayısına bağlıdır. Sistemde birkaç sigorta kullanılıyorsa, aralarındaki enerjiyi paylaştığı için tüm sigortaların temizleme süresi değişecektir. Röle ve sigortalarla donatılmış şebekelerde, röle ve sigortaların birbiriyle koordine edilmesi gerekir. AC mikro şebekelerinde sigorta seçimi, arızaları kesmek için 10 ila 100 ms [93] arasında bir ihtiyaç gerektirir, ancak DC mikro şebekelerin yapısı nedeniyle DC olanlar yaklaşık 0,5 ms'ye ihtiyaç duyarlar. Öte yandan, AC sigortaları arıza bölümünü izole etmek için çok yavaş olabilir, bu nedenle [94] 'de DC güç sistemlerinde kullanım

Tablo 3.4. Koruma yöntemlerinin avantajları ve dezavantajları

Koruma yöntemi	Üstünlük	Dezavantaj
Mesafe koruması	Basit algoritma	daha fazla hassasiyet genellikle yedek birimlere ihtiyaç duyar kısa hatlarda sınırlı doğruluk
aşırı akım koruması	basit algoritma arıza kesme yönteminde uygulanabilir	sadece düşük ve orta gerilim diğer şemalarla kullanılmıy veya seçicilik sağlamak için iletişim bağlantıları mevcut yönü tespit etmek için doğru & hızlı yöntemler gerektirir yüksek empedanslı arızaları tespit edemiyoruz
olay tabanlı koruma	şema yüksek hız gerektirmez iletişim ve senkronizasyon daha az veri aktarır daha az ölçüm ekipmanına ihtiyaç duyar	yüksek dirençli arızalarda doğru arıza sınıflandırması koruma arızası olasılığını artırmak
handshaking koruma	HVDC ve MVDC'de güvenilir lokalize uygun maliyet	shut down the network çok sayıda kaynağı olan ağlar için uygun değildir
dalgacık	arıza tespitinde etkili hibrit bir yöntem olarak kullanılabilir	küresel bir konumlandırma sistemine ihtiyaç var yüksek örnekleme hızına sahip veri toplama ögeleri gerektirir
ANN	diğer yöntemlere kolayca bağlanabilir doğru ve sağlamlık	eğitilmiş ağ yalnızca sistem üzerinde çalışılan duruma özgüdür
iletişim tabanlı koruma	kesin koordinasyon röleleri için geçerlidir herhangi bir karmaşık algoritmaya ihtiyaç duymaz	iletişim hatlarında gecikme DC ağları için standart protokollerin eksikliği iletişim hataları sırasında yedekleme koruması gerektirme gültüden etkilenebilir

için hibrit bir sigorta olabilir. Bir pyro anahtarı ve sigorta birbirine bağlanır ve pyro anahtarı iletim yolunu yapar ve sigorta hatayı temizler.

Ayrıca, bu yöntem yalnızca LVDC sistemlerine uygulanabilir. Ayrıca, bir sigorta sınıfı seçmek, DC sistemlerinde zor bir iştir. Bir DC / DC dönüştürücüyü korumak için sigorta değeri [95] arasından seçilir. Sigorta derecesinin diğer koruma sistemlerinden daha düşük olması gerektiği ve sigortanın nominal erime değerinin uygun değerden yüksek olması durumunda, sigortanın arızayı kısa sürede ortadan kaldırmaması durumunda dönüştürücüler zarar görür.

### **3.9.2. DC devre kesiciler (CB)**

Hatalardan sonra izolasyon sistemi için en önemli cihazlardan biri DC CB'dir, ancak bu mevcut cihazlar koruma gereksinimlerini tamamen ve mükemmel bir şekilde karşılayamaz. [96, 97] 'da çeşitli DC CB'ler önerilmiştir. Mekanik DC CB'ler paralel rezonans devresi [96, 98] olan geleneksel bir AC CB'den yapılmıştır, ancak temizleme zamanları DC mikroşebekeler için uygun olmayan 30 ila 100 ms arasındadır . Öte yandan, katı hal DC CB'ler MVDC ve yüksek voltajlı DC (HVDC) sistemleri için uygundur. CB hemen arızayı keserse, sistem voltajdaki dalgalanma ve CB'de büyük enerji emilimi ile karşı karşıya kalabilir [99]; ayrıca, kalıplanmış devre kesiciler (MCCB'ler) ve vakum CB'leri, DC mikro gruplarındaki SC akımlarını azaltabilir ve sınırlayabilir [100]. Geleneksel kalıplanmış devre kesici (MCCB), mevcut DC sistemlerinde henüz en yaygın koruma cihazlarıdır. MCCB'nin açma aleti, termal manyetik veya elektronik olabilir, böylece derecelendirmeler oldukça farklıdır.

Manyetik açma aygıtları anlık değerleri tespit ederken, termal açma aygıtları akımın RMS değerlerini algılar. Yeterli gerilim engelleme kapasitesine ulaşmak için kontaktörler her iki durumda da bir seri halinde bağlanabilir [101]. Filtre kondansatörünün kısa devre sonrası boşalma akımı çok kısa bir süre devam eden yüksek büyüklüktedir. Bu nedenle, mevcut kuvvet MCCB'lerin kontaklarını açamıyor olabilir. Sigorta ve MCCB kullanımının sınırlandırılmasını ortadan kaldırmak için güç elektroniği bazlı koruma cihazları önerilmiş ve geliştirilmiştir. [99] 'de bir DC CB teklif edildi ve blokaç gerilimini artırmak için birçok vana cihazı ve durdurma devresi birbirine seri halinde bağlandı ve hata bir serbest dönme diyodu tarafından atlandı. Bu



şema hataları hızlı bir şekilde giderebilir, ancak bu şema sadece HVDC sistemlerinde uygulanabilir.

Ayrıca, [102] 'de önerilen bir hibrid DC CB, akım sınırlama için reaktörler, mekanik kontaktörler ve bir dönüştürücüden oluşur. Bu yöntem LVDC için hızlıdır ve daha yüksek gerilimlere uygulanabilir ve ayrıca bu yöntemin sabit durum kaybı sıfırdır. Ek olarak, son zamanlarda, Z kaynaklı DC CB'lerin DC mikro şebekelerinde hatayı hızla kesmesi önerildi. Bu CB, kritik arızalar için doğal komütasyona dayalı olarak çalışır [103]. Büyük arıza akımları sırasında, Z-kaynağı CB, kapasitörlerden geçen arıza sırasında akımın bir kısmını oluşturur ve kontrollü doğrultucuda bir akım sıfır geçiş noktası zorlar. Doğrultucuda sıfıra ulaştıktan sonra hatalı kısım izole edilecektir. Bu yöntemle ilgili sorun, Z kaynaklı CB'lerin bileşenleri yalnızca büyük hata akımlarına karşı yalıtması ve aşırı yük koruması için kullanmamasıdır. [104] 'te, hatalı bölümü hızlı bir şekilde izole eden ve LVDC ve MVDC mikroşebekelerindeki hatayı giderebilen DC mikro şebekesine bir Z kaynaklı DC CB uygulanmıştır.

### **3.9.3. Anahtar**

CB'ler ile karşılaştırıldığında, anahtarlar birkaç mikrosaniye içindeki hatayı kesebilir ve aşırı akımı algılayabilir ve akımı sabit bir değerle sınırlayabilir veya akımı hemen sıfıra zorlayabilir. Anahtarlar, gemi, konut ve diğer LVDC ve MVDC uygulamaları gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir.

[105] 'te yüksek hızlı AC anahtarları LVDC mikro şebekeleri için dönüştürüldü ve 500 A arıza akımını temizleyebilir ve hatanın enerjisini ve gerilimini bastırabilir. Farklı tipteki anahtarların farklılıklarına ve sınırlamalarına dayanarak, son yıllarda yeni bir güç anahtarı geliştirilmiştir. LVDC sistemlerinde, en yaygın katı hal CB'leri veya anahtarları IGBT'ler ve metal oksit yarı iletken alan etkili transistörleridir (MOSFET'ler). DC sistemlerine uygulanan MOSFET'ler <1200 V aralığındadır, ancak hızları yüksektir ve yüksek durum direnci nedeniyle, MOSFET'lerde yüksek voltaj düşüşü vardır ve sonuç olarak yüksek akım koşulları altında yüksek kayıp olur.

[106] 'de, daha yüksek bir voltaj kazancı sağlamak için DC mikro şebekede bir voltaj hücresiyle bir dönüştürücü entegre edilmiş, ayrıca sistemin korunması için MOSFET'i

açan dönüştürücü için yardımcı bir anahtar kullanılmıştır. Ayrıca, sistemin güvenilirliğini arttırmak için MOSFET tabanlı bir DC CB önerilmiştir [107] ve hatta koruma cihazının geçici davranışına bağlı olarak gecikme zamanı değişikliklerini temizlemek için bir yol önerdi, bu değişken zaman koruma aktüatörünü farklı arıza koşullarında daha güvenilir hale getirir. Öte yandan, IGBT'ler MOSFET'lerin kazanç ve hız gibi birçok özelliğini geliştirdi. diğer katı hal CB'leri, IGBT'ler diğer cihazlardan daha az harmonik üretir ve daha ucuzdur [108]. Bununla birlikte, IGBT'lerin dezavantajı, tek yönlü koruma aktüatörleri olmalarıdır, bu nedenle, IGBT'ler yalnızca DC hattındaki hataları temizleyebilir ve dönüştürücü tarafındaki fayı etkileyemez [109]. Özetle, IGBT'ler hızlı bir temizleme süresi sağlar, ancak IGBT'lerin kayıpları yüksektir [110, 111]. Ayrıca, Emitter turn-off (ETO), yüksek frekans, yüksek güç ve yüksek hızlı arızalar için uygun olan yüksek güçlü bir anahtardır [111]. Bir ETO bir kapı kapatma (GTO) ve bir verici anahtarından oluşur ve arızalar sırasında GTO mekanizması, hatanın ETO tarafından temizlenmesine neden olur.

Bu cihaz gerçekten hızlıdır ve DC mikroşebekelerdeki hataları  $10\mu s$ 'de temizleyebilir. [112] 'de, bir MVDC sistemi bir ETO ile korundu ve hatalar  $< 4\text{ msn}$ 'de giderildi. Bununla birlikte, ETO sistemde bir kayba neden olabilir [113]. Buna göre ETO'nun şebekedeki uygulamaları [114] 'te tartışılmıştır. IGBT dezavantajlarını iyileştirmek için IGCT cihazı önerilmiştir. IGCT'lerin kayıpları IGBT'lerden daha düşüktür ve MVDC mikroşebekeleri için uygundur [115]. [116] 'de, bir DC mikro şebekeye bir IGCT bazlı koruma sistemi uygulanmış ve ters blokajlı IGCT (RB-IGCT) olarak kullanılmıştır. Bu nedenle, koruma yöntemi akımın iki yönlü davranışını dikkate alarak hatayı temizleyebilir. Ek olarak, IGCT'nin artan hızı nedeniyle [117] 'de DC koruması için bir hibrit koruma yöntemi önerilmiştir. Bu yöntem mekanik bir anahtar, iki paralel IGCT, dört diyot ve bir metal oksit varistörü (MOV) içerir. Diyotlar, cihazı her iki yönde de arızaları temizleyebilir hale getirebilir.

#### **3.9.4. Kesicisiz anahtar**

Kesicisiz Anahtarın İngilizcesi Solid State or Hibrit Circuit breaker dir. Filtre kondansatörünün kısa devre sonrası boşalma akımı çok kısa bir süre devam eden yüksek büyüklüktedir. Bu nedenle, mevcut kuvvet MCCB'lerin kontaklarını açamıyor

olabilir. Sigorta ve MCCB kullanımının sınırlandırılmasını ortadan kaldırmak için güç elektroniği bazlı koruma cihazları önerilmiş ve geliştirilmiştir. Bunlar genellikle katı hal devre kesicilere (SSCB) [118, 119] ve hibrit devre kesicilere [120, 121] atıfta bulunur. Yalıtımlı geçit iki kutuplu transistörler, yalıtımlı geçit komütasyonlu tristörler ve geçit kapatma tristörleri gibi yarı iletken cihazlar, bu yeni koruma cihazlarının özelliklerini belirleyen en önemli bileşenlerdir. Bu cihazlarda daha fazla güç kaybı olsa da sıkı koruma gereksinimlerini karşılamak için uygun bir yöntem olabilir. Bu tipik elektronik tabanlı devre kesicilerin karşılaştırması Tablo 2.5'te verilmiştir [122]. Referans [123], güvenilirlik, güç kayıpları ve farklı DC kesicilerin ilgili yatırım maliyetleri gibi teknik parametreleri araştırmış ve katı hal devre kesicinin en iyi toplam performansı gösterdiği sonucuna varmıştır. Hibrit mekanik ve katı hal devre kesiciler pratikte mevcut değildir. Mekanik pasif veya aktif rezonans devre kesicileri, CSC HVDC'de özel olarak uygulanır [124]. Bu nedenle, MVDC uygulamaları için SSCB mevcuttur ve teknik olarak uygulanabilir, SSCB ve hibrit katı hal DC devre kesiciler DC mikroşebekeler için uygundur. Nispeten yüksek iletken kaybı, SSCB'nin ana dezavantajı olmaya devam etmektedir, bu nedenle SSCB yarı iletkenlerin seçimi önemli bir tasarım faktörüdür [125]. 2011 yılından bu yana, AG ve OG SSCB'lerin oluşturulmasında SiC JFET / SIT tanımlandı ve uygulandı ve iletkenlik kayıpları önemli ölçüde azaldı [126, 127]. Mekanik ayırıcılı hibrit katı hal DC devre kesicisi, ultra hızlı ve verimli bir koruma çözümü sunar [128].

Geliştirilmiş topoloji ile, tek bir 15 kV SiC ETO cihazına dayanan 2 ms, 10 kV sınıfı bir hibrid DC devre kesici prototipi [129] 'de sunulmuştur. Bu arada, yarı iletken teknolojisinin geliştirilmesi, hibrit DC devre kesicilerini yeni bir seviyeye iter. Sonuç olarak, DC Mikro Bus lar için DCCB'lerin gelişmeleri öncelikle topoloji yapısına ve güç elektronik cihaz seçimine odaklanmaktadır.

Arızaların giderilmesi için bir başka yaklaşım, arızayı giderici ekipman olarak dönüştürücüler kullanan kesicisiz bir yöntemdir [130]. Koordinatörler ve mekanik yükleniciler, geleneksel CB'leri kullanmadan hızlı bir DC hata giderme yöntemi yapabilir [131]. [132] 'te MVDC denizcilik sistemleri için kırıcı-olmayan bir yaklaşım önerildi. Bu yöntemlerde, bir dönüştürücü DC hata akımını kontrol edebilir ve bir DC hata geçiş yöntemi [133] kullanarak yüklere kesintisiz güç üretebilir. [9] 'de, bir sistemi

Tablo 3.5. Tipik koruma cihazlarının karşılaştırılması

Parametre	Tam katı-hal Devre kesici	Hibrit solid-state - mekanik ayırıcı CB	Hibrit mechanical and solid-state CB	Mekanik pasif yada aktif rezonans CB
<b>Kesinti zamanı</b>	< 1ms	< 2ms	< 5 – 30ms	< 60ms
<b>Max <math>U_n</math></b>	< 800kV	120kV verified by test (up to 320kV achievable)	AC circuit breakers > 500kV ultrafast-switches < 12kV	< 550kV available
<b>Max DC Kesmesi Akım <math>I_n</math></b>	5kA expected	9kA experimentally proven (up to 16kA expected)	Up to 4kA proven in 6 – 12kA (estimated)	operation (up to 8kA possible by active resonance)
<b>VSC konvertöre göre beklenen güç kaybı</b>	< 30% (large forward voltage due to serial connection of solid-state devices)	< 1% (only few IGBTs in series in the main path)	< 0.001% (metal contacts)	< 0.001% (metal contacts)
<b>Sonraki gelişim adımları</b>	development in solid-state device tech. to reduce on-state forward voltage and number of modules in series	Field experience with prototype in a test grid; reduction of IGBT costs	development of ultra fast-mechanical drive to reduce communication time	DC arc chamber optimizing for passive resonance to achieve higher current rating and to minimize time for current zero creation

korumak için kesicisiz bir yöntem uygulanmıştır. Bu yöntem, yerel bilgileri kullanarak düşük ve yüksek empedanslı hataları tespit eder. Bu yöntem, lokal bilgileri kullanarak düşük ve yüksek empedanslı hataları tespit eder. Buda DC / DC dönüştürücüler için kesicisiz DC sistemlerinin istendiğini vurgular. Avantajlarına rağmen, bu yöntemin bazı dezavantajları vardır. Tüm DC mikro şebekeleri bu yöntemle korunamaz, çünkü bu yöntem hata akımı için bazı özel yollar gerektirir [134]. Ek olarak, bu yöntem seri cihazlarda zorluk çekmektedir, yani kademeli bir arızaya neden olabilir. Sonuç olarak, PD'ler ve aktüatörler arasındaki kısa bir karşılaştırma Tablo 4'te verilmiştir.

### **3.10. DC Mikroşebekelerinin Farklı Parçalarının Korunması**

DC mikro şebekeleri, arızalar sırasında farklı davranışlar gösteren birkaç parçaya sahiptir. Bu nedenle, PV, WT, akü ve yüklerin tüm özelliklerini göz önünde bulundurarak kapsamlı bir koruma yöntemi önermek için önemlidir. Bu nedenle, bu bölümde, her bir parçanın koruma yöntemleri veya özel davranışları tanıtılmaktadır.

#### **3.10.1. PV koruma yöntemleri**

Arıza sırasında, PV, invertör tasarımına bağlı olan hatalı bölüme bir arıza akımı enjekte eder [135]. Birçok invertörde hata akımı sınırlayıcıları vardır ve akım, invertörün maksimum akım hızından fazla olduğunda, akımı nominal akımın iki katı ile sınırlar. Bu nedenle, PV'lerin voltaja bağlı davranışı nedeniyle, Şekil 4'teki CPL'lerle aynıdır. koruma sistemi PV'lerin davranışını dikkate almalıdır, çünkü PV'lerin yüksek penetrasyonu olan sistemlerde, farklı voltaj değerlerine sahip farklı PV'lere sahip olmak mümkündür. Ki bu PV'lerin ayrılma zamanı üzerinde etkili olabilir. [136] 'de, PV bazlı mikroşebekeler için uyarlanabilir bir eşik bazlı koruma yöntemi önerildi. Bu yöntemde, PV'nin mikro şebekeye nüfuz etmesine göre, bir PV'nin dönüştürücüsüne yönelik adaleti saptamak için parça parça kübik bir Hermite polinomu kullanılır. Ek olarak, Moore-Penrose yalancı ve Cusum yöntemine dayanan PV bazlı DC mikroşebekeler için diferansiyel akım temelli bir arıza koruması [137] 'da sunulmuştur. Bu yöntem, yüksek frekans dönüştürücü nedeniyle LVDC mikro şebekesinin PV'lerine uygulanır ki hata tespiti <100ms olan hızlı bir tespit yöntemidir.

Tablo 3.6. DCMŞ'deki Koruma Cihazlar ve Aktüatörlerin Avantaj ve Dezavantajları

<b>Cihaz</b>	<b>Üstünlükler</b>	<b>dezavantajlar</b>
<b>Sigorta</b>	<p>cheap</p> <p>can be applied in the DC systems clearing inrush and surge current applications</p> <p>can be used as a hybrid protection</p>	<p>slow</p> <p>small time constant in the SCs with a high rate of increase</p> <p>difficulty for choosing a suitable fuses &amp; coordinate with PDs</p>
<b>CBs</b>	<p>high speed CBs is fast for DC sys suitable for HVDC systems</p> <p>MCCBs can limit fault current</p>	<p>cannot use AC CBs in the DC sys needs a recovery time</p> <p>cannot protect systems in the high inductive systems</p> <p>cannot clear faults in sensitive LVDC systems</p>
<b>Şalterler</b>	<p>can be used in DC MG</p> <p>applicable in LVDC and MVDC solve limitations of CBs &amp; fuses</p> <p>the switches are fast for DC MGs</p> <p>IGBTs can withstand in high SCs</p> <p>IGCTs have low losses &amp; suitable for MVDC MGs</p> <p>ETO causes a loss in the normal operation of the system</p>	<p>IGBTs have high losses</p> <p>IGBTs are unidirectional</p> <p>MOSFETs have high voltage drop</p> <p>ETOs are so fast and applicable in both LVDC and MVDC MGs but faster in the LVDC systems</p>
<b>Kesicisiz (Breaker less)</b>	<p>uses converters for cleaning faults</p> <p>best application for DC converters</p> <p>it can be localized method</p>	<p>cannot be applied in all DC MGs</p> <p>may cause cascading faults</p>

### **3.10.2. Rüzgar türbini koruma yöntemi**

Bir DC mikro şebekesinde, arzdaki daha düşük katkı nedeniyle, genellikle WT ikincil bir kaynaktır. WT sistemleri, dönüştürücüler için tam güç derecesine sahiptir ; bu nedenle, arızalar sırasında yüksek bir hata sürüşüne sahiptirler. Bir arıza sırasında, WT terminalinin voltajı düşecek ve ardından WT'nin çıkış gücü de düşecektir [138]. WT'lerin koruma yöntemlerinden biri kazayağı korumasıdır [139], mikro şebekenin DC kısmındaki voltajı sınırlayabilir. Arıza sırasında, kazayağı koruması rotorda bir SC yapar ve rotorda başka bir akım yolu yapabilir. Bir WT'de, bu koruma yöntemi rotoru ve WT'yi aşırı akım ve aşırı gerilime karşı korur [140]. Rüzgâr hızı ve WT voltajındaki her değişiklik, mikro şebekenin DC tarafını etkileyebilir . Ek olarak, DC tarafındaki bir hata sırasında, mekanik hız artar ve WT'nin torku sıfır olur. Bu nedenle, [141] 'de hata sırasındaki DC taraf voltajını sınırlamak için bir kontrol stratejisi önerildi.

### **3.10.3. Akü koruma yöntemleri**

DC mikro şebekenin ana parçalarından biri bataryadır ve bataryaların voltaja bağlı olması nedeniyle bir koruma yöntemi gereklidir. Bir arıza sırasında, sistemin voltajı düşebilir ve sonuç olarak, bataryalar aşırı deşarj olur ve sisteme daha fazla akım enjekte eder. Ek olarak, enerji depolama sistemleri koruma yöntemini etkileyen bir koruma körlemesine neden olabilir [142]. [143] 'da koruma körlüğünü etkileyebilecek olan enerji depolama sistemlerinin temel özellikleri tanımlanmıştır. Bu çalışma, arıza empedansının kritik bir seviyeden yüksek olduğunu gösterir, aşırı akım koruma birimlerini azaltır. Ek olarak, koruma kaybını en aza indirecek bir çözüm [143] 'da önerildi.

DC mikroşebeke koruma ve yeni literatürde sunulan problemler gözden geçirildi. Ayrıntılı bir arıza analizi ve CPL'lerin DC mikroşebekeler üzerindeki etkisi sunulduğu gibi, arıza tespiti, yeri ve sınıflandırması bakımından korunmaları için temel gereksinimler tartışılmıştır.

Sunulan yöntemler, koruyucu cihazların uygun tasarımı ve DC mikro şebekelere göre yöntemler için gerekli yönergeleri sağlar ve konvansiyonel ve AC koruma yöntemleriyle karşılaştırıldı, DC için uygun bir koruma sistemi sağlamak için

değiştirilmeleri gerektiğini gösterir. DC sistem koruması için standartlar ve rehberlik eksikliği nedeniyle, daha fazla araştırma yapılması gereken bu sistemleri incelemelidir. Bu çalışma, AC sistemlerinin arıza tespitinin ve konumunun DC mikroşebekelere uygulanamayacağını ve röle PD'lerin DC mikro şebekelerde kullanım için değiştirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca, CB'ler doğrudan DC sistemlerinde kullanamaz; bu nedenle, bu alan için daha fazla çalışmaya ihtiyaç vardır. Öte yandan, mevcut koruma programlarındaki zorluklar ve zorluklar nedeniyle, DC mikro grupları aşağıdaki konularda gelecekteki çalışmalar gerektirmektedir:

AC CB'ler ve koruma yöntemleri DC mikro şebekelerde uygulanamaz; bu nedenle, koruma yöntemleri DC arızalarının ve sistemlerinin doğasına göre tasarlanmalıdır.

Koruma düzenleri, uyarlanabilir bir hata koruma algoritması sağlamalıdır. Topolojilerin çeşitliliğini göz önünde bulundurarak koruma problemlerini çözebilecek. Bağımsız olan DC mikro şebekelerinde arıza tespiti için bir yöntem geliştirmek arıza empedansı. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dinamik davranışını artırmak modellerin doğruluğu. Akım-tabanlı röleler doğrudan DC mikro-şebekelerinde uygulanamaz; dolayısıyla, bu tür röleler DC mikro şebekeler için geliştirilmelidir.

### **3.11. DCMG'de Topraklama**

Topraklama DC mikro şebekelerin korunması için kritik bir konudur. Farklı topraklama seçenekleri, farklı arıza özelliklerine sahiptir ve korumanın yapılandırmasını ve ayarını etkiler. Topraklama tasarımlarının amacı, toprak arızası tespitini kolaylaştırmak, boş akımı azaltmak ve personel ve ekipman güvenliğini sağlamaktır [87]. Önerildiği gibi, DC mikro şebekeler topraklanmamış olsalar bile yüksek dirençli veya düşük dirençli topraklanabilirler [87]. Ancak, bu topraklama alternatiflerinin hiçbiri yaygın olarak kabul görmedi. Topraklanmamış mod özellikle LV uygulamalarında şiddetle tavsiye edilmiştir [144, 145]. Bu durumda, ortak mod gerilimi personel ve ekipman güvenliği için tehlike oluşturacak kadar yüksek olamazdı. Bu arada, tek fazdan toprağa arıza oluştuğunda sistem sürekli olarak çalışabilir. Bununla birlikte, başka bir kutudaki muhtemel bir ikinci topraklama arızası hattan arızaya neden olabilir ve tüm sisteme ciddi hasar verebilir [146].



Kaçak akımın neden olduğu korozyon nedeniyle katı topraklama nadiren benimsenmiştir [87]. Düşük dirençli topraklama ile karşılaştırıldığında, yüksek dirençli topraklama, toprak arıza akımını sınırlar, böylece sistem bir arıza sırasında çalışmaya devam eder, ancak hatanın tespiti ve yeri çok daha zor hale gelir. Ayrıca, topraklanmak üzere seçilen sistemin noktası, ortak DC bağlantısının orta noktası, artı veya eksi kutbu olabilir [147]. Bu konuda [148], toprak potansiyelini en aza indirmek ve tüm sistemin güvenliğini arttırmak için orta nokta topraklamasını önermektedir. Bir AC güç sistemine benzer şekilde, IEC 60364 standardı, Şekil 5'te gösterilen üç topraklama stratejisini (TN, IT ve TT) belirler. TN sistemleri tipik olarak düşük empedans topraklıdır, hat arızasının tespit edilmesi kolaydır, ancak dokunma voltaj inanılmaz derecede yüksek olabilir.

Her ne kadar DC mikro şebeke kavramları çeşitli literatürlerde çok iyi tartışılmasa da DC mikro şebeke güvenliği gibi bazı konular hala çözülememiştir ve DC mikro şebeke teknolojisini gelişmiş bir olgunluk aşamasına götürmek için daha fazla dikkat edilmesi gerekmektedir. Düşük voltajlı bir DC mikro şebekesi normal olarak mikro şebekedeki gücün kullanılabilirliğini arttırmak için bir AC şebekesi ve / veya diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile arayüzlenecek şekilde tasarlanmıştır. Bir DC mikro şebeke sistemi için uygun bir topraklama konfigürasyonu seçimi, AC muadilinden çok daha karmaşıktır. Çeşitli makaleler [149–151] DC şebeke sistemleri için olası topraklama stratejileri hakkında tartıştılar. Ancak, birçoğu AC şebeke sistemi tipini ve özelliklerini dikkate almadan DC sistem topraklamasına odaklandı. Birkaç makale, DC mikrogrid sistemindeki AC şebeke topraklama konfigürasyonunun önemini vurgulamıştır [152, 153]. [152] 'da AC şebeke tarafındaki bir TN ağının ve DC bus tarafındaki yalıtılmış bir topraklama yapılandırmasının, PWM aktif ön uç dönüştürücüler tarafından üretilen ortak bir mod voltajı nedeniyle yüksek nötr voltaj dalgalanmasına neden olabileceği belirtildi. Bu durum, dalgalanma, DC şebeke sistemindeki aynı DC baraya bağlı tüm aşağı akışlı dönüştürücülerden geçtiğinde daha da kötüleşir. Yüksek voltaj dalgalanmaları, aynı DC veri yoluna bağlı dönüştürücüler içinde döngü / dolaşım akımı oluşturur ve ayrıca sistemin topraklamasını da etkileyebilir. Yüksek dolaşım akımı, tartışıldığı gibi bir DC şebeke sisteminin tasarımında zorlu bir mesele haline gelir. [153] 'te, bu konu DC şebeke sisteminde izole topraklama planı yerine Yüksek Dirençli

Topraklama (HRG) kullanılması önerisiyle daha da analiz edilmiştir. Bununla birlikte, her iki çalışmada AC şebeke tarafında sadece TN ağları olarak kabul edildi.

Farklı AC şebeke topraklama konfigürasyonlarının derinlemesine bir genel bakışını ve ardından hem izole edilmiş hem de izole olmayan mikro şebeke sistemlerinde bunların DC topraklama şeması üzerindeki etkilerini detaylı olarak göstermektedir. Son olarak, yaygın olarak kullanılan ACDC dönüştürücü topolojilerindeki arıza akımı yolları, AC şebeke sistemleriyle bağlantılı DC şebekelerinde ele alınmıştır.

### **3.11.1. Sistem açıklaması**

DC mikro-şebeke sistemi normal olarak ACDC güç dönüştürücülerinden AC şebekesiyle arayüzlenir. Sistemin AC tarafında, sistemi orta gerilim (MV) AC ağına bağlayan bir kademeli dağıtım transformatörü vardır. AC-DC güç dönüştürücü topolojisinin seçimi, örneğin tek yönlü (diyot doğrultucu tabanlı topoloji) veya çift yönlü (aktif ön uç) güç gücü gibi uygulama gereksinimine bağlıdır. Bu güç dönüştürücü topolojilerinin EMC ve harmonik gereksinimlerini karşılaması gerekir. Bu nedenle, bu konvertör sistemleri AC hattı tarafında ve / veya DC bus tarafında düşük ve yüksek frekans filtreleriyle donatılmıştır. DC-link kondansatörü, bu topolojilerdeki DC-link voltajını pürüzsüzleştirmek ve düzenlemek için kullanılır. Dağıtılmış üretim kaynaklarının ve yüklerinin sayısı, Şekil 18'de gösterildiği gibi DC veriyoluna bağlanır. AC şebekesi, uygulama gereksinimlerine ve özel düzenlemelere [154] Bağlı olarak TN, TT ve IT gibi farklı topraklama / topraklama yapılandırmalarına sahip olabilir. AC topraklama konfigürasyonları aşağıdaki alt bölümlerde kısaca açıklanmaktadır.

### **3.11.2. AC şebeke topraklama düzenlemesi**

IEC 60364 standardına göre [154], Alçak gerilim AC şebekesi sisteminde üç topraklama düzenlemesi ailesi vardır. Yüksek Dirençli Topraklama (HRG) da uygulanabilir bir seçenek olarak bilinir ve aşağıda tartışılacaktır. Topraklama düzenlemeleri: (a) TN Topraklama Sistemi TN topraklama sisteminde, 3 fazlı bir sistemdeki jeneratör veya transformatör yıldız noktası doğrudan toprağa bağlıdır ve bir tesisatın tüm açık metalik (iletken) parçaları transformatör tarafındaki bu toprak bağlantısı üzerinden toprağa bağlanır.

Transformatörün yıldız noktasını toprağa bağlayan iletkene Nötr (N) denir ve bu, tek fazlı yükler için bir dönüş akımı yolu olarak kullanılır. Tüketici elektrik ekipmanının açıkta kalan iletken parçalarını toprağa bağlayan iletken Koruyucu Toprak (PE) olarak adlandırılır. N ve PE, TN ağlarında aşağıdaki gibi farklı yapılandırmalara sahip olabilir:

- TN-S: Şekil 1'de gösterildiği gibi, Nötr ve sistem aracılığıyla dışarı ayrılmış olan 19 (a).
- TN-C: N ve PE fonksiyonları, Şekil 19(b)'da gösterildiği gibi, sistem boyunca tek bir iletken içinde birleştirilir.
- TN-CS: Sistemin bir kısmı, Şekil 19 (c) 'de gösterildiği gibi TN-C düzenlemesini (esas olarak trafodan binaya) ve daha sonra aşağı montajda TN-S düzenlemesini kullanır.

Her TN konfigürasyonunun artıları ve eksileri vardır. Örneğin, bir TN-C sistemi hem N hem de PE terminalleri için tek bir iletkenin kullanılması nedeniyle maliyet etkindir, ancak TN-S sistemine kıyasla düşük bir EMC performansına sahiptir.

#### (b) TT Topraklama Sistemi

Bu sistemde, besleme kaynağı veya transformatör toprağa doğrudan bir bağlantıya sahiptir ve ekipmanın iletken parçaları bir yerel toprak elektrotu tarafından sağlanan PE'ye bağlanır ve Şekil 20'de gösterildiği gibi transformatör topraklamadan elektriksel olarak bağımsızdır (a). TT topraklama düzenlemesi, sistemin EMC performansı için çok etkilidir. Tesisattaki diğer ekipman tarafından üretilen girişimin iletken yolunu azaltır.

#### (c) IT Topraklama Sistemi

Bu sistemde, besleme kaynağı veya transformatör topraktan izole edilmiştir ve ekipmanın tüm açık iletken parçaları, Şekil 3.16 'de gösterildiği gibi yerel bir toprak elektrotu tarafından sağlanan PE'ye bağlanmıştır.

IT topraklama düzenlemesinin temel avantajı, arıza koşullarında kurulumun kullanılabilirliğinin artmasıdır. Birinci toprak arızası sırasında, TN ve TT ağı gibi "Katı Topraklı" sistemin aksine, IT sistemi, transformatörün nötrü üzerinden arıza akımı döngüsü için düşük empedans yolu sağlamayacaktır. Arıza akımı çok düşük kalır,

böylece koruyucu cihazlar açmaz ve işlem devam eder. Bununla birlikte, topraklama arızası sırasında sistemin geçici bir güvenlik endişesine yol açabilecek büyük bir geçici voltaj meydana gelebilir [155]. Bir BT ağı yüzer bir sistem olmasına rağmen, yine de başboş ve / veya filtre kapasitörlerine dayanarak toprağa referans verilir. Hata olmadığında, bu kaçak kapasitörler faz voltajlarına göre şarj edilir. Herhangi bir fazda arıza olursa, hatalı fazdaki şarjlı kapasitörler arıza yolu üzerinden, yani faz ile toprak arasında boşaltılır. Bununla birlikte, sağlıklı fazlardaki kapasitörler, daha sonra deşarj oldukları arıza akımı nedeniyle ters yönde şarj edilebilir.

Bu tekrarlanan şarj ve kondansatörlerin deşarjı, normal voltajın 3-4 katı gibi şiddetli salınımlara neden olabilir [23]. Böyle bir yüksek voltaj gerilimi, sağlıklı fazlardaki yalıtımı kolayca bozabilir ve ikinci bir topraklama hatasına veya olası bir faz-faz hatasına neden olabilir. İkinci topraklama arızası, devre kesicilerin anında açılmasını gerektiren büyük bir arıza akımı üretecektir.

#### (d) Yüksek Dirençli Topraklama Sistemi (HRG)

IT ağının avantajını kaybetmeden aşırı gerilim gerilimini azaltmak için olası bir çözüm, transformatörün nötrü, Şekil 3.16 'de gösterildiği gibi, yüksek direnç (R) ile nötr hale getirmesidir. Uygulamada, R değeri toprak arıza akımının kül tehlikelerini ortadan kaldırmak için sınırlı olacak şekilde seçilmiştir, ancak toprak arıza koruma sisteminin çalışmasına izin vermek yeterlidir [156, 157].

### 3.11.3. DCMŞ topraklamada AC topraklamadan faydalanmak

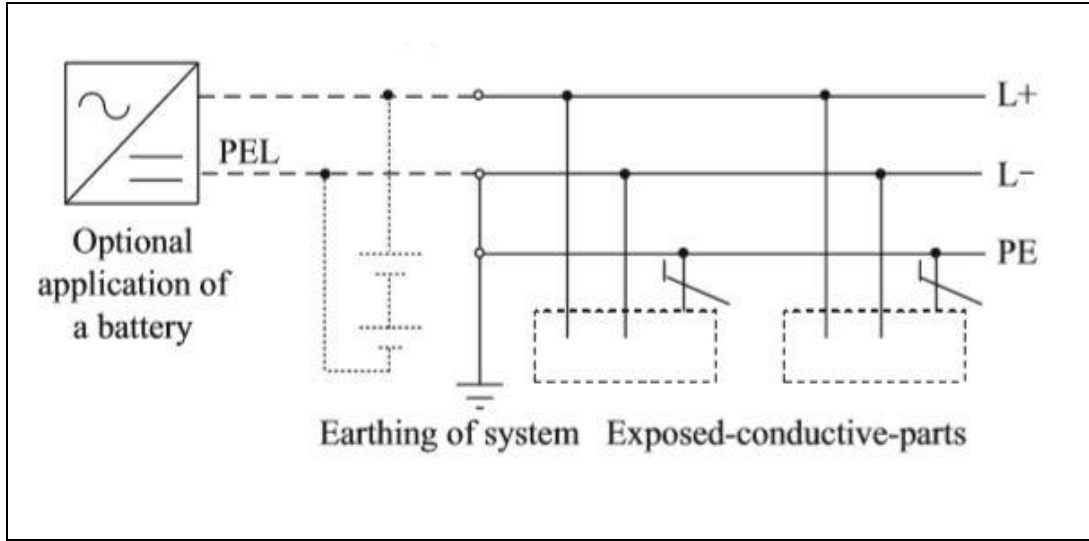
Avrupa Düşük Gerilim Yönergesi, LVD 2006/95 / EC [79] Uyarınca, DC şebekesi sistemleri, personelin güvenliğini sağlamak için pozitif veya negatif DC baraya topraklanmalıdır. DC şebeke sistemi normal olarak farklı topraklama düzenlemelerine sahip olan AC şebekeleri ile arayüzlenir (örneğin, yukarıda tartışılan TN, TT ve IT). Zemine bağlı bir DC barasının (pozitif veya negatif), sağlam bir topraklanmış (TN veya TT) AC elektrik şebekesiyle arayüzlendiği bir DC şebekesi sistemi düşünün. Bu, DC şebekesi AC sisteminden düşük veya yüksek frekanslı bir transformatör kullanılarak elektriksel olarak izole edilene kadar sistemin normal çalışmasını önleyecek olan toprakta kalıcı bir kısa devre hatası yaratacaktır (Şekil 21 (a) 'da gösterilmiştir). Şekil 21'de gösterilmiştir (b ve c). Yukarıdaki tartışma, izole edilmemiş DC şebeke

sisteminde uygun bir topraklama düzenlemesi seçimi için göz önünde bulundurulması gereken AC şebeke topraklama sisteminin önemini vurgulamaktadır [158]. Yalıtılmış bir DC şebeke sisteminde bile, bir hata durumunda akım şokunun ciddiyeti, DC şebeke sistemindeki topraklama düzenlemesinin tipine bağlıdır. Bu nedenle hem izole edilmiş hem de izole edilmemiş DC şebeke sistemleri için farklı topraklama şemalarının performansını arıza koşulu altında analiz etmek önemlidir.

Bir DC mikro şebeke sistemi, AC-DC dönüştürücü (örneğin AC şebeke arayüzünde) ve DC-DC güç dönüştürücüleri gibi çeşitli güç dönüştürücülerinden oluşur (RES, DC yüklerde ve ESS'de). Bu güç dönüştürücüler, EMI filtrelerindeki yüksek frekanslı ortak mod kapasitörlerinden ( $C_{cm}$ ) ve diferansiyel mod kapasitöründen ( $C_{dm}$ ) oluşur. Ortak mod kapasitörleri, izole bir DC şebeke sisteminde bile sistemin normal çalışmasını etkileyebilecek arıza akımları için bir akım yolu sağlayabilir. Farklı DC topraklama şemalarını analiz etmek için, önce bu güç dönüştürücülerindeki olası ortak mod toprak yolunu ele almak önemlidir.

#### **3.11.4. AC-DC dönüştürücü topolojisi hata akım yolları**

Kısım II'de tartışıldığı gibi, DC şebeke sistemini belirli uygulama gereksinimlerine dayanarak AC şebeke ile arayüzlemek için kullanılacak çeşitli AC-DC dönüştürücü topolojileri vardır. Bu güç dönüştürücü topolojilerinin çoğunda gerekli düzenlemeleri yerine getirmek için bir EMI filtresi gereklidir. Dahası, bu EMI filtreleri, arıza akımının zeminde ve böylece tüm sisteme dolaştırılması için bir akım yolu sağlayan ortak mod kapasitörlerinden oluşur. Bu nedenle, arıza akımı yolunun EMI filtreleri ile ele alınması önemlidir. Bu alt bölümdeki tartışma yalnızca iki en popüler dönüştürücü topolojisi diyot doğrultucu ve aktif ön uç ile sınırlıdır. Ancak, benzer şekilde ele alınabilecek birtakım topolojiler de vardır. Bir diyot doğrultucu topolojisi, Şekil 22 (a) 'da gösterildiği gibi AC hattı tarafında ve DC bağlantı tarafında ortak mod birleştirme kapasitörleri gerektirir. Benzer şekilde, aktif ön uç topolojisinde EMI filtresi, uygulamalara bağlı olarak (Şekil 22 (b) 'de gösterilen) hat tarafında ve / veya DC tarafında bir bağlantı kapasitörüne ihtiyaç duyar. Bununla birlikte, birleştirme kapasitörünün yerleştirilmesi EMI filtresinin tasarımına bağlıdır. Bu bağlantı kapasitörleri, arıza durumunda, hattan toprağa, akımın kapasitör ve topraklama sistemi



Şekil 3.14. Tek kutuplu DC mikro şebekeler TT topraklama sistemi

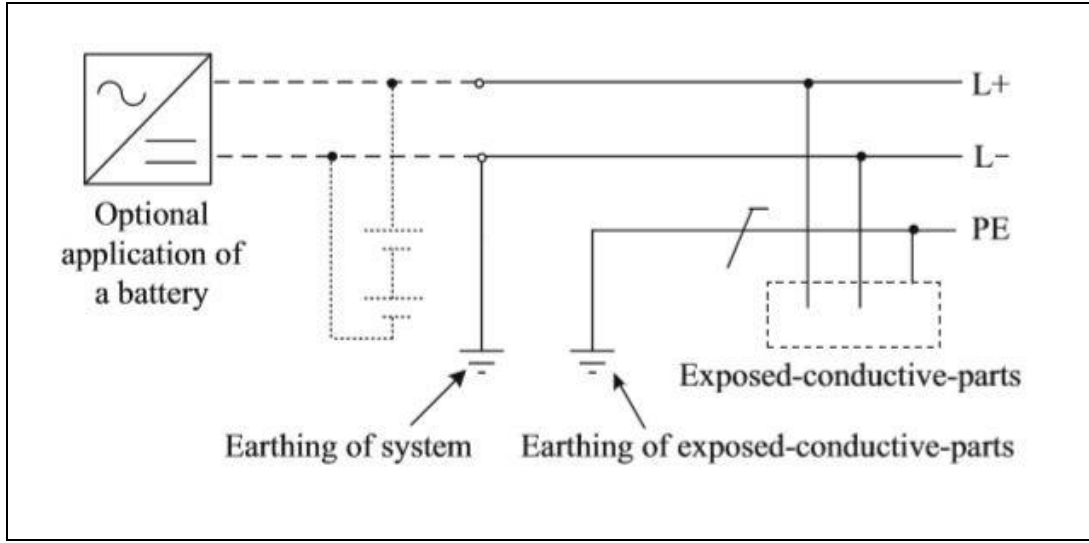
boyunca dolaştırılabileceği arıza akımı için düşük bir empedans yolu sağlar.

### 3.11.5. DC mikroşebeke’de olası topraklama düzenlemesi

Bu bölümde, en popüler üç AC şebekesi topraklama düzenlemesinin (TT, TN ve IT), DC şebekesi sistemindeki olası topraklama şemalarını güvenlik ve koruma bakış açıları açısından araştırdığı düşünülmüştür.

#### (a) AC Şebekesi: TT Ağı

DC mikroşebeke sistemindeki topraklama düzenini analiz etmek için genel genelliğini kaybetmeden basitleştirilmiş üç fazlı bir sistem düşünülmüştür. Basitleştirilmiş sistemde, bir AFE dönüştürücü topolojisi kullanılmış ve Şekil 23’te gösterildiği gibi DC şebekesine sadece bir DC yükünün bağlandığı varsayılmıştır. Ayrıca, AFE topolojisinde, sadece ortak mod birleştirme kapasitörleri ilgilenmektedir. Hattan toprağa arıza koşulları altında sistem davranışını analiz eder. AFE topolojisinin, sistemde genellikle ortak mod gerilimi üreten PWM tekniğine dayandığına dikkat etmek önemlidir. Bununla birlikte, Şekil 23’teki sistemde, AFE topolojisinin ortak bir mod filtresine sahip olduğu varsayılmıştır. Bu nedenle, ortak mod filtresi toprak ve hata akımları için düşük bir empedans yolu sağlayabilir. Bir TT şebekesinde, dağıtım transformatörü, DC şebeke sisteminde katı topraklama olasılığını önleyen (Şekil 20’de gösterildiği gibi) toprağa doğrudan bir bağlantıya sahiptir. Bu gerçeğe ve yapılandırmaya dayanarak, DC şebeke sistemindeki olası bir topraklama şeması DC



Şekil 3.15. Tek kutuplu DC mikro şebekeler TN topraklama sistemi

veri yolunu izole eder. Bir insan vücudu DC barası canlı terminalleri ile doğrudan temas ederse, insan vücudundan kaynaklanan akım, Şekil 23'te gösterildiği gibi insan vücudu empedansı ve geçici akım dahil döngü empedansına dayanarak belirlenir. Akım değeri, IEC 60479-1 [159] 'de düşünülen maksimum izin verilen 35 mA seviyesinden yüksek olabilir. Elektrik boşalmasının süresi 200 ms'den daha fazlaysa, insan vücudu kalp ve solunum durmalarına neden olabilecek şiddetli bir şok alır [155]. Ayrıca, bu yüksek akım, dönüştürücünün AC tarafındaki koruyucu bir cihaz tarafından tespit edilememeli ve kesilememeli. Bunun nedeni , ana akımın, AC tarafındaki koruma sisteminden aşağı doğru olan devre boyunca sirküle edilebilmesidir. Bu nedenle, DC barasını tek başına izole ederek , arıza ve elektrik çarpması tehlikelerini ele almak mümkün değildir . Bu, sistemin DC tarafında uygun koruma cihazlarının uygulanmasını gerektirecektir. Bu nedenle, DC tarafında topraklama gerekliyse, Şekil 21 (b ve c) 'de gösterildiği gibi AC-DC arayüzünde ya düşük ya da yüksek frekanslı bir transformatör kullanılmalıdır.

#### (b) AC Şebekesi: TN Ağı

TT şebekesine benzer şekilde, bir TN-AC şebekesinde, dağıtım transformatörü toprağa doğrudan bir bağlantıya sahiptir ve bu DC şebekede katı topraklama olasılığını önler. Bununla birlikte, TN-AC şebekesinde, N ve PE iletkenleri yüklerin iletken parçalarına bağlanır. Bu gerçeğe dayanarak, TT ağı için önerilenlere benzer bir yaklaşım da bu durumda benimsenebilir. (c) AC Şebekesi: IT Ağı

Bir IT-AC şebeke ağında, dağıtım trafosu (düşük frekans veya yüksek frekans trafosu (SST)) topraktan izole edilmiştir ve TN veya TT ağlarının aksine arıza akımı döngüsü için bir yol sağlamaz. Bu, DC şebeke sistemindeki topraklama seçeneği için daha fazla seçenek sunar. Bu nedenle, DC mikro şebeke sisteminde aşağıdaki olası topraklama seçenekleri önerilmiştir:

- Yalıtımsız DC Bus Topraklaması

Bu topraklama şemasında, DC veriyollarından biri, Şekil 24'te gösterildiği gibi doğrudan toprağa bağlıdır; burada negatif DC veri yolu doğrudan toprağa bağlıdır (yeşil renkle gösterilmiştir). Bu topraklama şemasıyla, bir insan vücudu pozitif DC bus sisteminin canlı terminali ile doğrudan temas ederse, vücut akımı, insan vücudu empedansı ve geçici akım dahil olmak üzere döngü empedansına dayanarak belirlenecektir. Negatif DC barasının sağlam topraklanması, arıza akımı için düşük empedans yolu sağlayacaktır. Bu akım değeri, eğer DC link voltajı yüksekse, IEC 60479-1 [104] 'de kabul edilip izin verilen 35 mA seviyesinden çok daha yüksek olabilir.

- İzole edilmiş DC Bus Orta Nokta Topraklaması

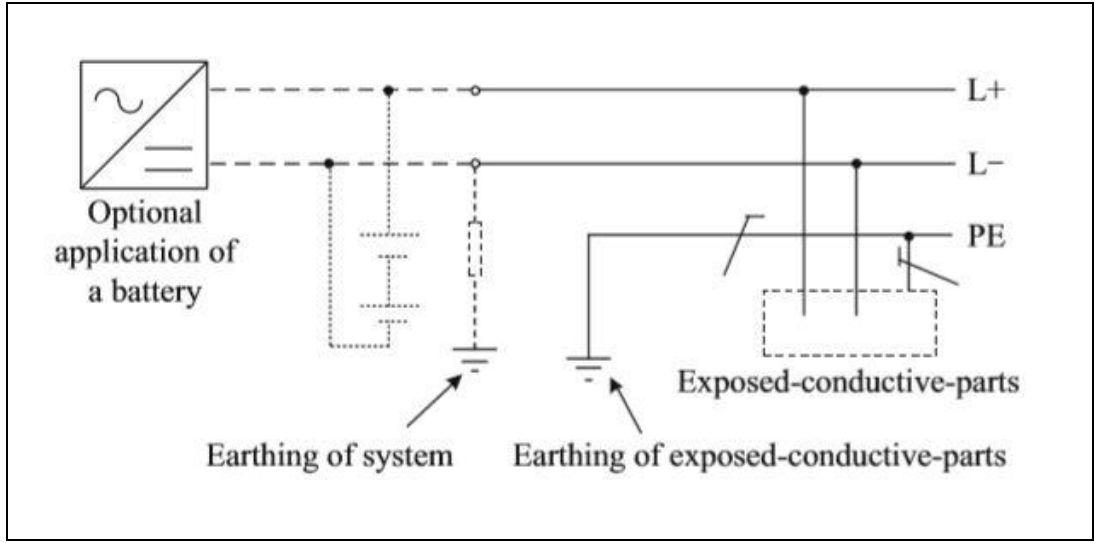
DC orta nokta topraklaması, bir bipolar DC bus sisteminde yaygın olarak kullanılan başka bir olası topraklama şemasıdır. Bir arıza durumunda, DC bus voltajının yarısı vücuda maruz kaldığı için bir insan vücudundan geçen akım azaltılabilir. DC bara orta nokta topraklama şemasındaki arıza akımı yolu, Şekil 25'te gösterilmektedir.

- İzole DC Bus Topraklaması

Arıza akımı döngüsünü kesmenin olası bir çözümü, Şekil 26'da gösterildiği gibi DC veri yolu sistemini izole etmektir. Bununla birlikte, arıza akımı hala dönüştürücü sisteme EMI filtre kapasitörleri ve DC ve AC tarafındaki diğer boş kapasitörler vasıtasıyla girebilir. Dönüştürücünün bu nedenle, izole edilmiş IT sisteminin arıza akımını doğru bir şekilde tespit etmek için hiçbir mekanizması yoktur.

Yukarıdaki tartışmalardan açıkça bellidir ki DC mikro şebeke sistemindeki topraklama düzenlemesinin seçimi, AC şebeke şebekesinin tipi ve DC bara voltaj seviyesi ve güç





Şekil 3.16. Tek kutuplu DC mikro şebekeler IT topraklama sistemi

elektroniği dönüştürücü konfigürasyonları gibi birçok faktöre bağlıdır. Bu nedenle, hangi DC mikro şebeke topraklama düzenlemesinin uygun koruma cihazlarıyla birlikte uygun olduğuna karar vermek için bir sistem değerlendirmesi gereklidir.

IT sistemleri TN sistemlerinden farklı olarak, yüksek empedans gerektirir, arıza akımı düşüktür ve algılama zorluğunu artırır. Öte yandan, TT sistemlerinin birden fazla topraklama noktası vardır ve arıza göç etmez [145]. Yukarıda bahsedilen yöntemlere ek olarak, [160] 'de otomatik bir topraklama yöntemi sunulmuştur. Şekil 6'da gösterilen diyot topraklaması, DC sistemi negatif kutbunun bir diyot aracılığıyla topraklama ile bağlantısından oluşur. Bu durumda, toprak arızası negatif kutbunda meydana geldiğinde sistem otomatik olarak topraklanmamış moda geçer. Bununla birlikte, bu tip bir sistemde, korozyon olasılığına karşı korumak için periyodik bakım gereklidir [161].

### 3.11.6. Topraklama hatası izleme tekniği

Koruma planlarına ek olarak, DC mikro şebekesi için toprak arızası izleme teknikleri de önemlidir. Yüksek dirençli topraklama arızası tespit etmek, DC sistem güvenliği için çok zorlu ve zorlu bir görevdir. Geleneksel olarak, AC enjeksiyon ve DC sızıntı yöntemleri yaygın olarak kullanılmaktadır [162]. AC enjeksiyon yöntemi, DC sistemine düşük frekanslı sinüs dalga sinyali enjekte ederek toprak hatasını izler oysa DC kaçığı yöntemi, toprak hatasını bir DC kaçak akımla doğrudan denetler. [162], farklı frekans



Topraklama arızası hesaplanırken iki bitişik trafo merkezinin voltajı ve akımı uygulanır. Direnç etkisi iletişim yardımı ile yok edildi. Şu anda, DC mikro şebekeler için etkili toprak arıza izleme teknikleri hala talep edilmektedir.

### **3.11.7. Topraklama ve koruma şeması**

DC mikroşebekeler için bir topraklama yöntemi belirlenmemiştir ve bu önemli bir araştırma konusu olmaya devam edecektir. Katı hal teknolojisi temelinde arıza akımını sınırlamak için hızlı etkili topraklama cihazlarının daha da fazla dikkat edilmesi gerekir. Ayrıca, hızlı ve doğru arıza tespiti ve izolasyonu için arıza özelliklerine dayanan yeni koruma programları gerekmektedir. Yukarıda belirtilen koruma yöntemlerinin bir dereceye kadar iyi davranmasına rağmen, yukarı ve aşağı akım cihazlarının koruma koordinasyonu gelecekte bir başka çalışma konusu olarak öngörülmektedir. Bu nedenle, tüm koruma cihazlarının koordine edilmesi ve genel koruma sistemine entegre edilmesi gerekir.

### **3.12. DC Mikroşebekelerde Güç Kalitesi**

AC şebekesi sistemlerinin harmonikler, voltaj düşmesi ve şişmesi, hat frekansı değişimi ve çarpık voltajlar / akımlar gibi bir dizi güç kalitesi sorunuyla karşılaştığı iyi bilinmektedir. DC şebekeli sistemlerde, özellikle harmonikler konusu genellikle göz ardı edilir. Bir DC mikroşebeke, öne çıkan teknolojilerden biri olduğundan, dünyanın her yerinde bir dizi araştırmacı grup bu alanda çalışmaktadır. Bu teknolojiyi araştırma aşamasından pratik uygulama aşamasına çıkarmak için harmonikler ve güç kalitesi konularına dikkat edilmesi gereken hususlar önemlidir. Literatürdeki son yayınlanan makalelerin çoğu, DC şebekelerinin geleneksel AC şebekelere kıyasla avantajını göstermektedir. DC şebeke sistemindeki güç kalitesi sorunları hakkında çok az makale tartışıldı. In DC şebeke sisteminde güç kalitesi sorunları endişe vurgulamak amacıyla, bu bölüm en yaygın endişeleri listeler. DC şebekesi adalı modda çalışabilir, ancak normal işlem sırasında gücü emmek veya iletmek için bir AC şebeke sistemi ile bir arayüze de sahip olabilir. Bu nedenle, DC mikro şebekedeki güç kalitesi sorunu dahili olarak veya AC şebeke tarafından ortaya çıkabilir. DC mikroşebeke sistemindeki en yaygın güç kalitesi sorunları:

- AC şebekeden geçici gerilim
- Rezonanslar ve güç elektroniği tabanlı dönüştürücülere bağlı harmonikler
- Elektromanyetik Girişim Uyumluluğu (EMC) sorunu
- İletişim hataları
- Kalkış akımları
- DC bus hataları
- Bipolar DC veriyolunda voltaj dengesizliği
- Dolaşan akımlar

Gerilim geçici olayları, bir şebeke şebekesinde, genellikle şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemlerindeki kapasitör bankası anahtarlaması, yük değişimleri ve güç dalgalanmaları nedeniyle sıkça karşılaşılr. Veri merkezi uygulamalarında yapılan son bir çalışma, voltaj geçici akımının DC şebekesi sistemi için savunmasız olabileceğini göstermiştir [165]. Bir DC şebeke sisteminde bir geçici olay meydana gelirse , geçici aşırı voltajın işletme voltajının sadece% 194'üne ulaşmadığı, aynı zamanda% 111'lik yeni voltaj seviyesinde stabilize edildiği bulunmuştur. Bu aynı DC veri yolunu paylaşan diğer cihazlar için çok tehlikeli olabilir [165].

Gerilim standardizasyonu ile birlikte, gerilim toleransı ve geçici gerilim bozulmalarının standart limitleri, priz, fiş ve kablo gibi bileşen üreticileri için çok önemli olacaktır. DC uygulamaları tabanlı ürünler / sistemler (USB, masaüstü bilgisayar, LED yıldırım, çekiş ve deniz gibi) çoğu, voltaj toleransı ve geçici rahatsızlıklar için zaten kendi standart sınırlarına sahiptir. Yine bu DC uygulama standartlarının çoğu, DC gücünün geleneksel kullanımına dayanmaktadır, ancak gelecekteki ortak DC ağları, dağıtılmış enerji kaynaklarının ve ESS'nin penetrasyonu nedeniyle daha karmaşık olacaktır. Bu nedenle, farklı enerji kaynakları ve yükleri arasında uyumluluğu sağlayan güç kalitesi standartlarını geliştirmek için daha uyumlu bir yaklaşım gerekmektedir.

AC-DC güç dönüştürücüsünün bulunmaması nedeniyle, DC mikro şebekeli sistemde düşük frekans harmonikleri için bir sorun olmayacaktır. Bununla birlikte, genellikle daha yüksek anahtarlama frekansında çalıştırılan DC-DC dönüştürücülerin artan kullanımı, sistemde elektromanyetik girişime (EMI) neden olabilir.

Bir DC mikro şebekesi sisteminde, dönüştürücünün her iki tarafında da DC kondansatörleriyle birden fazla PWM tabanlı konvertör kullanılır. Bu DC yan

kondansatörler ve DC bara kablosunun veya besleyicinin empedansı çoklu rezonans frekanslarına neden olabilir [ 168].

Rezonans frekanslarından biri, dönüştürücü tarafından harmoniklerin üretildiği herhangi bir frekans aralığında ayarlanmışsa, ciddi güç kalitesi problemleri ve aşırı voltajlar olacaktır. Bu, DC bağlantısının dengesini etkileyebilir. Bir DC mikro şebekesinin uyması gereken frekans aralığı, çok düşük frekanstan (9 kHz'in altında ) 9-150kHz ve 150kHz-30MHz bantları içinde gerçekleştirilen emisyon gibi çok yüksek frekans aralıklarına kadar değişebilir. Güç Şebekesi İletişimi (PLC), Akıllı Şebeke uygulamalarında sinyal verme amaçlı kullanılmaktadır [166, 167]. PLC sistemleri genel olarak merkezi kontrol sistemleri ve yükler arasında veri iletimi için güç kablosu altyapılarında kullanılır [167]. Bir DC mikro şebekesinde, yüksek anahtarlama frekansında çalışan birçok güç elektroniği dönüştürücüsü kullanılır. Bu dönüştürücüler, PLC sisteminin veri aktarım kabiliyetini kesintiye uğratabilecek ve son olarak mikro şebeke kontrol çalışmasını etkileyebilecek düşük ve yüksek frekans harmonikleri ve gürültüsü oluşturur. Bu nedenle, PLC sisteminin gelecekteki DC mikro şebeke sistemlerinin tasarımında doğru çalışmasını sağlamak için ayrıntılı bir gürültü analizi gerekir.

Güç elektroniği dönüştürücülerinde EMC düzenlemelerini yerine getirmek için EMI filtreleri bulunur. Bu dönüştürücüler DC bus sistemine bağlandığında, ani akım EMI filtrelerinden akacaktır. Bu ani akım, aynı DC veriyoluna bağlı diğer ekipmanın çalışmasını etkileyebilecek DC barasında voltaj salınımlarına neden olabilir [168]. Bu ani akım, DC bus sisteminde voltaj düşmesine neden olabilir.

Bir DC şebekesinde, DC barasındaki bir hata, doğrudan hata akımını dönüştürücülerden, enerji kaynaklarından veya kapasitanstan geçmeye zorlayabilir. Bu nedenle, arıza akımı sınırı, bu dönüştürücünün güç değerine, enerji kaynaklarına, ESS ve DC bara kapasitörlerinde depolanan yüke bağlıdır. Düşük enerji hatası akımı, DC şebeke sistemindeki koruma devrelerini etkilemeyebilir, ancak sistemin diğer bölümlerinde gerilim bozuklukları yaratabilir [168]. Ayrıca, arıza akımı büyüklüğü düşükse, koruma ayarı arıza ile ağır yük koşulları arasında ayırım yapamayabilir [169]. Ayrıca, DC şebeke sisteminde periyodik gerilim ve doğal sıfır geçiş noktalarının bulunmaması nedeniyle, arıza serileri, tespit edilmesi zor olacak kendiliğinden devam eden bir ark geliştirebilir [169].

Yüklerin sık sık açılıp kapanması DC barasında önemli geçici durumlar oluşturabilir [154]. Bununla birlikte, DC mikro-şebeke sistemlerinin çoğunda, bu geçici durumu telafi etmek için bir dizi enerji depolama cihazı (örn. Akü ) bağlanmıştır, ancak DC

barasında hala bazı salınımlar görülebilmektedir.

Gerilim dengesizliği AC şebekesi tarafındaki dengesizlikten kaynaklanabilir veya bipolar DC dağıtım sistemindeki tek fazlı yüklerin veya DG kaynaklarının eşit olmayan şekilde dağılmasından kaynaklanabilir [154, 170].

Ortak bir DC veriyoluna çok sayıda dönüştürücü bağlandığında, dolaşım akımı problemlili olabilir. Dönen akım, dönüştürücü taraflarında ortak bir topraklama noktası olduğunda üniteler arasında akabilir [160, 170].

### **3.13. Mikroşebekelerde İletişim Sistemi**

Mikroşebeke sistemleri (hem AC hem de DC), yerel elektrik üretimi, ESS ve dahili güç talebini karşılamak veya bağlıysa elektrik şebekesi AC şebekesi ile enerji alışverişinde bulunmak üzere yüklerden oluşur. Güneş, rüzgâr ve yakıt hücreleri gibi enerji kaynakları düşük voltajlarda güç üretir. İki yönlü güç akışı sağlamak için, bir mikro şebeke normalde doğrudan bir bağlantı veya arka arkaya bir dönüştürücü vasıtasıyla bir AC şebekesi ile arayüzlenir. AC şebekesinde bir arıza olması durumunda, mikro şebeke sistemi AC şebekesinden ayrılabilir ve özerk bir şekilde çalışabilir. Buna genellikle dağıtılmış enerji kaynaklarının mikroşebeke sistemindeki bağlantı yüküne güç vermeye devam ettiği adalı veya özerk bir operasyon denir. Her ne kadar mikro şebekeler, ada modundaki AC şebekesinden güç almasalar da, güç alışverişi yapmak için AC şebekesine yeniden bağlanıp bağlanmayacağına karar vermek için AC şebekesinin durumu gibi bazı yardımcı bilgileri şebeke ile değiştirebilirler. Şebeke şebekesi ile mikro şebeke arasındaki bilgi mekanizması değişimi, güvenilir bir iletişim altyapısı gerektirir.

DC mikroşebeke, RES ve ESS'nin daha iyi verimlilikle nüfuz etmesini teşvik etmek (dönüşüm ve dağıtımdaki kayıpların azalmasından dolayı) modern akıllı şebeke konseptinde çekici hale geliyor. Akıllı şebeke, iki yönlü dijital teknolojiler kullanarak tedarikçiler ve tüketiciler arasında elektrik sağlar. Tüketicilerin tesislerinde enerji tasarrufu yapmak, maliyetleri düşürmek, güvenilirliği, verimliliği ve şeffaflığı artırmak için akıllı cihazları kontrol eder [171].

Bu, a) müşterilerin tesislerinde akıllı sayaçların kullanılmasını ve b) iletim ve / veya dağıtım ağlarındaki sensörler ve enerji yönetimi birimleri gibi akıllı izleme ve ölçüm cihazlarının kullanılmasını gerektirir. Güvenilir bir iletişim altyapısı ile akıllı sayaçlar gibi akıllı elektronik cihazlar, şebekeden gerçek zamanlı enerji tüketimini izleyebilir ve tüketicilerin fazla gücünü (çatıdaki PV'den) şebekeye geri gönderebilir.

Şebeke operatörleri, elektrik üretim ve dağıtımını optimize etmek için tüketicilerin güç kullanım verilerini ve veri merkezlerinden çevrimiçi pazar fiyatlarını alabilir. Ulusal Standart ve Teknoloji Enstitüsü (NIST), gelecekteki akıllı şebeke sisteminde iletişim altyapısının önemini göstermek için kavramsal bir model sunmaktadır. Bu, Şekil 27’de gösterilmiştir [172].

DC mikroşebeke ve akıllı şebeke sistemlerindeki iletişim sistemleri, güvenilirlik, gecikme süresi, bant genişliği ve güvenlik gibi şebeke uygulamalarına dayanan bazı özel gereksinimleri karşılamalıdır [172]. Bununla birlikte, uygun iletişim ağının seçilmesi, uygulamalara ve fayda beklentilerine bağlı olan birçok değişken ve farklı bileşen gereksinimleri nedeniyle akıllı şebekelerde ve DC mikroşebekelerde büyük bir zorluktur. İletişim altyapılarının gerekliliğini, gerekli özelliklerini ve trafik gereksinimlerini tanımlayan bazı makaleler zaten mevcut [173, 174]. [159]’deki yazarlar akıllı şebeke uygulamalarında olası kullanımlarıyla çeşitli mevcut tel ve kablosuz iletişim teknolojilerini ele almıştır.

DC mikroşebeke sistemlerinde bilgi alt sistemi (örneğin akıllı sayaç ve sensörler) geleneksel AC sisteminden farklı olacaktır, ancak hem AC hem de DC sistemlerinde aynı iletişim altyapısı kullanılabilir. Özel iletişim teknolojisinin seçimi, istenen veri hızına ve herhangi bir uygulamanın kapsama alanına bağlıdır.

### **3.14. DC Mikroşebeke İletişim Şebekeleri**

DC mikro şebekeli sistemlerdeki iletişim ağları, uygulama gereksinimlerine göre aşağıdaki kategorilere ayrılabilir aynı Şekil ??’de gösterildiği gibi:

- Tüketici Tesisleri Alan Ağları: Ev Alan Ağları (HAN), Bina Alan Ağları (BAN) ve Endüstriyel Alan Ağları (IAN)
- Mahalle Alanı Ağları (NAN)
- Geniş Alan Ağları (WAN)

Her bir kategori için veri hızı, kapsama alanı ve ilgili iletişim teknolojileri Şekil 29’da gösterilmiştir [159].

#### **1) Tüketici Tesislerinin Şebekesi**

Tüketici tesislerinde (konut, ticari ve endüstriyel alanlarda), şebeke ve tüketici arasında sinyal ileten bir dizi cihaz ve ekipman bulunurken, yaygın olarak akıllı bir enerji ölçer ve / veya bir enerji yönetim sistemidir. Bu cihazlar aynı binada bulunduğundan, çok yüksek frekanslı veri iletim sistemine sahip olmak gerekli değildir. Bu nedenle 100 metreye kadar 100 kbps veri hızı sunabilen herhangi bir iletişim teknolojisi normalde

HAN, BAN ve IAN uygulamaları için yeterlidir. Yukarıda belirtilen gereklilikleri yerine getirebilecek bir dizi uygun iletişim teknolojileri vardır. Bunlardan bazıları güç hattı iletişimi (PLC), Bluetooth, Ethernet, ZigBee ve WiFi'dir [175, 176].

## 2) Komşu Alan Ağları (HAN)

Elektrik tüketim bilgisi gibi tüketici tesislerinde şebekeye bağlı ekipmanlardan akıllı enerji sayaçları üzerinden enerji hizmeti sağlayıcısına iletişim kurmak ve göndermek / almak için, iletişim teknolojilerinin daha yüksek veri hızını (100 kbps-10 Mbps) desteklemesi gerekir. 10 km kapsama alanına kadardır. HAN uygulamaları için uygun iletişim teknolojileri PLC, ZigBee ağı, WiFi ağı, Hücresel, Dijital Abone Hattı (DSL) ve WiMAX'dir [175, 177].

## 3) GENİŞ ALAN AĞLARI (WAN)

Gelecekteki DC mikroşebeke sistemleri, modern akıllı şebeke sistemleriyle bilgi alışverişinde bulunmak ve güç sistemi planlaması, kararlılık ve korumayı geliştirmek için birçok alanda izleme ve ölçüm cihazlarının (sensörler ve güç yönetimi kontrolörleri gibi) geniş alanlara kurulmasını gerektirir. Bu geniş alanlar izleme ve ölçüm uygulamaları, geleneksel Denetim Kontrol ve Veri Toplama (SCADA) sistemlerine kıyasla daha yüksek veri çözünürlüğü ve daha hızlı tepki süresi gerektirir. WAN uygulamaları için gerekli veri hızı 100Mbps-1 Gbps aralığında olup kapsama alanı 100 km'ye kadardır . WAN uygulamaları için uygun olan mevcut iletişim teknolojileri; Fiber Optik, WiMAX, PLC ve Hücrelidir [175-180].

### 3.14.1. DC mikroşebeke iletişim altyapı zorlukları

DC mikro şebekelerinde ve akıllı şebeke sistemlerinde güvenilir iletişim altyapılarının tam olarak dağıtılması için aşağıdaki zorluklar vardır:

- Birçok iletişim protokolü ve teknolojisi olabilir. DC mikroşebeke sistemlerinde kullanılmalıdır. Her birinin kendi protokolü olacak ve çalışma prensipleri bu farklı teknolojilerin entegrasyonu ve birlikte çalışması ortak protokoller ve standardizasyon gerektirir [181].
- Mevcut güç şebekelerindeki iletişim ağları, esasen çok eski olan ve çok sayıda Akıllı Elektronik Cihazı desteklemek için büyük bir veri alışverişi yeteneği dikkate alınmadan tasarlanan SCADA sistemlerini desteklemektedir. Mevcut zorluk, gelecekteki şebeke gereksinimleriyle başa çıkmak için mevcut ağların protokollerinin nasıl yükseltileceğidir.
- DC mikro şebekeleri ve akıllı şebekeler için teknolojiler yeni iletişimin seçilmesinde zorlukların üstünde eşit olarak uygulanabilir. Neyin ele alınması



Tablo 3.7. Vikor metodu kablo kesit ve voltaj uygunluk hesapları

No.	Gerilim seviye (V)	Gerilim düşümü (V/m)	Güç kayıpları (W/m)	Max. kablo uzunluğu	Kablo fiyat (USD)	Kesit (mm <sup>2</sup> )	Vikor sırası	Vikor Poanları
1	12	0,23	2,59	21,98	26,49	120	11	0,9776542
2	24	0,19	2,22	25,64	7,63	35	10	0,7674122
3	48	0,17	1,95	29,31	2,24	10	8	0,631751
4	60	0,18	2,07	33,7	1,24	6	9	0,6902142
5	100	0,1	1,12	50,88	0,84	4	6	0,6059594
6	120	0,09	1,2	67,74	0,52	2,5	7	0,6178491
7	240	0,026	0,51	135,3	0,33	1,5	5	0,5399831
8	300	0,02	0,4	249,7	0,33	1,5	4	0,3456055
9	375	0,017	0,31	312,8	0,33	1,5	3	0,2388271
10	600	0,01	0,21	487,4	0,33	1,5	2	0,0627880
11	750	0,008	0,17	542,6	0,33	1,5	1	0,0197030

gerektiğinin önemli olması, planlanması ve dikkate alınması gereken optimum veri hızı ve bant genişliği bu iletişim ağlarının gelecekteki talep ve açılımlara görelerdir.

- İletişim altyapısının konuşlandırılması, birçok avantaj sağlayabilir. daha yüksek güvenilirlik, enerji verimliliği ve sistemde şeffaflığı arttırmak. Bununla birlikte, aynı zamanda siber güvenlik ve veri gizliliği sorunlarını da ortaya çıkarabilir [182].

### 3.14.2. DC sistemi için voltaj seviye seçimi

Konut kullanımları için AC sisteminin ihtiyaç duyduğu toplam kaynaklar (kapasite veya enerji) temel değer olarak kabul edilir. Yenilenebilir kaynak ve depolama öğeleri için kapasite ihtiyacı yaklaşık olarak öğelerin başlangıç maliyetini gösterir. Şebeke için enerji ihtiyacı aylık fatura tutarını gösterir. Aynı yük talebini karşılamak için, 48V ve 120V olan dc sistemler mevcut AC sisteme kıyasla%15 daha az kaynak gerektirir.

Bu azalma, esas olarak yenilenebilir enerji kaynaklarında dc-ac'ın ve çeşitli yüklerde ac-dc'den kaçınılmasından kaynaklanmaktadır. 48V dc sistem solar PV ve rüzgâr kapasitesinin sadece%82'sini ve AC sistemde kullanılan pil kapasitesinin %80'ini gerektirir. Bu, sistemin ilk maliyetini neredeyse aynı faktörle azaltır. Ek olarak, sistemin küçük güç derecesi, daha az akım nedeniyle düşük voltaj yaklaşımını kolaylaştırır. 48V ve 120V sistemindeki kaynak gereksinimleri yük profili için karşılaştırılabilir. Klima sistemi kullanılmıyorsa (kışları), 48V sistemi AC sisteminden%22 daha az kaynak gerektirir. Oysa 120V sistemi sadece%18 azalma sunuyor. Ek olarak, 48V sistemi güvenlidir ve iletkenlerle doğrudan temas halinde bile hayata zarar vermez.

Tablo 3.8. DC Mikroşebeke evsel elektrifikasyon voltaj seviyeleri.

Gerilim (V)	Avantajlar
$\geq 565V$	şebeke Üç faz ile doğrudan bağlantı, 400V <sub>AC</sub> şebekeye
380–400 V	Veri merkezi endüstri standardı
325 V	Giriş redresörü olan yükler için minimum değişiklik gereklidir
230 V	Saf direnç yükleri uyumluluğu
120 V	Ekstra LV Limiti tanımı, koruma sistemine gerek yok dolaylı temaslara karşı
48 V	Telekomünikasyon Endüstrisi Standardı
24 V	Occupied Space, EMerge Alliance Standardı
12 V	Otomotiv endüstrisi standardı

Şebeke tarafında UPF çalışmasını ve yükler için düşük bozulma ile nominal voltaj büyüklüğünü korumak için ticari Tipik AC sisteminde , çevrimiçi UPS kullanılır. Genel olarak, 200V'den daha yüksek voltaj akü bankası kullanılır. Yenilenebilirler batarya sistemini şarj etmek için kullanılır. Sistemdeki yükler aydınlatma, merkezi klima, fanlar ve bilgisayarlardır. Gibi yerleşim vaka çalışması, AC sistemi için gerekli olan toplam kaynaklar baz değeri olarak kabul edilir.

DC ve AC sistemlerinin aynı yük talebini karşılaması için aynı yük gereklilikleri, kapasite ve enerji gereksinimleri (birim başına), 400V dc sistem mevcut AC sisteme kıyasla%11 daha az kurulu yenilenebilir kaynak kapasitesi gerektirir. . Şebeke güç kullanımı harcamaları da aynı oranda azalır. Bu azalma temel olarak çevrimiçi UPS sistemindeki ac-dc ve dc-ac aşamalarının ortadan kaldırılmasından kaynaklanmaktadır. 400Vdc, 325Vdc, 230Vdc, 120Vdc ve 48Vdc tarafından istenen kaynaklar AC sistemi gereksinimlerinin sırasıyla%90,%90,%91,%92 ve %89'udur. Bu nedenle, bu durum için tüm dc sistemler karşılaştırılabilir performans sunar. Ek olarak, tesisin en yüksek güç gereksinimi yüksektir, dolayısıyla kablo iletken gereksinimlerini azaltmak için yüksek voltaj seviyesi tercih edilir.

Özetle, 400V dc sistem yaz aylarında en yüksek verimliliği sunar. Kış aylarında, tüm dc sistemler AC sistemine göre benzer avantajlar sunar. Sistemin yüksek güç gereksinimi, mevcut gereksinimleri azaltmak için yüksek voltaj seviyesini motive eder. Bu nedenle, 400V dc sistem ticari uygulamalar için en uygun sayılır.

Geleneksel AC sistemi yerine bir dc sisteminin işletme verimliliğini ve güvenilirliğini artıracığı sonucuna varıldı. Verimlilik, maliyet ve güvenlik konularına dayalı olarak dc sistem için farklı gerilim seviyelerinin performansı ve uygun elektronik güç arayüzü değerlendirilir. Düşük güç gereksinimi, daha yüksek güvenlik ve verimlilik göz önüne alındığında, düşük voltaj sisteminin (48V) konut dc sisteminde optimum performans

verdiği sonucuna varılmıştır. Ticari tesisler için, orta gerilim seviyesi, 400V, en yüksek işletme verimini sunar. Önerilen dc sistemler, konut ve ticari sistemler için sırasıyla işletme verimliliğinde geleneksel AC sistemlerine göre%15-22 ve %10-11 gelişme sunmaktadır [183].

IEEE ve IEC standartlarına göre, DC sistem için maksimum dokunmatik gerilimi 120 Volt ve onun bazı makaleler konut inşaatı arz [183]. 120 Volt DC sistemi bir ev voltaj seviyesi seçeneği olabilir, ancak bazı makaleler konut inşaatı için 48VDC önermektedir [183].

AC kaynaklarının AC mikro şebekeleri için geçerli olan ortak bir AC veri yolunda eşleştirilmesi senkronizasyon gerektirir; yani tüm dönüşüm aşamaları aynı voltaj, frekans, faz sırası ve faz açısında çalışmalıdır. Sıfır frekanslı bir sistem olan DC mikro şebekesi ile ilgili olarak, sadece voltaj genliği düzenlenmelidir ve ortak DC baraya DC kaynakları bağlanırken senkronizasyon gerekli değildir. Ayrıca, DC veri yolunda reaktif güç bulunmadığından, ortak DC veri yoluna yalnızca aktif güç ile çalıştırılabilen AC kaynaklarının bağlanması, güç verimliliğini ve güç aktarımını artırır. DC mikroşebeke daha iyi akım kontrolü içerir, çünkü bir AC Mikro şebekesinde sorunlara neden olan negatif ve sıfır dizi akımları yoktur.

AC mikro şebekelerin şu anda bazı yüksek voltajlı ve yüksek güçlü uygulamalarda daha fazla avantajı vardır, oysa DC mikro şebekeleri güç dağıtım şebekesinin düşük voltaj seviyelerinde av avantajı sağlayabilir. (AC mikro şebekelerinin genellikle AC'den DC'ye ve sonra DC'den AC dönüşümlerine dayanan AC / AC dönüştürücüler kullandığını bilen DC mikro şebekeleri, çeşitli cihazlara bağlı olarak esas olarak DC / DC dönüşümlerini kullanarak% 20'ye kadar enerji kaybından tasarruf edebilir, ve/veya nominal güçleri Kadar [10]. Ek olarak, DC sistemleri cilt etkisinden ziyat vermiyordur, bu nedenle daha iyi malzeme verimliliği ile daha ince kablo kullanılabilir.)

(Elektrik, 2040 yılına kadar nihai tüketimdeki artışın% 40'ını oluşturan enerjinin dünya çapındaki nihai kullanımları arasında çoğalan güçtür. petrolün son yirmi beş yıl içinde aldığı büyümenin aynı payı, çevresel meselelerin ve küresel iklim değişikliğinin son on yılda her araştırma alanında etkili olması farkıyla.

Elektrik enerjisi, ekonomik yükseliş, gelişme ve yaşam kalitesinde bile sadece çevresel konular üzerinde büyük etkisi olmayan tüm enerji pazarının bir parçasıdır. Sorunların üstesinden gelmek için bir alternatif, yenilenebilir enerji sistemleridir, ancak güç sistemi, kontrol, Yönetim, harmonikler, güvenilirlik, istikrar üzerinde yenilenebilir enerji penetrasyonunun artmasıyla, bu sorunların bir kısmını aşmak için tanımlanan ada

modu daha sonra yeni modlar yaratmaya başlar. Sıcak rezerv ve depolama sistemi olmadan görünüyor, nüfuz eden yenilenebilir sistemlerde bahsedilen sorunların üstesinden gelmek zor. İşletme (“sıcak”) kapasite rezervi, üretim ve tüketim arasındaki dengesizliği dengelemeye yönelik bir kapasite rezervinin payıdır, bunun nedeni ekipman arızaları, PS çalışma kapasitesindeki acil durum veya kazara azalma veya tüketicinin yükünde beklenmedik bir çevrimiçi artıştan kaynaklanır.

Umut verici bir seçenek, otonomik sensörler ve tüm sistemi akıllı DC Mikroşebeke (SDCM) olarak adlandırabileceğimiz iletişim sistemleri ile kontrol ederek yenilenebilir ve depolama sistemlerinin bulunduğu LV DC dağıtım sistemini kullanmaktır. Araştırma için SDCM için ve geçiş süresini kolaylaştırmak için geleneksel sistemle uyumlu olması gereken Voltaj seviyeleri gibi standartlaştırma için birçok ön koşul vardır.

### **3.15. Enerji Depolama Sistemi**

Mikroşebeke içeriğinde enerji depolama sistemi bir olmazsa olmaz denektir. Şebeke ada moduna geçebilmesi için öngörülen enerji depolama sistemi yükleri karşılamaya devam edecektir ve aynı zamanda farklı kaynaklarda üretilen enerjiyi ki genelde yenilenebilir enerji oluyor, kullanılmak üzere depolayabilir ve enerji güvenilirliğini ve sürdürülebilirliğini devam ettiriyor. enerji depolama sistemi bir back up olarak farklı türlerden oluşuyor. Aşağıda ki liste de bu türleri bölümlendirmeye çalışılmıştır:

- Electrochemical Battery
- Capacitor
- Fuel Cell
- Microturbines

yükarda ki listenin en çok dikkati çeken ve kullanılan depolama malzemesi ise elektrokimyasal piller dir. kimyasal Piller farklı kategorilere bölünmektedir:

- lead–acid battery
- Nickel–metal hydride battery
- Lithium-ion battery & Lithium polymer battery
- Molten salt battery

yükardaki pil türlerinden lityum tabanlı piller elektrikli arabalar ve yenilenebilir enerjilerden faydalanan evlerde en çok kullanılan pil türüdür. PerMod Matlab kodunda lithium tabanlı piller de BYD,Battery-Box H6.4 ve Battery-Box H11.5 Hesapları kullanılmıştır. Team SES de ise:

- LiB-Rosenkranz,
- CLFP-Goebel,
- NMC-Tesla-DailyCyclePowerwall,
- CLFP-Sony-US26650-Experiment,
- CLFP-Sony-US26650-Experiment-ocv-r,
- CNMC-Molicel-IHR-18650a

verileri seçilebilecek şekilde bırakılmıştır, ve Kurulu enerjisi 1600 kWh Seçilmiştir. Piller 4 farklı işletim sistemi seçimi sunulmuştur: Fcr (Frekans Muhafaza Rezervi);AC sistemler için frekans kontrolü önemli olduğu nedeni ile sadece AC sistemlerde işe yarayacaktır

PVHomeFeedInDamp

PVHomeGreedy

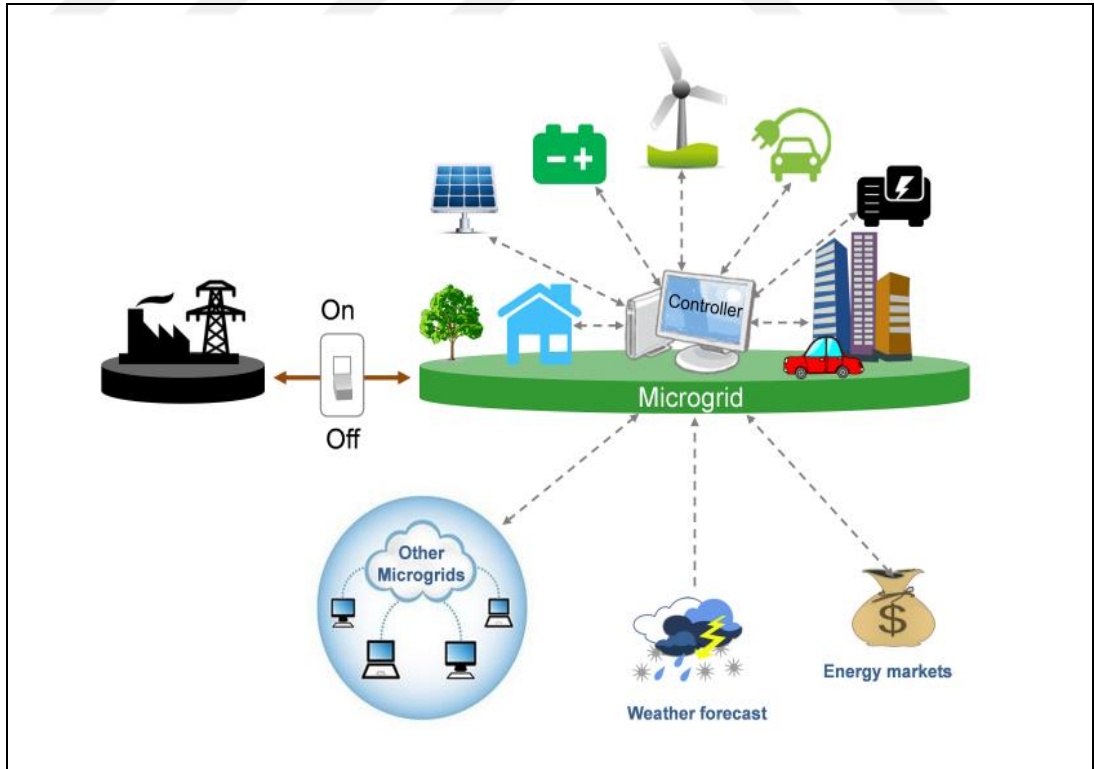
PeakShave

diğer 3 işletim senaryoları farklı yollar la peak shave yani pv de üretilen ama kullanılmayan enerjinin indirgeme yöntemleridir. Simulink modelinde ise gerçek veriler yerine doyma foksiyonun dan yararlanan liner bir sistem kurulmuştur.

## 4. TASARIM VE SİMÜLASYON

### 4.1. Giriş

Yapılan literatür taraması ve hesaplamaların ardından en optimal ve gerçek hazır da kullanılan şebekelere yakın formatta ve standartlara uygun olan bir tasarım yapmak tezin bu bölümdeki amacıdır. Bu amaç birde gelecekte DCmikroşebek kurulması taktirde veya DC dağıtım şebekesi AC şebekenin yerine veya hibriti olmak ongörüsünü de gerçekleştirme kapasitesinde olmalıdır diye seçilmiştir. Buyüzden daha önce bahs edildiği gibi elektrik enerjisinin yüzde 60 ını kullanan şehirler ve ortalama verilere göre 57% yer alanını binalar la kaplanıyor ve buda şehirlerin PV enerji üretimi için kapasitesini gösteriyor. günümüzde radyal sistemler en çok kullanmakta nerdeyse her yerde radyal kullanılıyor diye biliriz. Baypas recloser ringler sadece acil durumlarda besleme yönünü değiştirmek için tasarlanıyorlar.



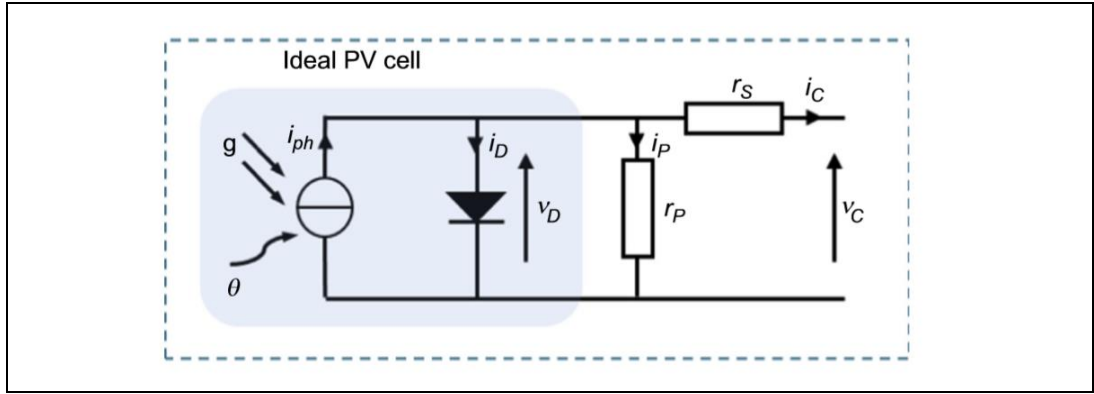
Şekil 4.1. Akıllı Mikroşebeke konsepti









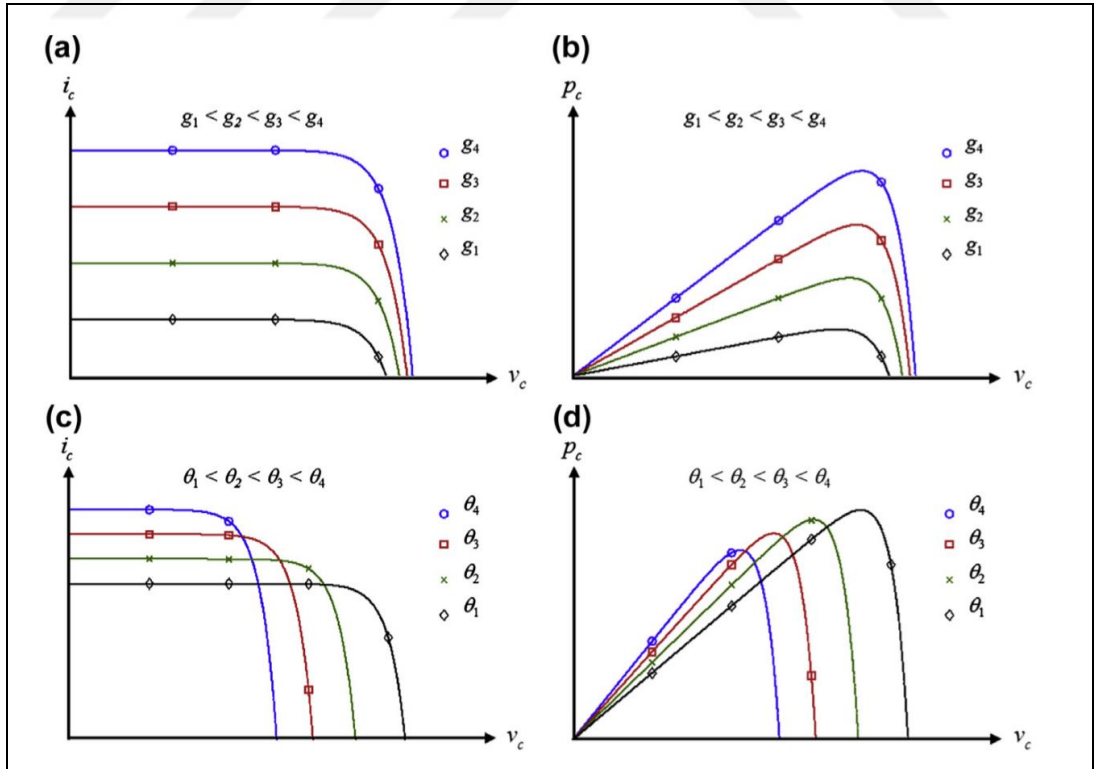


Şekil 4.5. Tek diyot PV hücre modeli için eşdeğer devre

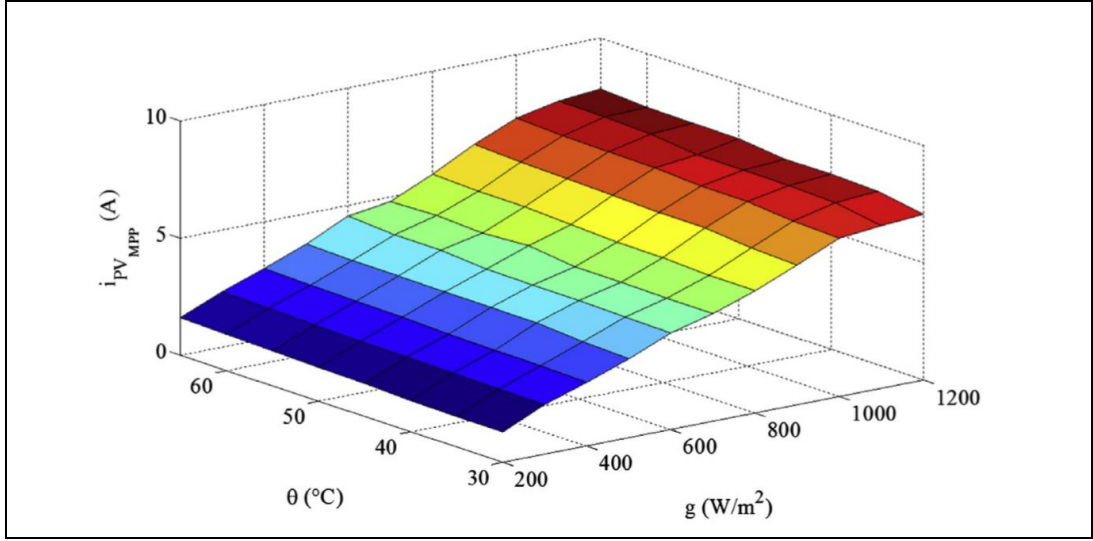
performanslı işlem yapmak.

#### 4.2.1. Yenilenebilir enerji kaynağı (güneş paneli)

Yenilenebilir enerji kaynakları mikroşebekenin ana temalarındandır. Yenilenebilir kaynaklar mikroşebekelere katkı payı artması ile çevre etkisinin yanı sıra şehirler enerji aktaran iletim hatlarının enerji dansitesini de minimize edebilir ve böylece altyapı pasraflarını da indirgemiş olur.

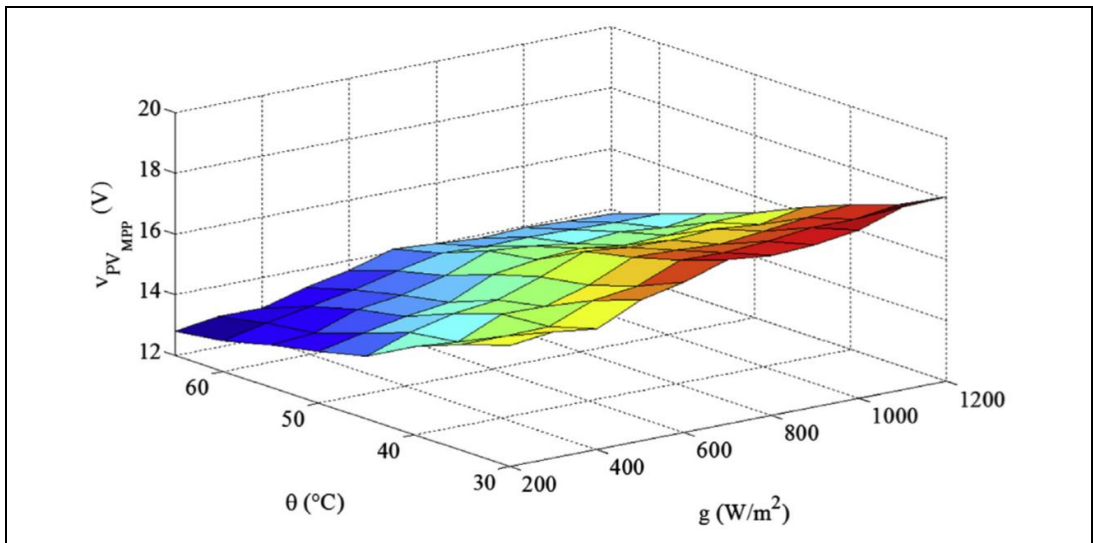


Şekil 4.6. a) Güneş ışınım seviye etkisi  $i_c - v_c$  karakteristiği b) Güneş ışınım seviye etkisi  $P_c - v_c$  karakteristiği c) Hava sıcaklık seviye etkisi  $i_c - v_c$  karakteristiği d) Hava sıcaklık seviye etkisi  $P_c - v_c$  karakteristiği



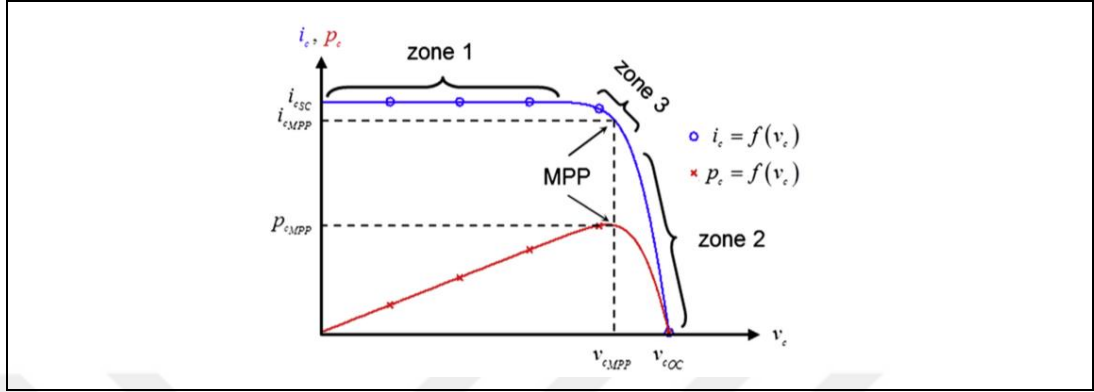
Şekil 4.7. PV lerde sıcaklık ve güneş ışınımı, akım üzerine etkisi

[H] şehirlerin içinde en uygun adaptasyppn sağlayabilecek yenilenebilir kaynak güneş panelleri dirler. Pv ler şehirin tüm bina ve parking alanlarını kaplarsa büyük miktarda kendi yüklerini karşılaya bilicektir. PV ler yarı iletkenlerden oluşan diyodik materyallar dir lar şekil 4.5 de belirlendiği gibi güneş ışını ve ortam sıcaklığından etkilen fonksiyona sahiptir. Şekil 4.6 a ve b de güneş ışın radyasyonu yükseldikçe çıkış akımı linere yakın bir katsayı ile büyüyecektir, ama çıkış gücü aynı zamanda gerilime bağlı olduğu için nanliner olarak belli gerilimlerde daha yüksek güç çıkışı sağlanıyor. Şekil 4.6 c ve d de ise hava ısı seviyesi ise akım seviyesine pozitif etki etse de gerilime ters etkisi var ve çıkış gücü düşük tempratür lerde daha yüksek oluyor.



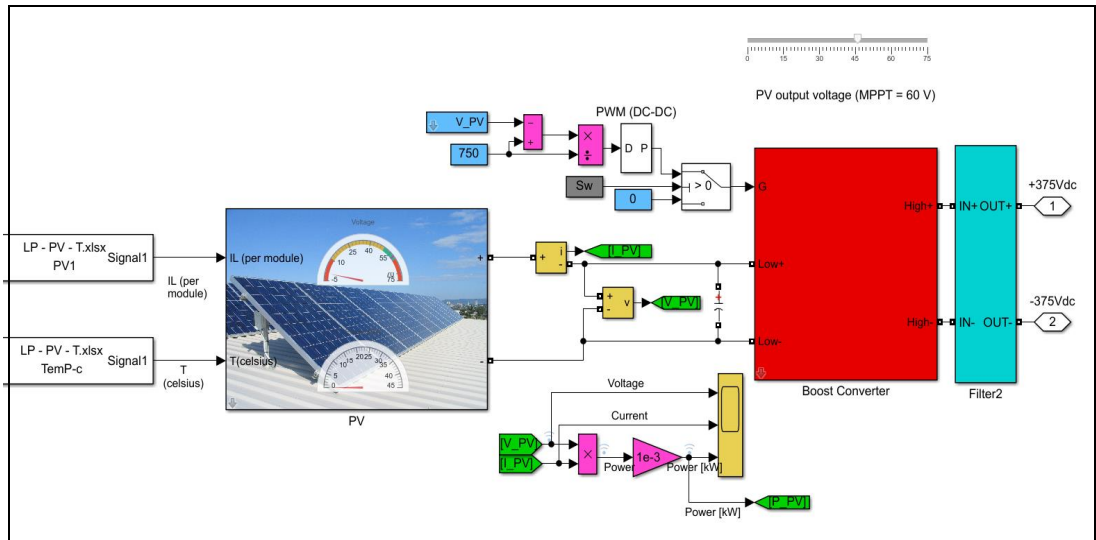
Şekil 4.8. PV lerde gerilim üzerine sıcaklık ve güneş ışın etkisi

Bu ikili bir çelişkiye dönmüş gibi gözükdüğü gibi optimizasyon noktasında tutmaya ihtiyaç duyuyor. Sıcaklığın ve ışınının Akım üzeri etkisi şekil 4.7de ve Sıcaklığın ve ışınının gerilim üzeri etkisi şekil 4.8 de üç boyutlu gösterilmiştir.



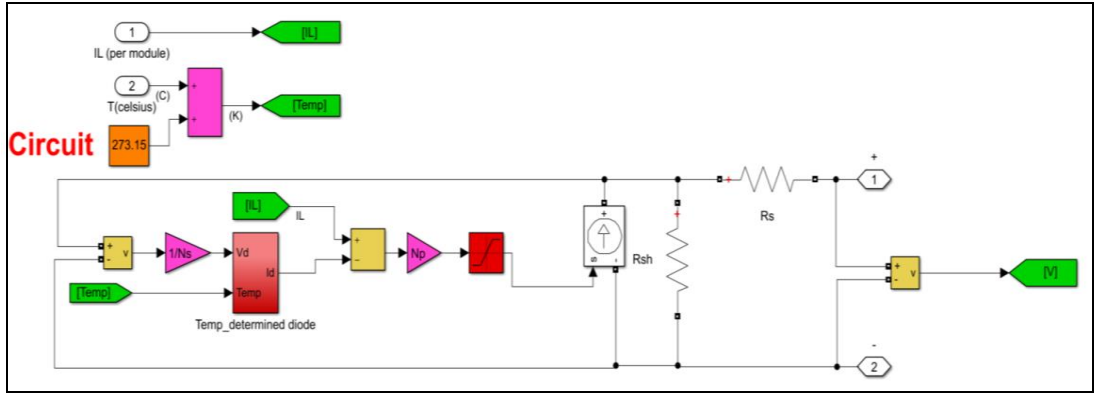
Şekil 4.9. Maksimum Güç Noktası Takibi (MPP)

MPP eğimini en yüksek düz bölge de tutmak amacı için  $dp/dv > 0$  olunca gerili yükseltmek ve  $dp/dv < 0$  olunca gerilim seviyesini kademe lerde azaltmak lazım ve böylece en yüksek verimi elde etmek lazımdır. MPP eğimi şekil 4.9 da verilmiştir. MPPT için araştırma ve uygulamalarda farklı algoritma ve yöntemler kullanılmaktadır. en tanınmış yöntemler ise sabit kademe boyutları ve değişken adımlar olarak tanınmakta ve gerilim değişim kademesi ile belirlenmektedir.



Şekil 4.10. PV sistem simulink simülasyon görüntüsü.

simulinkte simüle edilen Pv ve MPPT sistemi şekil 4.10 de verilmiştir ve ardından PV blok içeriği ise 4.11 gösterilmiştir. PV bloku veri girişi olarak hava sıcaklığı ve ışın



Şekil 4.11. Simulink simülasyonunda PV Blok içeriği

miktarına ihtiyaç duyuyor. Bu veriler her saniye için gerçek veri kullanılmıştır. PV blok içinde çıkış gücü bu verilerin nonlinear fonksiyonudur.

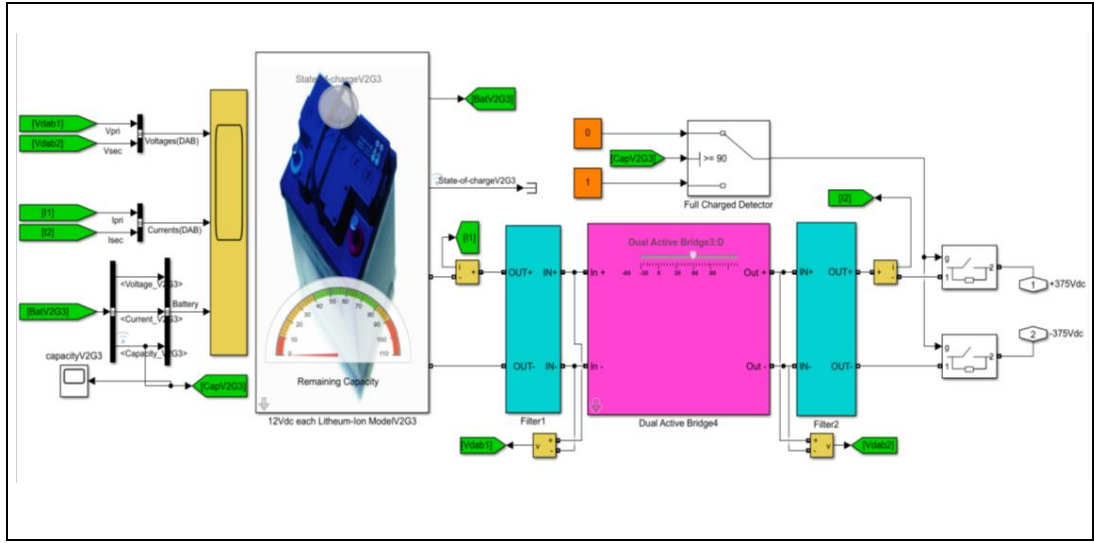
#### 4.2.2. Enerji depolama sistemi

PerMod Matlab kodunda lithium tabanlı piller de BYD, Battery-Box H6.4 ve Battery-Box H11.5 Hesapları kullanılmıştır. Team SES de ise

- LiBRosenkranz,
- CLFPGoebel, NMCTeslaDailyCyclePowerwall,
- CLFPSonyUS26650Experiment,
- CLFPSonyUS26650Experimentocvr,
- CNMCMolicelIHR18650a

verileri seçilebilecek şekilde bırakılmıştır. Bu pilleri hepsi için kurulu enerjisi 1600 kWh Seçilmiştir. bir başka önemli konu ise pillerin işletme senaryo ve sistemi dir ki bu kısım için piller 4 farklı işletim sistemi seçimi sunulmuştur:

- Fcr (Frekans Muhafaza Rezervi);  
AC sistemler için frenkans kontrolu önemli olduğu nedeni ile sadece AC sistemlerde işe yarayacaktır.
- PVHomeFeedInDamp
- PVHomeGreedy



Şekil 4.12. Simulinkte hazırlanan Enerji depolama sistemi

- PeakShave

Yukarıdaki diğer 3 işletim senaryoları farklı yollarla peak shave yani pv de üretilen ama kullanılmayan enerjinin indirgeme yöntemleridir. Simulink modelinde ise gerçek veriler yerine doyuma fonsiyonunun dan yararlanan liner bir sistem kurulmuştur ki 4.12 de gözükmektedir. Bu modelin içeriğinde şarj ve deşarj işlemleri denklem 4.1 (şarj) ve denklem 4.2 (deşarj) denklemlerle yapılmakta ama ana akım fonsiyonu denklem üzerine dayansada bir fonksiyonel akım kaynağı ile çalışmakta ve modeli istenilen matematiksel ve gerçeğe kabul edilir benzerlikle simüle etmektedir.

$$\text{ChargeMode} = A \cdot e^{(-B \cdot i_t)} + E_0 - \frac{K \cdot Q \cdot i_t}{Q - i_t} + (K \cdot Q \cdot i_{\text{star}}) + (0.1Q + i_t) \quad (4.1)$$

$$\text{DechargeMode} = A \cdot e^{(-B \cdot i_t)} + E_0 - \frac{KQ(i_{\text{star}} + i_t)}{(Q - i_t)} \quad (4.2)$$

şarj ve deşarj işlerinin denklemleridir ki burada;

A Üstel gerilim (Exponential voltage) (V)

B Üstel kapasite (Exponential)(A/s)

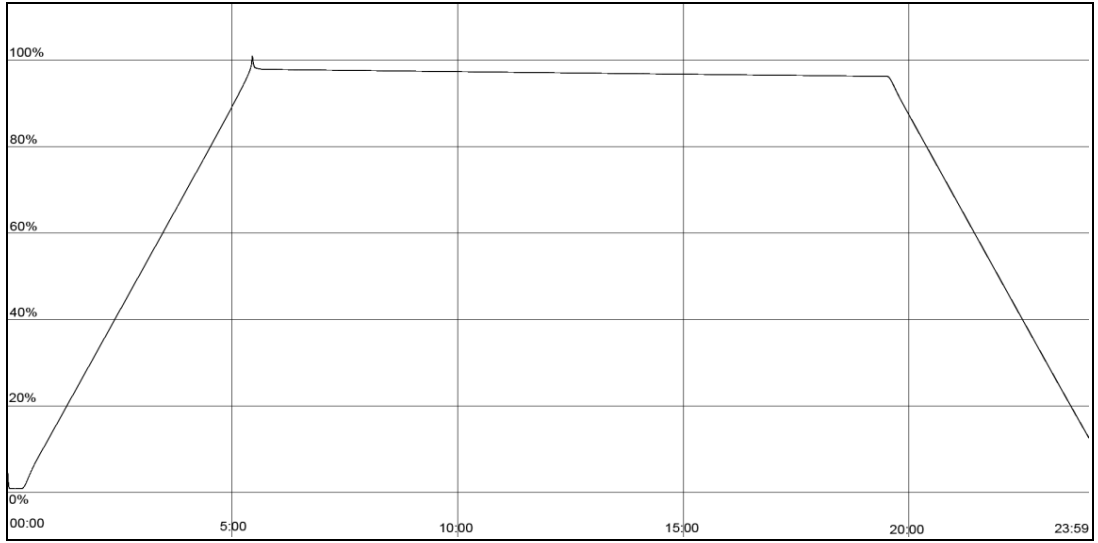
$i_t$  Akım zaman(saniyeler) surecinde (A)

$i_{\text{star}}$  Akımın dolum (saturation) fonsiyon sonraki hali (A)

$E_0$  Nominal her pil modülünün gerilimi (V)

K Polarizasyon sabiti (Polarisation constant)(A/s)





Şekil 4.14. V2G şebekeye katkılı şarj deşarj karakteristiği

oranda etkileyebilir ve ciddi altyapı maliyetleri peşinde getirebilir. Başka bir açıdan bakılırsa ama bu tehdit gibi görünen bu vaziyet fırsata çevirilebilir. V2G bu arabaları yük olarak değil hata yük profil düzeltici ve yenilenebilir enerji katkı artırmasında yardımcı olarak nitelendirebilecek bir araştırma konsepti olarak ortaya çıkmıştır. Bu sistemde araç kullanılmadığı zamanlar şebekeye bağlı kalarak şebekenin yükü az zamanlarda veya yenilenebilir enerji kaynağının curtailment (kapasiteden fazla atılan enerji) kısmı ile şarj ediliyor ve peak zamanlarda kullanılmayacak fazla kalan enerjisini şebekeye satıyor. Böylece hem şebekeye kalite ve yenilenebilir enerji penetrasyonu açısından ve de alt yapı ve saire maliyetler bakımından yardımcı oluyor, öte yandan bir tür araba sahibine gelir kaynağı olabilir.

Simulasyon da bu sistem aynı Enerji depolama sistemi olarak simüle edilmiştir fakat kontrol ve zamanlama ve devreye girmesi şeklinde gözüktüğü gibi gece 1 den 5'e kadar şarj edilip, devamında günlük yolculuk olarak 10% enerjisini gün içerisinde kullanmıştır ve geri kalan enerjiyi peak zamanında eve dönünce şebekeye aktarmıştır.

böylelikle V2G gece saatlerde şehir ve yerleşim bölgelerinin elektrik dağıtım şebekesinin boş zamanlarını değerlendirecek ve şebeke sirkülasyonunu daha canlı tutacak ve hemde peak zamanlara veya güneş enerjisi depolama sistemi kapasitesinden fazla olan bölümünü kü normalde traş olarak atık enerjiye dönüşüyor olanı değerlendirebilir, aynı zamanda elektrikli arabaların şebekeye büyük masraf ve alt yapı sorun

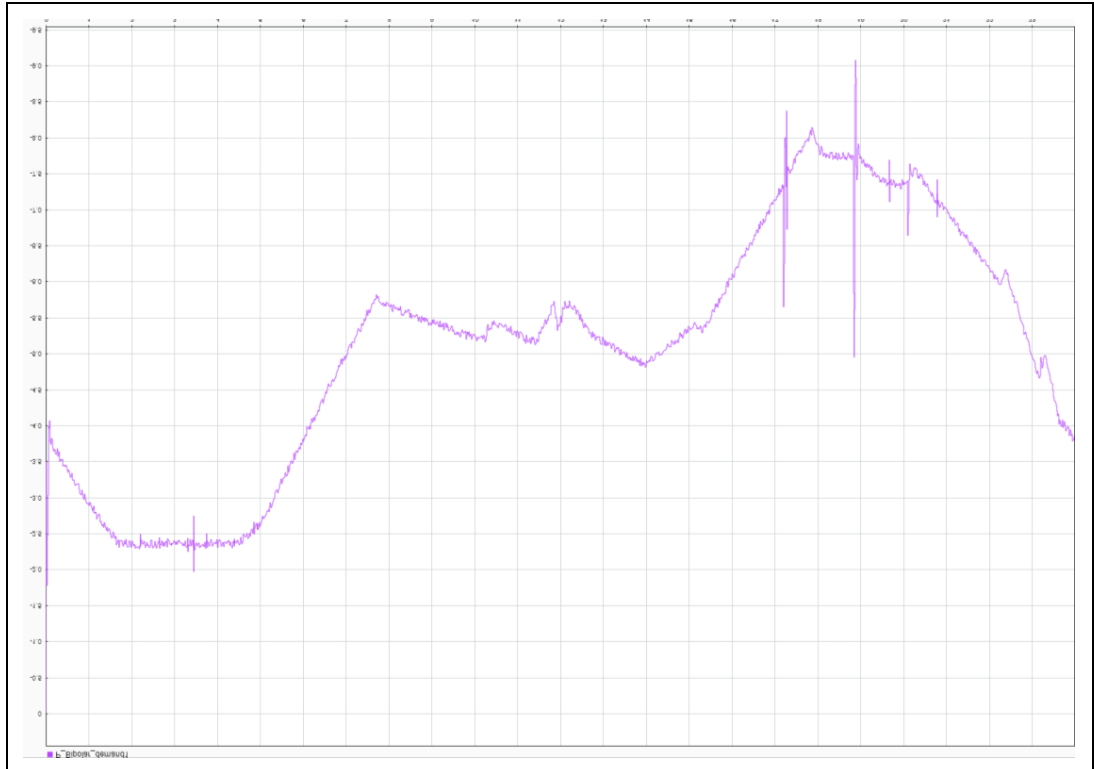


olacağından kurtara bilir.

#### 4.2.4. Yerleşim alan yükleri

Önceki Bölümler de Tartışıldığı gibi Evsel Yükler artık şekil değiştirmiş ve DC ye çevirilmiştir. Bu Kısımda her saniye örnekleme zamanı ile kayda alınmış şehirsal ve evsel bir data berlin Applied Science ve Munich Teknik Üniversitesi tarafından SimSES ve PerMod Projeşerinde kullanılmak üzere toplanan bu veriler hazır araştırmada da kullanılmıştır. veriler yüklerin gücünü Watt biriminden her saniye için toplanmış, yani 31,536,000 veriden oluşan bu tablo işlem görmüştür. Ortalama veriden elde edilen bir günlük yük profili şeklinde göstermektedir.

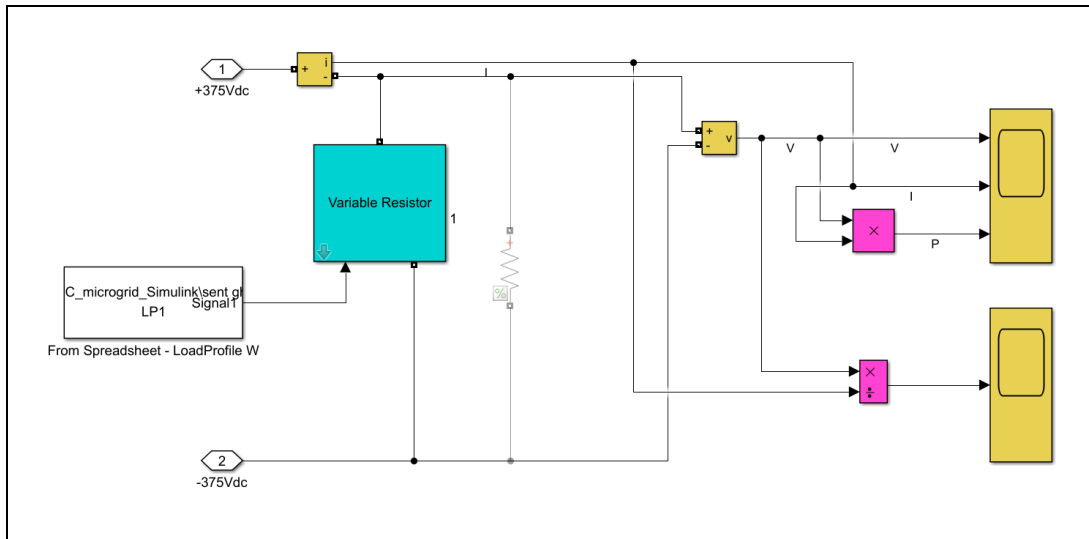
Daire lerin kurulu gücünü dikkate alırsak, her dairede en eş zamanlılık göze almadan önce 11 kW kurulu güç vardır ki peak zamanlarda 0.75 eş zamanlılık katsayısı ile 8.25 kW devreye yükleniyor. koy lerde ve sürekli kullanılmayan yerlerde ise 3kW dan az olmayacak şekilde Türkiye yapısal izinlerin istandartlarında yer almaktadır. Simulinkte tasarlanan yük profili verilerini alarak değişken yük olarak sisteme yerleştirilen devre şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 4.15. Bir Günlük Evsel Yük Profili

Yük güçleri çok fark gösterdiği nedeni ile ve gerilim seçimi kısmında bahs edilen konular yüzünden dağıtımda iki gerilim seviyesi yani 375V ve 750V sistemde vardır.

Teknolojinin her gün daha gelişen akıllı ekipmanlar ve autonomus çalışan cihazlar eskin kullanılan cihazların yerini almışlar mesela elektrikli süpürgelerin yerini otomatik çalışan robot süpürgeler enerjisinin en uygun veya evin boş olduğu zamanlar evi temizleyip ve standına dönerek yeniden şarj olmasını elektriğin uygun olduğu zamanlara planlayabilir. Başka bir Örnek ise çamaşır makinesi yıkanmaya ve kurutulmaya bırakılan çamaşırları en erken ama en optimize elektrik fiyat ve şebeke zamanına denk getirebilir. Bir çok elektrikli alet artık direk elektrik şebekesi yerine pillerle çalıştığından dolayı peak saatinde yüklerin yumuşak davranmasını sonuçlandıracaktır. Aydınlatma yük konusunda büyük paya sahip ve pilli aydınlatmalar sadece kamusal binalarda ve aciliyet taşıyan yerlere ihtisaslandırılmıştır hal bu ki pilli aydınlatmalar konutlarda standart haline gelirse ve aynı zamanda 3 saat kapsamı gereken şimdiki standartları sadece acil durumlar değil peak saatlerini de kapsarsa eğer ve bunu akıllı ev ve akıllı aydınlatma sistemleri kontrol edilmesi pozitif sonuçlar devamında getirecektir. Bu gidiş hattın devam etmesi için enerji yönetim, fiyatlandırma ve prosumer ile katkılı son nokta enerji tüketicisine çekici seçimler sunulması gerekir. Nesnelerin interneti bu konuda en önemli rolü üstlenme kapasitesindedir.

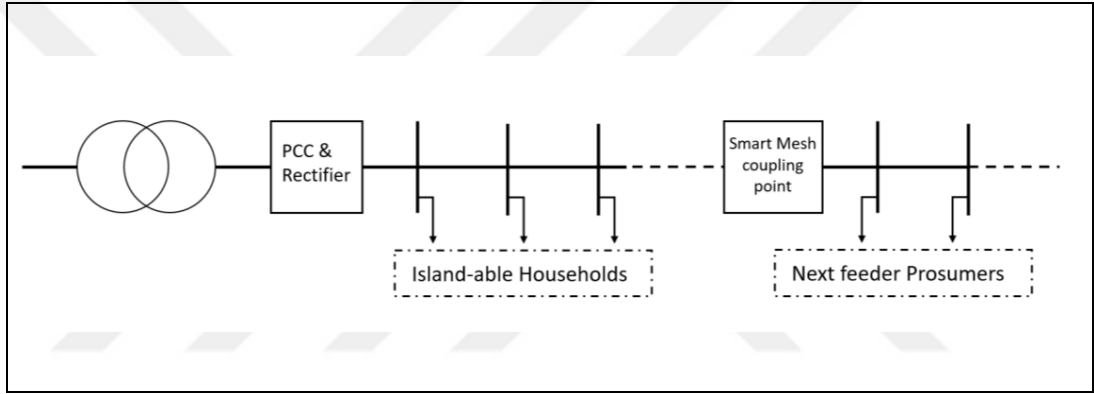


Şekil 4.16. Simulinkte Evsel Yük Profili

#### 4.2.5. DC topoloji, bus ve iletim hatları

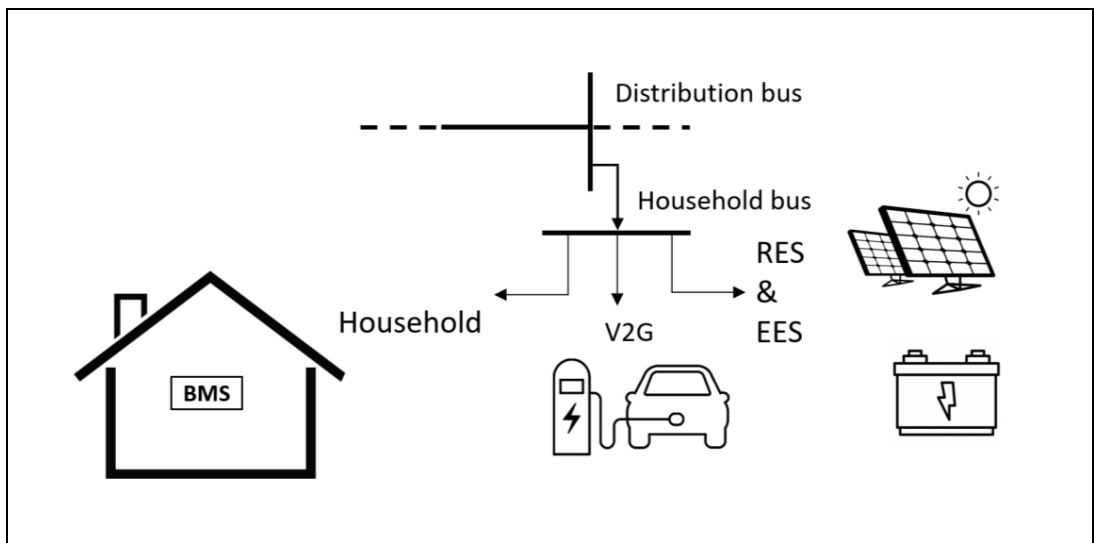
Radyal topolojisi şehirs el enerji dağıtımında en yaygın toloji olması nedeni ile ilk başta radyal olarak simulink simülasyonu tasarlandı.

Ac konvansiyonel sisteme PCC ile bağlantısını sürdüren bu bölge acil durumlarda ada moduna geçebilir. Ama şekilde görüldüğü gibi başka bir Birleşme niktası(Coupling Point) yardımı ile diğer DC dağıtım şebekesine bağlanabilir. Normal AC sistemlerde çok zor ve maliyetli olan coupling point, DC şebekede doğasının gereği daha rahat ve az maliyetli bu işlem yapılabilir. Çünkü daha az parametre kontrol edilmesi gerekir ve polarite ve gerilim seviyesi kontrol edilerek şebeke senkron edilebilir.



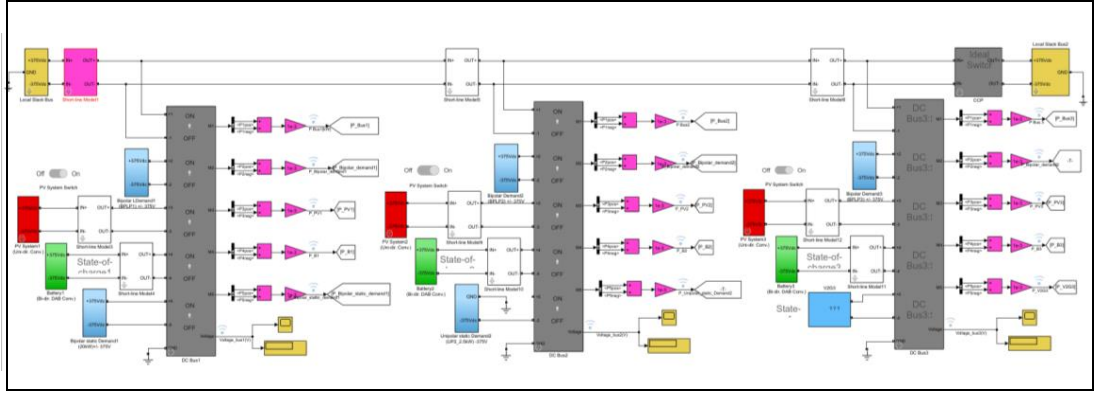
Şekil 4.17. Meshe dönüşe bilen Radyal DC Mikroşebeke topolojisi

DC Mikroşebkenin kurula bilmesi için gerçekleşmesi gereken Ada dönüşümlü Evler Bir parça güçlerini kendileri üretmeli ve depolamalılardır ki bu konsept şekilde verilmiştir.



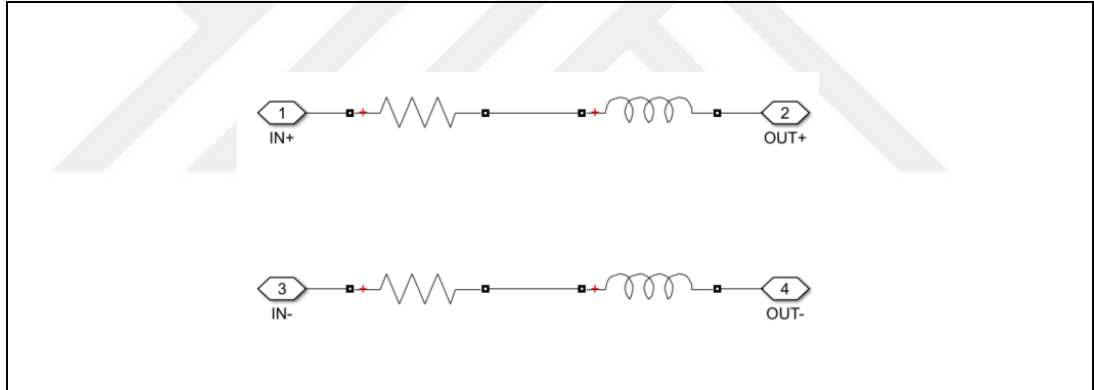
Şekil 4.18. Evsel DC Mikroşebeke de Bus sistemi





Şekil 4.21. Simulikte 3 buslu radyal mesh veya ringe dönüştürülebilir Akıllı DC Mikroşebeke

En fark yaratan meselelerden birisi olan iletim hatları relüktans etkisi kalıcı DC akımlarda etkisi olmasa da anahtarlama ve diğer akım değişim zamanlarında devre ve sisteme etkisi için hat simülasyonunda yer almıştır. uzunluk ve kablo kesitlerine göre bu parametrelerin değeri uygun seçilip simülasyona yerleştirilmiştir.

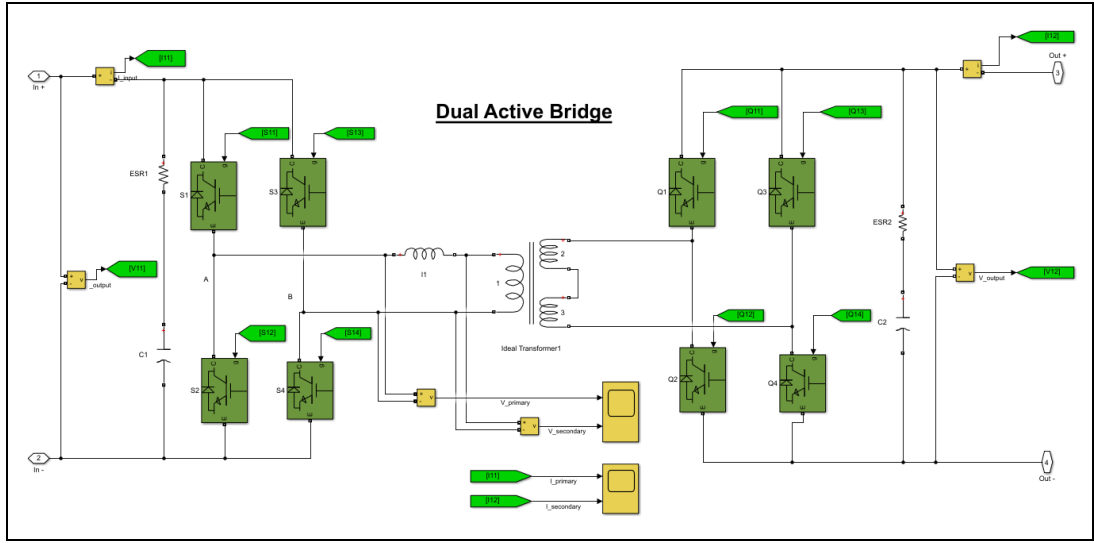


Şekil 4.22. Simulikte iletim hatları ve kabloların modeli

#### 4.2.6. Güç elektronik cihazları

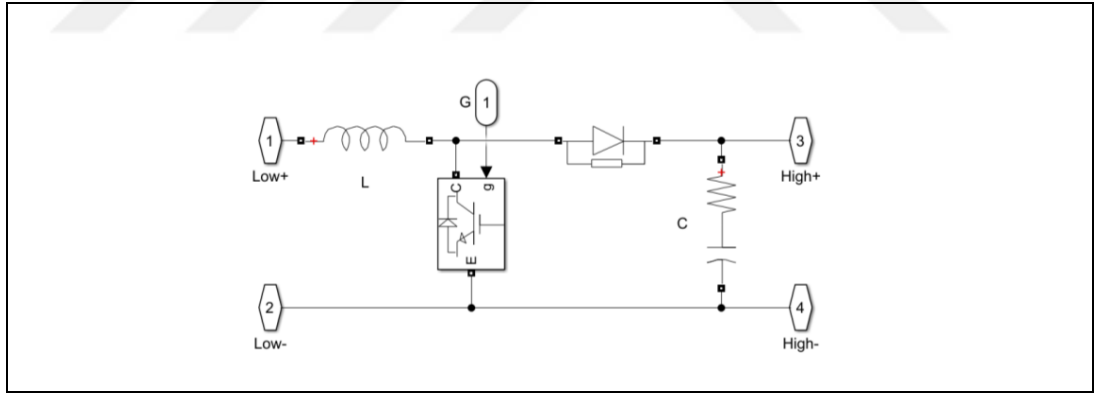
DC elektrik enerji dağıtım sistemin en önemli parçası olmasını idaa etmek yanlış olmaz belki. Çünkü gerilim seviyelerinin değişmesi, AC/DC coupling noktası ve her türlü bağlantı ve anahtarlama ve filter cihazları güç elektroniği kategorisinde yer almakta. burada simüle edilmiş parçalar anlatılmıştır.

enerji depolama sistemi iki yönde akımın akmasını yüksek verimle sağlamalı. Bunun için Çift Aktif Köprü (Dual Active Bridge) modeli şekilde görüldüğü gibi simüle edilmiştir.



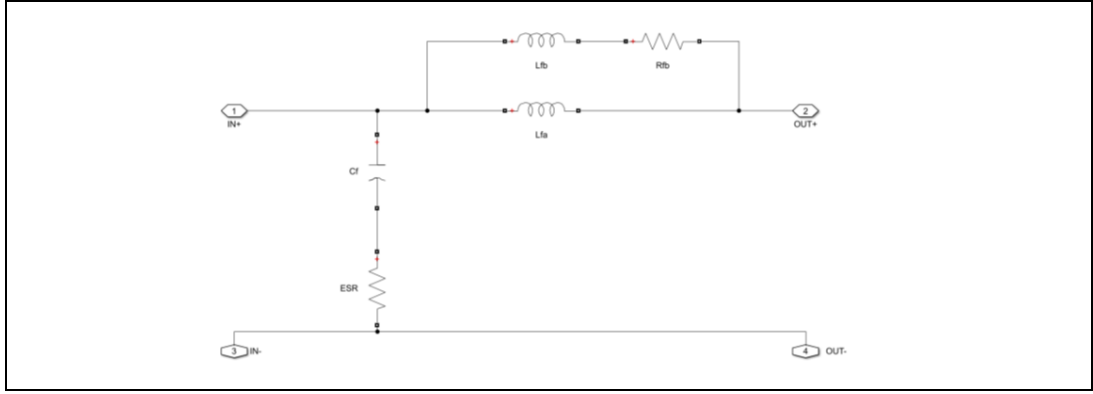
Şekil 4.23. Simulinkte Pil Dual Active Bridge Dönüştürücü modeli

Güneş panelleri farklı güç elektronik devreleri ile şebekeye bağlanabiliyorlar. Burada simülasyon hesap işleminin kaliteli olmasının yanı sıra hızlı olması için tek anahtarlı boost devre modellenmiştir. İlgili şeklin devamında görüldüğü gibi anahtarın kontrolü MPPT devresi modelinden kontrol edilmektedir.



Şekil 4.24. Simulinkte PV tek yönlü boost dönüştürücü simülasyonu

EMI Filter elektromanyetik girişim önlemek amacıyla DC sistemlerde olması en olmazsa olmazlardan dır. Tüm güç elektroniği ve yüklerin giriş çıkışları dağıtım şebekesinin güç kalitesi ve güvenliği, gürültü, ve başka sorunları önlemek için her bölgeye özel tasarlanıp yerleştirilmiştir. EMI şeklinde görüldüğü gibi basic tip EMI filteri tasarlanmıştır ama gerçekte EMI tasarımı kendi başına araştırma ve tasarımlar konusudur ve eğer doğru tasarım yapılmazsa çözeceğini sorunlardan çok daha fazla sorun yaratabilir.

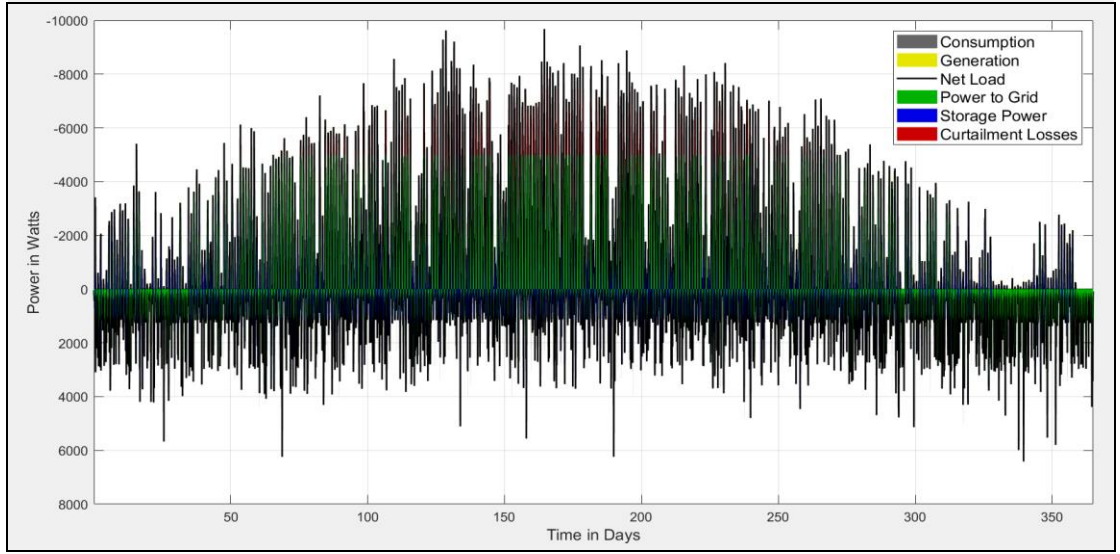


Şekil 4.25. Smulink simülasyonunda EMI filter modeli

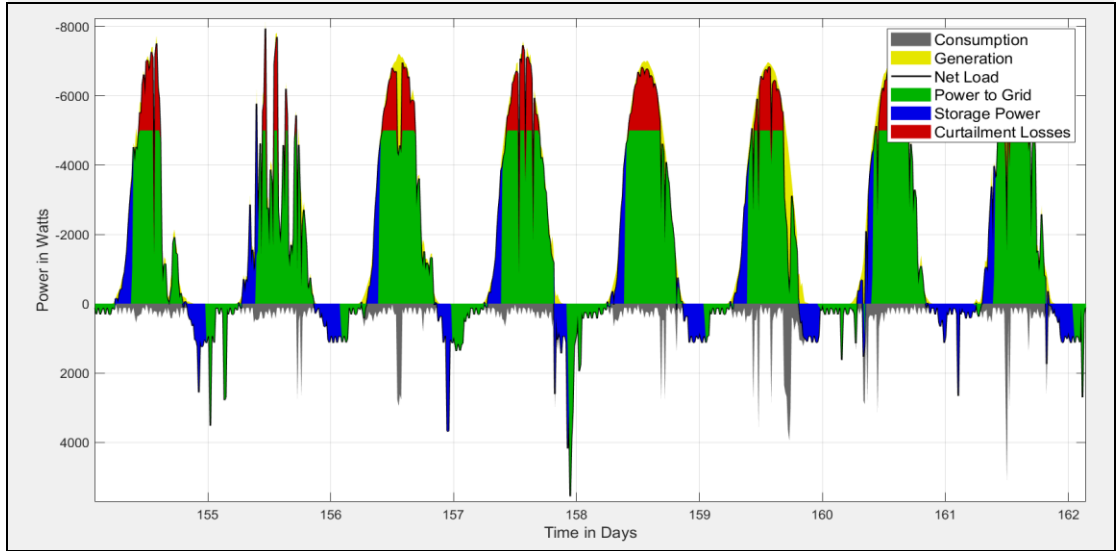
### 4.3. Tartışma ve Simülasyon Sonuçları

Bu bölüm de buraya kadar sistemin parçaları anlatılmıştır ve detayları verilmiştir. Şimdi genel sistemin simülasyon sonuçlarına bakmadan küş balışı ile neler yapıldığını ve neden yapıldığını gözden geçirdiğimizde, [184] de söylendiği gibi şehir ler çatı üstü güneş panelleri kapasitesi ile en az 30% enerjilerini elde edebilirler birde elektrikli arabalar ve diğer enerji depolama sistemleri güç dağıtım sisteminin boş zamanlarını değerlendirdiğini var sayıldığında ve Türkiye case study sin hatırlatırsak her eve bir araba var olduğuna değinirsek yani her evin gelecekte 70kWh enerji depolaya bilir ve bu güç güneş paneli veya enerjinin uygun zamanları ve profilin boş zamanlarından depolayıp peak zamanlarda veya acil elektrik kesinti zamanlarında kullanıla bilir. Böylece sistemin interaktif kullanıcılar la bir arada daha da verimli ve daha güvenilir ve kararlı ve sürdürülebilir yapmak mümkün. şimdi hazırlanan simülasyon da eğer gerilim ve şebeke yükleri karşılaya bilir se ve ayaktalığını anahtarlama ve güç üretim değişimi ve yük değişimi veya anahtarlama zamanlarında ayakta dura bilir se fizibiliti netlenmiş olacaktır.

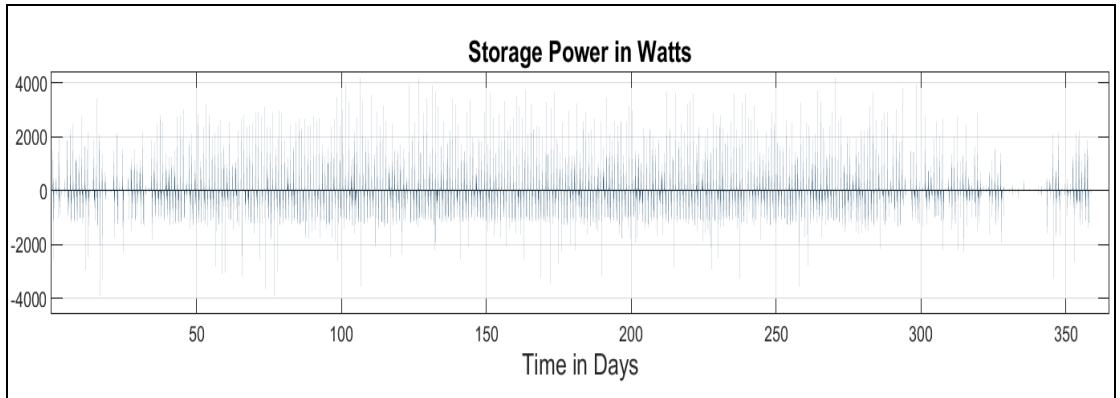
Şekil de görüldüğü gibi bu simülasyonun 24 saat canlı yük profili ve ışıın ve sıcaklık profilleri verisine karşı ve bir de sisteme şarj ve deşarj için bağlana elektrikli araba tamamen düzgün bir şekilde beslenmesi başarılmıştır. gerilim profiline bakıldığında ilk sistem kalkış zamanı hariç tüm anahtar lama ve güç değişim zamanlarında gerilim profili düzlüğünü ve toleransını standartlar çerçevesinde ve hatta daha kaliteli şekilde korumuştur.



Şekil 4.27. Enerji depolama ve diğer güç değişimi eğimi bir yıl

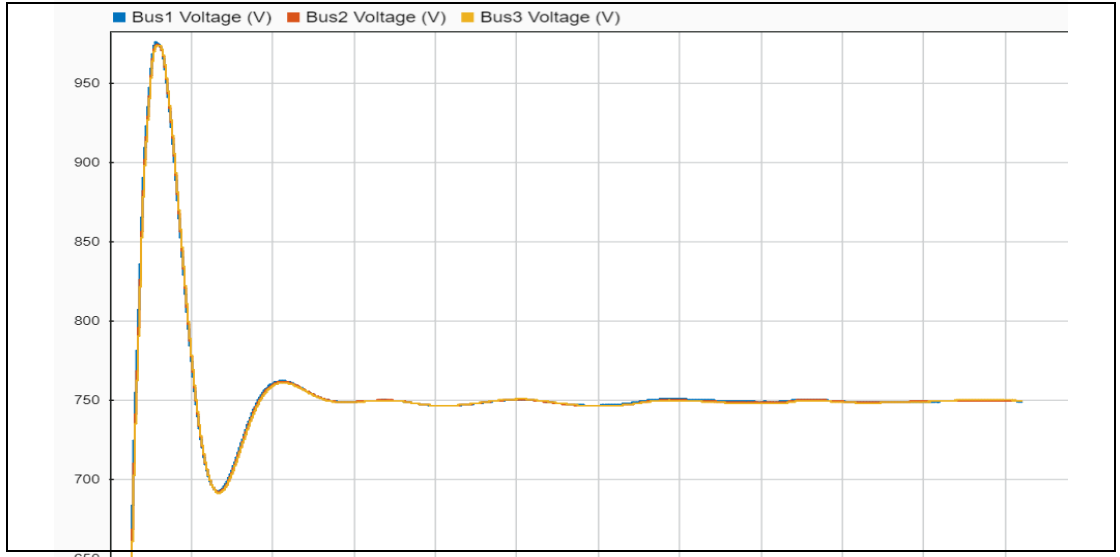


Şekil 4.28. Bir yaz haftası güç değişim eğimi



Şekil 4.26. PV enerji depolama sistem DC sisteminde





Şekil 4.29. Bipolar Bus DC gerilim profili

Burada sistemin kalkış geçici durumundan sonra kararlılığını ve gerilim seviye salmalarının çok hafif olduğunu ve kabul edilebilir olduğunu şekil4.29 de verilmiştir.

## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Akıllı Mikroşebeke, % 100 Yenilenebilir Enerji sistemi hedefine ulaşmak için en umut verici gelişmelerden biri olarak ortaya çıkmıştır. Ancak Akıllı AC Mikroşebekelerin karmaşıklığı, hassasiyeti daha da arttırarak, iletim ve kablo lar üzerindeki verimi düşürerek, diğer yandan dönüştürücü katman sayısını yükselterek ,%100 Yenilenebilir Enerji hedefini ve daha fazlası Autonomus Elektrik enerji sistemini mümkünliğini zorluyor. Gerçi %100 Yenilenebilir Elektrik Enerjisini araştıran Prof. Henrik Lund et al. bu konuyu AC Şebeke altyapısı için araştırmışlar ve çok karmaşık bir altyapıya ihtiyaç duyduğunu yayınlamışlardır. Bu Çalışma %100 Yenilenebilir Enerji yönünde Akıllı DC Mikroşebekenin güçlü potansiyelini ortaya koyarak en çok kullanılan radyal enerji dağıtım topolojisini ve aynı topolojinin Akıllı DC Mikroşebeke Sistemi altyapısında ring ve meş topolojisine çevrilmesini simülasyonlarla göstermiştir. Bu dönüşümün sağlanması elektrik enerji sisteminin daha güvenli ve sürdürülebilir kılar ve aynı zamanda ada moduna geçme gereksinimini erteleyebilir. En önemlisi böylece yenilenebilir enerjilerin sisteme katkı yüzdesi yükselebilir. Simülasyonlarda gözlemlendiği sonuçlara itibaren enerji depolama sistemleri ADCMSŞ nin olmazsa olmazıdır. Aynı yandan enerji depolama sisteminin bataryalarının doğalı nedeniyle DC şebekeye bağlanmasının daha verimli ve yüksek güç elektronik verimine şahit olundu. Inverterler yerine DC-DC dönüştürücüler daha az maliyetli ve aynı zamanda daha yüksek güç kalite değerine sahipliğinden bu artışı sistem özelliklerine eklenmiş oldu.

Yenilenebilir enerji türlerinden şehirlere entegre edilmesi en uygun olan Güneş panelleri için İzmit şehri çatı alanı potansiyeli ve elektrik talebinde şehirlerin payının etkili bir rakamlara ulaşabileceğinin kanaatine varıldı. Geleceğin ulaşım teknolojisi olacak Elektrikli arabaların elektrik enerji sistemine yükü ve olası avantaj ve dezavantajları gözden geçirildi. Elektrikli Arabaların Elektrik sistemine olası dezavantaj veya tehditlerinin ADCMSŞ alt yapısıyla menfaate dönüştürülebilirliği tartışıldı.

Bir kuş bakışıyla ADCMŞ nin konvansiyonel elektrik dağıtım sorunlarından ziyade AC mikroşebekelerin de sorunu olan bazı meselere çözüm olabileceğini göstermiştir. Örneğin sekronlaşma sorunları, yüksek miktarda yenilenebilir enerjinin şebekeye girmesi, harmonikler ve güç kalite soruları ve saire gibi birçok mesleye çözüm kapasitesi farklı bölümlerede araştırılmıştır. ADCMŞ sesteminin yaygın uygulama seviyeye gelmesi için birçok eksik noktası giderilmelidir. İstandart larda bu konuda büyük yoksunlukla lkarşılanır ve devrekesiciler hala araştırma ve yeni teknolojilere ihtiyaç duyuyor. İletişim sistemleri nin uygulanması ve Akıllı sistemin kontrolunu koruması ve yönetiminin bir parçası bu yolla kurulması için hala çok eksiklikler var. Bir sonraki araştırmalarda Akıllı sistemlerin iletişimi ve işletim sistemlerinde algoritma ve simulasyonlar la 5G iletişiminin bu konuda sağlayabilecek ilerlemeleri Üzerine çalışılacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] Park B., *A history of electricity (The intellectual rise in electricity) from antiquity to the days of Benjamin Franklin*, Wiley, 1985.
- [2] Cresswell J., *Oxford Dictionary of Word Origins*, Oxford University Press., 2010.
- [3] Chen E., Chen A., *The Electron Capture Detector and The Study of Reactions With Thermal Electrons*, Wiley., 2004.
- [4] Bayati N., Hajizadeh A., Soltani M., Protection in DC microgrids: a comparative review, *IET Smart Grid*, 2018, **1**(3), 66–75.
- [5] Zhang L., Nengling T., Huang W., Jian L., Yanhong W., A review on protection of DC microgrids, *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 2018, **6**(6), 1113–1127.
- [6] International Energy agency, Key world energy statistics, 2018, **1**(1), p. 14.
- [7] Rahman S., Power management and control of hybrid AC/DC microgrids integrated with renewable energy sources and electric vehicles, Doktora Tezi, 2018.
- [8] Alam A., Tao L., Habib K., Khan S., Model predictive control for disturbance rejection and robust stability in Buck-Boost converter, *2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*, 892–895.
- [9] Lasseter R., Paigi P., Microgrid: A Conceptual Solution, *Proc. IEEE Power Electron. Spec. Conf. (PESC 2004)*, Temmuz 2004, 4285–4290.
- [10] Lasseter R., Microgrids, *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting(PES)*, New York, Ocak 2002, 305–308.
- [11] Cuzner R., Venkataramanan G., The Status of DC Micro-Grid Protection, *2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, 2008, 1–8.
- [12] George K., DC Power Production, Delivery and Utilization: An EPRI White Paper, *EPRI Solutions, Inc.* 2006().
- [13] Qiu D., Fault protection in DC microgrids based on autonomous operation of all components, Doktora Tezi, University of South Carolina, 2017.
- [14] Belwin J., Brearley, Raja R., A review on issues and approaches for microgrid protection, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2017, **67**(2), 988–997.

- [15] Cairoli P., Rodrigues R., Zheng H., Fault current limiting power converters for protection of DC microgrids, *SoutheastCon 2017*, Şubat 2017, 1–7.
- [16] Manohar P., Ahmed W., Superconducting fault current limiter to mitigate the effect of DC line fault in VSC-HVDC system, *2012 International Conference on Power, Signals, Controls and Computation*, Ocak 2012, 1–6.
- [17] de Oliveira R., Bolzon S., Donoso-Garcia P., Grounding and safety considerations for residential DC microgrids, *IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Ekim 2014, 5526–5532.
- [18] Amamra S., Ahmed H., El-Sehiemy R., Firefly Algorithm Optimized Robust Protection Scheme for DC Microgrid, *Electric Power Components and Systems*, 2017, **45**(10), 1141–1151.
- [19] Ahmed E., Ahmed M., Osama M., DC microgrids and distribution systems: An overview, *Electric Power Systems Research*, 2015, **119**(4), 407–417.
- [20] Jin Z., Savaghebi M., Vasquez J., Meng L., Guerrero J., Maritime DC microgrids - a combination of microgrid technologies and maritime onboard power system for future ships, *2016 IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia)*, Mayıs 2016, 179–184.
- [21] Mirzaee H., Bhattacharya S., Bala S., A high power medium-voltage dc amplifier system, *2011 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition*, Eylül 2011, 4043–4050.
- [22] Schulz N., Hebner R., Dale S., Dougal R., Sudhoff S., Zivi E., Chryssostomidis C., The US ESRDC advances power system research for shipboard systems, *2008 43rd International Universities Power Engineering Conference, IEEE*, 2008, 1–4.
- [23] Lee K., Ukil A., Yeap Y., Short-circuit protection for MV LVDC grid, *2014 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, Kasım 2014, 1–6.
- [24] Yang J., Fletcher J., O'Reilly J., Short-Circuit and Ground Fault Analyses and Location in VSC-Based DC Network Cables, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2012, **59**(10), 3827–3837.
- [25] Baran M., Mahajan N., DC distribution for industrial systems: opportunities and challenges, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2003, **39**(6), 1596–1601.
- [26] IEEE Recommended Practice for the Design of DC Auxiliary Power Systems for Generating Systems, *IEEE Std 946-2004 (Revision of IEEE Std 946-1992)*, 2005, **1**(1), 1–40.
- [27] Salomonsson D., Modeling, control and protection of low-voltage DC microgrids, Doktora Tezi, KTH, 2008.

- [28] Planas E., Asier G., Andreu J., Kortabarria I., Alegria M., General aspects, hierarchical controls and droop methods in microgrids: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, **17**(1), 147–159.
- [29] Ghanbari T., Farjah E., Unidirectional Fault Current Limiter: An Efficient Interface Between the Microgrid and Main Network, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013, **28**(2), 1591–1598.
- [30] AL-NUSSAIRI M., Bayindir R., Sanjeevikumar P., MIHET-POPA L., Siano P., Constant Power Loads (CPL) With Microgrids: Problem Definition, Stability Analysis and Compensation Techniques, *Energies*, 2017, **10**(5).
- [31] Ghisla U., Kondratiev I., Dougal R., Protection of medium voltage DC power systems against ground faults and negative incremental impedances, *Proceedings of the IEEE SoutheastCon 2010 (SoutheastCon)*, Şubat 2010, 259–263.
- [32] Satpathi K., Thukral N., Ukil A., Zagrodnik M., Directional protection scheme for MVDC shipboard power system, *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Ekim 2016, 3840–3847.
- [33] Monadi M., Zamani M., Candela J., Luna A., Rodriguez P., Protection of AC and DC distribution systems Embedding distributed energy resources: A comparative review and analysis, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2015, **51**(6), 1578–1593.
- [34] Park J., Candelaria J., Fault Detection and Isolation in Low-Voltage DC-Bus Microgrid System, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2013, **28**(2), 779–787.
- [35] Li X., Song Q., Liu W., Rao H., Xu S., Li L., Protection of Nonpermanent Faults on DC Overhead Lines in MMC-Based HVDC Systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2013, **28**(1), 483–490.
- [36] Salomonsson D., Soder L., Sannino A., Protection of Low-Voltage DC Microgrids, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2009, **24**(3), 1045–1053.
- [37] Cuzner R., MacFarlin D., Clinger D., Rumney M., Castles G., Circuit breaker protection considerations in power converter-fed DC Systems, *2009 IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, Şubat 2009, 360–367.
- [38] R Morel, Schneider Cahier technique no154–LV circuit breaker breaking technique, 2000, **53**(8).
- [39] Doan D., Arc Flash Calculations for Exposures to DC Systems, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2010, **46**(6), 2299–2302.
- [40] Jin C., Dougal R., Liu S., Solid-state Over-current Protection for Industrial DC Distribution Systems, Haziran 2006.
- [41] Kerf K., Srivastava K., Reza M., Bekaert D., Cole S., Hertem D., Belmans R., Wavelet-based protection strategy for DC faults in multi-terminal VSC HVDC systems, *IET Generation, Transmission Distribution*, 2011, **5**(4), 496–503.

- [42] Peng C., Huang A., A protection scheme against DC faults VSC based DC systems with bus capacitors, *2014 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - APEC 2014*, Şubat 2014, 3423–3428.
- [43] Ustun T., Ozansoy C., Zayegh A., A microgrid protection system with central protection unit and extensive communication, *2011 10th International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Mayıs 2011, 1–4.
- [44] Reza M., Gandomkar M., Mirsaeidi S., Nasiban H., Microgrid Protection by Designing a Communication-Assisted Digital Relay, *American Journal of Scientific Research (AJSR)*, 2012, **22**(9), 62–68.
- [45] Kwasinski A., Onwuchekwa C., Dynamic Behavior and Stabilization of DC Microgrids With Instantaneous Constant-Power Loads, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2011, **26**(3), 822–834.
- [46] Magne P., Nahid-Mobarakeh B., Pierfederici S., Dynamic consideration of DC microgrids with constant power loads and active damping system—A design method for fault-tolerant stabilizing system, *IEEE Journal of emerging and selected topics in power electronics*, 2014, **2**(3), 562–570.
- [47] Kamel M., Nagasaka K., Effect of load type on standalone micro grid fault performance, *Applied energy*, 2015, **160**(1), 532–540.
- [48] Prempraneerach P., Karniadakis G., Chrysostomidis C., Technical Report DC protection, 2011, **27**(8).
- [49] Kemal M., Comparison the Performances of Three Earthing Systems for Micro-Grid Protection during the Grid Connected Mode, *Smart Grid and Renewable Energy*, 2011, **02**(2), 206–215.
- [50] Mirsaeidi S., Said D., Mustafa M., Habibuddin M., Ghaffari K., Progress and problems in micro-grid protection schemes, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2014, **37**(1), 834–839.
- [51] Girgis A., Brahma S., Effect of distributed generation on protective device coordination in distribution system, *LESCOPE 01. 2001 Large Engineering Systems Conference on Power Engineering. Conference Proceedings. Theme: Powering Beyond 2001 (Cat. No.01ex490)*, Temmuz 2001, 115–119.
- [52] Li W., Monti A., Ponci F., Fault Detection and Classification in Medium Voltage DC Shipboard Power Systems With Wavelets and Artificial Neural Networks, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 2014, **63**(11), 2651–2665.
- [53] Baran E., Mahajan R., Overcurrent Protection on Voltage Source Converter Based Multiterminal DC Distribution Systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2007, **22**(1), 406–412.
- [54] Cairoli P., Dougal A., New Horizons in DC Shipboard Power Systems: New fault protection strategies are essential to the adoption of dc power systems. *IEEE Electrification Magazine*, 2013, **1**(2), 38–45.

- [55] Gnana-Swathika V., Hemamalini S., Prims aided dijkstra algorithm for adaptive protection in microgrids, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2016, **4**(4), 1279–1286.
- [56] Beheshtaein S., Savaghebi M., Vasquez C., Guerrero M., Protection of AC and DC microgrids: Challenges, solutions and future trends, *IECON - 41st Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Kasım 2015, 005253–005260.
- [57] Malekpour R., Niknam T., Pahwa A., Kavousi-Fard A., Multi-Objective Stochastic Distribution Feeder Reconfiguration in Systems With Wind Power Generators and Fuel Cells Using the Point Estimate Method, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013, **28**(2), 1483–1492.
- [58] Kou W., Wei D., Fault ride through strategy of inverter-interfaced microgrids embedded in distributed network considering fault current management, *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 2018, **15**(1), 43–52.
- [59] Kermani M., Transient voltage and frequency stability of an isolated microgrid based on energy storage systems, *2016 IEEE 16th International Conference on Environment and Electrical Engineering (EEEIC)*, Haziran 2016, 1–5.
- [60] Paul D., DC traction power system grounding, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2002, **38**(3), 818–824.
- [61] Shang L., Herold G., Jaeger J., Krebs R., Kumar A., High-speed fault identification and protection for HVDC line using wavelet technique, *2001 IEEE Porto Power Tech Proceedings (Cat. No.01EX502)*, Eylül 2001, 5–11.
- [62] Meghwani A., Srivastava C., Chakrabarti S., A Non-unit Protection Scheme for DC Microgrid Based on Local Measurements, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2017, **32**(1), 172–181.
- [63] Farhadi M., Mohammed A., A New Protection Scheme for Multi-Bus DC Power Systems Using an Event Classification Approach, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2016, **52**(4), 2834–2842.
- [64] Tang L., Ooi B., Locating and Isolating DC Faults in Multi-Terminal DC Systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2007, **22**(3), 1877–1884.
- [65] Dhar S., Patnaik K., Dash K., Fault Detection and Location of Photovoltaic Based DC Microgrid Using Differential Protection Strategy, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2018, **9**(5), 4303–4312.
- [66] Aly M., El-Sayed H., Enhanced fault location algorithm for smart grid containing wind farm using wireless communication facilities, *IET Generation, Transmission Distribution*, 2016, **10**(9), 2231–2239.
- [67] Fletcher A., Norman J., Fong K., Galloway J., Burt M., High Speed Differential Protection for Smart DC Distribution Systems, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2014, **5**(5), 2610–2617.



- [68] Lin H., Guerrero M., Jia C., Tan Z., Vasquez C., Liu C., Adaptive overcurrent protection for microgrids in extensive distribution systems, *IECON 2016 - 42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Ekim 2016, 4042–4047.
- [69] Rockefeller D., Wagner L., Linders R., Hicks L., Rzy T., Adaptive transmission relaying concepts for improved performance, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1988, **3**(4), 1446–1458.
- [70] Li W., Luo M., Monti A., Ponci F., Wavelet based method for fault detection in Medium Voltage DC shipboard power systems, *2012 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings*, Mayıs 2012, 2155–2160.
- [71] Kerf D., Srivastava K., Reza M., Bekaert D., Cole S., Hertem V., Belmans R., Wavelet based protection strategy for DC faults in multi terminal VSC HVDC systems, *IET Generation, Transmission Distribution*, 2011, **5**(4), 496–503.
- [72] Baran, Mahajan, PEBB Based DC System Protection: Opportunities and Challenges, *2005/2006 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition*, Mayıs 2006, 705–707.
- [73] Brozek P., DC overcurrent protection where we stand, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1993, **29**(5), 1029–1032.
- [74] Gregory D., Applying low voltage circuit breakers in direct current systems, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1995, **31**(4), 650–657.
- [75] Tennakoon B., McEwan M., Short circuit interruption performance of thyristor circuit breakers, *Proceedings of 1994 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition - ASPEC 94*, Şubat 1994, 832–838.
- [76] Devarajan B., Modeling of a DC fuse for protection of semiconductor devices using PSCAD/EMTDC, Doktora Tezi, The university of Texas at Austin, 2010.
- [77] Sadiq N., Noor T., Selecting fuses: simple procedures to get the right overcurrent protection for DC–DC converters, *Power Electronics Technology*, 2010, **32**(7).
- [78] Qader R., Hedaia A., Qamber I., Influence of System Parameters on Fuse Protection Use in Regenerative DC Drives, *Energies*, 2009, **2**(3).
- [79] Ouaida R., De-Palma F., Gonthier G., Hybrid protection based on pyroswitch and fuse technologies for DC applications, *Symp. Genie Electrique, Grenoble*, 2016, **95**(9).
- [80] Soon L., Lu D., Design of Fuse–MOSFET Pair for Fault-Tolerant DC/DC Converters, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2016, **31**(9), 6069–6074.
- [81] Candelaria J., Park J., VSC-HVDC system protection A review of current methods, *2011 IEEE/PES Power Systems Conference and Exposition*, Şubat 2011, 1–7.

- [82] Franck M., HVDC Circuit Breakers: A Review Identifying Future Research Needs, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2011, **26**(2), 998–1007.
- [83] Bachmann B., Mauthe G., Ruoss E., Lips P., Porter J., Vithayathil J., Development of a 500kV Airblast HVDC Circuit Breaker, *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, 1985, **104**(9), 2460–2466.
- [84] Pauli B., Mauthe G., Ruoss E., Ecklin G., Porter J., VithayathilJ., Development of a high current HVDC circuit breaker with fast fault clearing capability, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1988, **3**(4), 2072–2080.
- [85] Sano K., Takasaki M., A Surgeless Solid-State DC Circuit Breaker for Voltage-Source-Converter-Based HVDC Systems, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2014, **50**(4), 2690–2699.
- [86] Genji T., Nakamura O., Isozaki M., Yamada M., Morita T., Kaneda M., 400 V class high-speed current limiting circuit breaker for electric power system, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 1994, **9**(3), 1428–1435.
- [87] Oishi M., Suzuki A., Hagiwara M., Akagi H., A Hybrid DC Circuit Breaker Combining a Multilevel Converter and Mechanical Contactors: Verification of the Principles of Operation by Experiment and Simulation, *IEEE Transactions on Industry Applications*, **136**(3), 595–603.
- [88] Chang H., Sennett R., Avestruz A., Leeb B., Kirtley L., Analysis and Design of DC System Protection Using Z-Source Circuit Breaker, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2016, **31**(2), 1036–1049.
- [89] Corzine K., Dc micro grid protection with the z-source breaker, *IECON 2013 - 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Kasım 2013, 2197–2204.
- [90] Commerton J., Zahzah M., Khersonsky Y., Solid state transfer switches and current interruptors for mission-critical shipboard power systems, *IEEE Electric Ship Technologies Symposium, 2005*. Temmuz 2005, 298–305.
- [91] Sathyan S., Suryawanshi M., Singh B., Chakraborty C., Verma V., BallalS., ZVS–ZCS High Voltage Gain Integrated Boost Converter for DC Microgrid, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2016, **63**(11), 6898–6908.
- [92] Zhang Y., Liang C., Over-current protection scheme for SiC power MOSFET DC circuit breaker, *2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Eylül 2014, 1967–1971.
- [93] Mohan N., Undeland T., Robbins W., *Power Electronics. Converters, Applications and Design*, third, John Wiley and Sons, Inc, 2003.
- [94] Schmerda F., Krstic S., Wellner L., Bendre R., IGCTs vs. IGBTs for circuit breakers in advanced ship electrical systems, *2009 IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, Şubat 2009, 400–405.

- [95] Flourentzou N., Agelidis G., Demetriades D., VSC-Based HVDC Power Transmission Systems: An Overview, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2009, **24**(3), 592–602.
- [96] Iwamoto H., Satoh K., Yamamoto M., Kawakami A., High-power semiconductor device: a symmetric gate commutated turn-off thyristor, *IEE Proceedings - Electric Power Applications*, 2001, **148**(4), 363–368.
- [97] Schmerda F., Krstic S., Wellner L., Bendre R., IGCTs vs. IGBTs for circuit breakers in advanced ship electrical systems, *2009 IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, Şubat 2009, 400–405.
- [98] Xu Z., Zhang B., Sirisukprasert S., Zhou X., Huang Q., The emitter turn-off thyristor-based DC circuit breaker, *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309)*, Ocak 2002, 288–293.
- [99] Peng C., Huang Q., Song X., Current commutation in a medium voltage hybrid DC circuit breaker using 15 kV vacuum switch and SiC devices, *2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Şubat 2015, 2244–2250.
- [100] Peng C., Song X., Rezaei A., Huang X., Widener C., Huang Q., Steurer M., Development of medium voltage solid-state fault isolation devices for ultra-fast protection of distribution systems, *IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Ekim 2014, 5169–5176.
- [101] Huang A., Liu Y., Chen Q., Li J., Song W., Emitter turn-off (ETO) thyristor, ETO light converter and their grid applications, *2009 IEEE Power Energy Society General Meeting*, Temmuz 2009, 1–8.
- [102] Park J., Candelaria J., Ma L., Dunn K., DC Ring-Bus Microgrid Fault Protection and Identification of Fault Location, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2013, **28**(4), 2574–2584.
- [103] Munasib S., Balda J., Short-circuit protection for low-voltage DC microgrids based on solid-state circuit breakers, *2016 IEEE 7th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, Haziran 2016, 1–7.
- [104] Meyer J., Rufer A., A DC hybrid circuit breaker with ultra-fast contact opening and integrated gate-commutated thyristors (IGCTs), *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2006, **21**(2), 646–651.
- [105] Satpathi K., Ukil A., Pou J., Short-Circuit Fault Management in DC Electric Ship Propulsion System: Protection Requirements, Review of Existing Technologies and Future Research Trends, *IEEE Transactions on Transportation Electrification*, 2018, **4**(1), 272–291.
- [106] Cairoli P., Kondratiev I., Dougal R., Coordinated Control of the Bus Tie Switches and Power Supply Converters for Fault Protection in DC Microgrids, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2013, **28**(4), 2037–2047.

- [107] Soto D., Sloderbeck M., Ravindra H., Steurer M., Advances to megawatt scale demonstrations of high speed fault clearing and power restoration in breakerless MVDC shipboard power systems, *2017 IEEE Electric Ship Technologies Symposium (ESTS)*, Ağustos 2017, 312–315.
- [108] Shi Y., Li H., Isolated Modular Multilevel DC–DC Converter With DC Fault Current Control Capability Based on Current-Fed Dual Active Bridge for MVDC Application, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2018, **33**(3), 2145–2161.
- [109] Babaei M., Shi J., Abdelwahed S., A Survey on Fault Detection, Isolation, and Reconfiguration Methods in Electric Ship Power Systems, *IEEE Access*, 2018, **6**(1), 9430–9441.
- [110] Hooshyar H., Baran M., Fault Analysis on Distribution Feeders With High Penetration of PV Systems, *IEEE Transactions on Power Systems*, 2013, **28**(3), 2890–2896.
- [111] Dhar S., Dash P., Adaptive threshold based new active islanding protection scheme for multiple PV based microgrid application, *IET Generation, Transmission Distribution*, 2017, **11**(1), 118–132.
- [112] Dhar S., Dash P., Differential current-based fault protection with adaptive threshold for multiple PV-based DC microgrid, *IET Renewable Power Generation*, 2017, **11**(6), 778–790.
- [113] Sartika L., Rosyadi M., Umemura A., Takahashi R., Tamura J., Stabilization of PMSG based wind turbine under network disturbance by using new buck controller system for DC-link protection, *5th IET International Conference on Renewable Power Generation (RPG) 2016*, Eylül 2016, 1–5.
- [114] Sava N., Costinas S., Golovanov N., Leva S., Duong Q., Comparison of Active Crowbar Protection Schemes for DFIGs Wind Turbines, Mayıs 2014.
- [115] Abad G., Lopez J., Rodriguez M., *Doubly fed induction machine: modeling and control for wind energy generation*, John Wiley & Sons, 2011.
- [116] Yang J., Fletcher J., O'Reilly J., A Series Dynamic Resistor Based Converter Protection Scheme for Doubly Fed Induction Generator During Various Fault Conditions, *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2010, **25**(2), 422–432.
- [117] Yunus A., Abu-Siada A., Masoum M., Impact of DC-link fault on the dynamic performance of DFIG, *2012 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Temmuz 2012, 1–6.
- [118] Yao J., Li H., Liao Y., Chen Z., An Improved Control Strategy of Limiting the DC-Link Voltage Fluctuation for a Doubly Fed Induction Wind Generator, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2008, **23**(3), 1205–1213.
- [119] Coffele F., Booth C., Dysko A., Burt G., Quantitative analysis of network protection blinding for systems incorporating distributed generation, *IET Generation, Transmission Distribution*, 2012, **6**(12), 1218–1224.

- [120] Rakhra P., Norman P., Fletcher S., Galloway S., Burt G., Evaluation of the Impact of High-Bandwidth Energy-Storage Systems on DC Protection, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2016, **31**(2), 586–595.
- [121] Dragičević T., Lu X., Vasquez J., Guerrero J., DC Microgrids—Part II: A Review of Power Architectures, Applications, and Standardization Issues, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2016, **31**(5), 3528–3549.
- [122] Paul D., DC traction power system grounding, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2002, **38**(3), 818–824.
- [123] Baran M., Mahajan N., DC distribution for industrial systems: opportunities and challenges, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2003, **39**(6), 1596–1601.
- [124] Park J., Ground Fault Detection and Location for Ungrounded DC Traction Power Systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2015, **64**(12), 5667–5676.
- [125] Valdes M., Papallo T., Premerlani B., Finding fault - Locating a ground fault in low-voltage, high-resistance grounded systems via the single-processor concept for circuit protection, *IEEE Industry Applications Magazine*, 2007, **13**(5), 24–30.
- [126] Yang J., Fletcher J., O'Reilly J., Short-Circuit and Ground Fault Analyses and Location in VSC-Based DC Network Cables, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2012, **59**(10), 3827–3837.
- [127] Jacobson B., Walker J., Grounding Considerations for DC and Mixed DC and AC Power Systems, *Naval Engineers Journal*, 2007, **119**(1), 49–62.
- [128] Lee C., Lu C., Assessment of grounding schemes on rail potential and stray currents in a DC transit system, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2006, **21**(4), 1941–1947.
- [129] Park J., Candelaria J., Fault Detection and Isolation in Low-Voltage DC-Bus Microgrid System, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2013, **28**(2), 779–787.
- [130] Fletcher S., Norman P., Galloway S., Burt G., Determination of protection system requirements for dc unmanned aerial vehicle electrical power networks for enhanced capability and survivability, *IET Electrical Systems in Transportation*, 2011, **1**(4), 137–147.
- [131] Fletcher S., Norman P., Galloway S., Crolla P., Burt G., Optimizing the Roles of Unit and Non-unit Protection Methods Within DC Microgrids, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, **3**(4), 2079–2087.
- [132] Yang J., Fletcher J., O'Reilly J., Multiterminal DC Wind Farm Collection Grid Internal Fault Analysis and Protection Design, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2010, **25**(4), 2308–2318.

- [133] Cuzner R., Venkataramanan G., The Status of DC Micro-Grid Protection, *Kasım* 2008, 1–8.
- [134] Meyer C., Schroder S., De-Doncker R., Solid-state circuit breakers and current limiters for medium-voltage systems having distributed power systems, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2004, **19**(5), 1333–1340.
- [135] Lawes D., Ran L., Xu Z., Design of a solid-state D.C. circuit breaker for light rail transit power supply network, *2014 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Eylül 2014, 350–357.
- [136] Zheng H., Lin H., Du Y., Designing and research of a novel current limiting DC hybrid circuit breaker with the combinatorial electronic switch, *2015 IEEE Innovative Smart Grid Technologies - Asia (ISGT ASIA)*, Kasım 2015, 1–5.
- [137] Wen W., Huang Y., Sun Y., Wu J., Al-Dweikat M., Liu W., Research on Current Commutation Measures for Hybrid DC Circuit Breakers, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2016, **31**(4), 1456–1463.
- [138] Bucher M., Walter M., Pfeiffer M., Franck C., Options for ground fault clearance in HVDC offshore networks, *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Eylül 2012, 2880–2887.
- [139] Monadi M., Koch Ciobotaru C., Luna A., Ignacio J., Rodriguez P., Multi-terminal medium voltage DC grids fault location and isolation, *IET Generation, Transmission Distribution*, 2016, **10**(14), 3517–3528.
- [140] Mobarrez M., Kashani M., Bhattacharya S., Adapa R., Comparative study of DC circuit breakers using realtime simulations, *IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Ekim 2014, 3736–3742.
- [141] Shen Z., Miao Z., Roshandeh A., Solid state circuit breakers for DC micrgrids: Current status and future trends, *2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, Haziran 2015, 228–233.
- [142] Urciuoli D., Veliadis V., Ha H., Lubomirsky V., Demonstration of a 600-V, 60-A, bidirectional silicon carbide solid-state circuit breaker, *2011 Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, Şubat 2011, 354–358.
- [143] Urciuoli D., Ibitayo D., Koebke G., Ovrebo G., Green R., A compact 100-A, 850-V, silicon carbide solid-state DC circuit breaker, *2016 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Eylül 2016, 1–5.
- [144] Peng C., Song X., Rezaei M., Huang X., Widener C., Huang A., Steurer M., Development of medium voltage solid-state fault isolation devices for ultra-fast protection of distribution systems, *IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Ekim 2014, 5169–5176.
- [145] Peng C., Song X., Huang A., Husain I., A Medium-Voltage Hybrid DC Circuit Breaker—Part II: Ultrafast Mechanical Switch, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 2017, **5**(1), 289–296.

- [146] Li L., Ma P., Wang Y., A novel method for DC system grounding fault monitoring on-line and its realization, *2008 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Eylül 2008, 1813–1816.
- [147] Chew S., Tseng K., A line to ground fault detection technique for ELVDC distribution system in built environment, *2016 IEEE 7th International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, Haziran 2016, 1–7.
- [148] Dong C., He J., Wang X., Xu J., Yu L., bo Z., High-resistance grounding fault detection and location in DC railway system, Ocak 2012, 1–5.
- [149] Anand S., Fernandes B., Optimal voltage level for DC microgrids, *IECON 2010 - 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society*, Kasım 2010, 3034–3039.
- [150] Wiginton L., Nguyen H., Pearce J., Quantifying rooftop solar photovoltaic potential for regional renewable energy policy, *Computers, Environment and Urban Systems*, 2010, **34**(4), 345–357.
- [151] Lawrence T., Boudreau M., Helsen L., Henze G, Mohammadpour J., Noonan D., Patteeuw D., Pless S., Watson R., Ten questions concerning integrating smart buildings into the smart grid, *Building and Environment*, 2016, **108**(1), 273–283.
- [152] Kaipia T., Salonen P., Lassila J., Partanen J., Possibilities of the low voltage DC distribution systems, *Proc. NORDAC 2006 conference, Stockholm*, 2006.
- [153] Rodriguez E., Savaghebi M., Vasquez J., Guerrero J., An overview of low voltage DC distribution systems for residential applications, *2015 IEEE 5th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, Eylül 2015, 318–322.
- [154] Salonen P., Kaipia T., Nuutinen P., Peltoniemi P., Partanen J., An LVDC distribution system concept, *Nordic Workshop on Power and Industrial Electronics, 2008*, Haziran 2008, 1–7.
- [155] Kakigano H., Miura Y., Ise T., Low-Voltage Bipolar-Type DC Microgrid for Super High Quality Distribution, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2010, **25**(12), 3066–3075.
- [156] Jhunjhunwala A., Lolla A., Kaur P., Solar-dc Microgrid for Indian Homes: A Transforming Power Scenario, *IEEE Electrification Magazine*, 2016, **4**(2), 10–19.
- [157] Karppanen J., Kaipia T., Nuutinen P., Lana A., Peltoniemi P., Pinomaa A., Mattsson A., Partanen J., Cho J., Kim J., Effect of Voltage Level Selection on Earthing and Protection of LVDC Distribution Systems, *11th IET International Conference on AC and DC Power Transmission*, Şubat 2015, 1–8.

- [158] Kakigano H., Miura Y., Ise T., Uchida R., DC Voltage Control of the DC Microgrid for Super High Quality Distribution, *2007 Power Conversion Conference - Nagoya, Şubat 2007*, 518–525.
- [159] Brissette A., Carr J., Cui T., Xu J., Qi L., Analysis of emerging technology for DC-enabled smart homes, *2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, Haziran 2015, 171–174.
- [160] Wang C., Jain P., A quantitative comparison and evaluation of 48V DC and 380V DC distribution systems for datacenters, *2014 IEEE 36th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, Eylül 2015, 1–7.
- [161] Paul D., DC traction power system grounding, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2002, **38**(3), 818–824.
- [162] Noritake M., Iino T., Fukui A., Hirose K., Yamasaki M., A study of the safety of the DC 400 V distribution system, *INTELEC 2009 - 31st International Telecommunications Energy Conference*, Ekim 2009, 1–6.
- [163] Hirose K., Tanaka T., Babasaki T., Person S., Foucault O., Sonnenberg B., Szpek M., Grounding concept considerations and recommendations for 400VDC distribution system, *2011 IEEE 33rd International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, Ekim 2011, 1–8.
- [164] Xing K., Lee F., Lai J., Gurjit T., Borojevic D., Adjustable speed drive neutral voltage shift and grounding issues in a DC distributed system, *IAS '97. Conference Record of the 1997 IEEE Industry Applications Conference Thirty-Second IAS Annual Meeting*, Ekim 1997, 517–524.
- [165] Baran M., Mahajan N., DC distribution for industrial systems: opportunities and challenges, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2003, **39**(6), 1596–1601.
- [166] Bridger B., High-Resistance Grounding, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1983, **IA-19**(1), 15–21.
- [167] Nelson J., Sen P., High-resistance grounding of low-voltage systems: a standard for the petroleum and chemical industry, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 1999, **35**(4), 941–948.
- [168] Skibinski G., Liu Z., VanLieshout R., Weaver M., Byman B., Part II: Application Guidelines for High-Resistance Grounding of Low-Voltage Common AC-Bus and Common DC-Bus PWM Drive, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2015, **51**(2), 1385–1397.
- [169] de-Oliveira T., Bolzon A., Donoso-Garcia P., Grounding and safety considerations for residential DC microgrids, *IECON 2014 - 40th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Ekim 2014, 5526–5532.
- [170] IEC TS., *60479-1 Effects of current on human beings and livestock*.



- [171] Park J., Candelaria J., Ma L., Dunn K., DC Ring-Bus Microgrid Fault Protection and Identification of Fault Location, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2013, **28**(4), 2574–2584.
- [172] Lu W., Ooi B., Multiterminal LVDC system for optimal acquisition of power in wind-farm using induction generators, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2002, **17**(4), 558–563.
- [173] Lu W., Ooi B., Optimal acquisition and aggregation of offshore wind power by multiterminal voltage-source HVDC, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2003, **18**(1), 201–206.
- [174] Lu W., Ooi B., Multi-terminal HVDC as enabling technology of premium quality power park, *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting. Conference Proceedings (Cat. No.02CH37309)*, Ocak 2002, 719–724.
- [175] Tang L., Control and protection of multi-terminal DC transmission systems based on voltage-source converters, Doktora Tezi, McGill University Libraries, 2003.
- [176] Tang L., Ooi B., Locating and Isolating DC Faults in Multi-Terminal DC Systems, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2007, **22**(3), 1877–1884.
- [177] Cuzner R., Venkataramanan G., The Status of DC Micro-Grid Protection, *2008 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting*, Ekim 2008, 1–8.
- [178] Kwasinski A., Advanced power electronics enabled distribution architectures: Design, operation, and control, *8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia*, Mayıs 2011, 1484–1491.
- [179] Tironi E., Corti M., Ubezio G., Zonal electrical distribution systems in large ships: Topology and control, *2015 AEIT International Annual Conference (AEIT)*, Ekim 2015, 1–6.
- [180] Dobbs B., Chapman P., A multiple-input DC-DC converter topology, *IEEE Power Electronics Letters*, 2003, **1**(1), 6–9.
- [181] Benavides N., Chapman P., Power budgeting of a multiple-input buck-boost converter, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2005, **20**(6), 1303–1309.
- [182] Kwasinski A., Identification of Feasible Topologies for Multiple-Input DC–DC Converters, *Power Electronics, IEEE Transactions on*, 2009, **24**(6), 856–861.
- [183] Dobbs B., Chapman P., A multiple-input DC-DC converter topology, *IEEE Power Electronics Letters*, 2003, **1**(1), 6–9.
- [184] Balog R., Krein P., Bus Selection in Multibus DC Microgrids, *IEEE Transactions on Power Electronics*, **26**(3), 860–867.
- [185] Ciezki J., Ashton R., Selection and stability issues associated with a navy shipboard DC zonal electric distribution system, *IEEE Transactions on Power Delivery*, 2000, **15**(2), 665–669.

- [186] Baran M., Mahajan N., System reconfiguration on shipboard DC zonal electrical system, *IEEE Electric Ship Technologies Symposium*, 2005. Temmuz 2005, 86–92.
- [187] Christopher E., Sumner M., Thomas D., Wang X., de-Wildt F., Fault Location in a Zonal DC Marine Power System Using Active Impedance Estimation, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2013, **49**(2), 860–865.
- [188] Cairoli P., Dougal R., New Horizons in DC Shipboard Power Systems: New fault protection strategies are essential to the adoption of dc power systems. *IEEE Electrification Magazine*, 2013, **1**(2), 38–45.
- [189] Taylor E., Korytowski M., Reed G., Voltage transient propagation in AC and DC datacenter distribution architectures, *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE)*, Eylül 2012, 1998–2004.
- [190] Graham A., The importance of a DC side harmonic study for a DC distribution system, *6th IET International Conference on Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012)*, Şubat 2012, 1–5.
- [191] Bose A., Smart Transmission Grid Applications and Their Supporting Infrastructure, *Smart Grid, IEEE Transactions on*, 2010, **1**(3), 11–19.
- [192] Li F., Qiao W., Sun H., Wan H., Wang J., Xia Y., Xu Z., Zhang P., Smart Transmission Grid: Vision and Framework, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2010, **1**(2), 168–177.
- [193] Pinomaa A., Ahola J., Kosonen A., Nuutinen P., Noise analysis of a power-line communication channel in an LVDC smart grid concept, *2013 IEEE 17th International Symposium on Power Line Communications and Its Applications*, Şubat 2013, 41–46.
- [194] Asakimori K., Murai K., Tanaka T., Babasaki T., Effect of inrush current flowing into EMI filter on the operation of ICT equipment in HVDC system, *2014 IEEE 36th International Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, Eylül 2014, 1–5.
- [195] Kwasinski A., Advanced power electronics enabled distribution architectures: Design, operation, and control, *8th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia*, Mayıs 2011, 1484–1491.
- [196] Lazaroiu G., Tironi E., Popescu M., Ghita O., Dumbrava V., Transient analysis of DG interfaced low voltage dc system, *Proceedings of 14th International Conference on Harmonics and Quality of Power - ICHQP 2010*, Eylül 2010, 1–6.
- [197] Whaite S., Grainger B., Kwasinski A., Power Quality in DC Power Distribution Systems and Microgrids, *Energies*, 2015, **8**(7), 4378–4399.
- [198] Rajagopalan S., Fortenbery B., Symanski D., Power quality disturbances within DC data centers, *Intelec 2010*, Haziran 2010, 1–7.

- [199] Prabhakaran P., Agarwal V., Mitigation of voltage unbalance in a low voltage bipolar DC microgrid using a boost-SEPIC type interleaved dc-dc compensator, *2016 IEEE 2nd Annual Southern Power Electronics Conference (SPEC)*, Kasim 2016, 1–6.
- [200] Mok K., Wang M., Tan S., Hui S., DC Electric Springs—A Technology for Stabilizing DC Power Distribution Systems, *IEEE Transactions on Power Electronics*, 2017, **32**(2), 1088–1105.
- [201] Ito Y., Zhongqing Y., Akagi H., DC microgrid based distribution power generation system, *The 4th International Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004*. Augustos 2004, 1740–1745.
- [202] Farhadi M., Mohammed O., Real-Time Operation and Harmonic Analysis of Isolated and Non-Isolated Hybrid DC Microgrid, *IEEE Transactions on Industry Applications*, 2014, **50**(4), 2900–2909.
- [203] Yan Y., Qian Y., Sharif H., Tipper D., A Survey on Smart Grid Communication Infrastructures: Motivations, Requirements and Challenges, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 2013, **15**(1), 5–20.
- [204] Greer C., Wollman D., Prochaska D., Boynton P., Mazer J., Nguyen C., FitzPatrick G., Nelson T., Koepke G., Hefner J., Nist framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 3.0, tech. rep., 2014.
- [205] Wang W., Xu Y., Khanna M., A survey on the communication architectures in smart grid, *Computer networks*, 2011, **55**(15), 3604–3629.
- [206] Kansal P., Bose A., Bandwidth and Latency Requirements for Smart Transmission Grid Applications, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2012, **3**(3), 1344–1352.
- [207] Khan R., Khan J., A comprehensive review of the application characteristics and traffic requirements of a smart grid communications network, *Computer Networks*, 2013, **57**(3), 825–845.
- [208] Kuzlu M., Pipattanasomporn M., Rahman S., Communication network requirements for major smart grid applications in HAN, NAN and WAN, *Computer Networks*, 2014, **67**(1), 74–88.
- [209] Barmada S., Musolino A., Raugi M., Rizzo R., Tucci M., A Wavelet Based Method for the Analysis of Impulsive Noise Due to Switch Commutations in Power Line Communication (PLC) Systems, *IEEE Transactions on Smart Grid*, 2011, **2**(1), 92–101.
- [210] Colson C., Nehrir M., A review of challenges to real-time power management of microgrids, *2009 IEEE Power Energy Society General Meeting*, Temmuz 2009, 1–8.
- [211] Zimmermann M., Dostert K., Analysis and modeling of impulsive noise in broad-band powerline communications, *IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility*, 2002, **44**(1), 249–258.

- [212] Fang M., Wan J., Xu X., Wu G., System for temperature monitor in substation with ZigBee connectivity, *2008 11th IEEE International Conference on Communication Technology*, Kasim 2008, 25–28.
- [213] Chen B., Wu M., Yao S., Binbin N., ZigBee Technology and Its Application on Wireless Meter-reading System, *2006 4th IEEE International Conference on Industrial Informatics*, Ağustos 2006, 1257–1260.
- [214] Akyildiz I., Wang X., A survey on wireless mesh networks, *IEEE Communications Magazine*, 2005, **43**(9), 23–30.
- [215] Gharavi H., Hu B., Multigate Communication Network for Smart Grid, *Proceedings of the IEEE*, 2011, **99**(6), 1028–1045.
- [216] Gungor V., Lambert F., A survey on communication networks for electric system automation, *Computer Networks*, 2006, **50**(7), 877–897.
- [217] Ghassemi A., Bavarian S., Lampe L., Cognitive Radio for Smart Grid Communications, *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, Ekim 2010, 297–302.
- [218] Hochgraf C., Tripathi R., Herzberg S., Smart Grid Charger for Electric Vehicles Using Existing Cellular Networks and SMS Text Messages, *2010 First IEEE International Conference on Smart Grid Communications*, Ekim 2010, 167–172.
- [219] Conti M., Fedeli D., Virgulti M., B4V2G: Bluetooth for electric vehicle to smart grid connection, *2011 Proceedings of the Ninth International Workshop on Intelligent Solutions in Embedded Systems*, Temmuz 2011, 13–18.
- [220] Aalamifar F., Lampe L., Bavarian S., Crozier E., WiMAX technology in smart distribution networks: Architecture, modeling, and applications, *2014 IEEE PES T D Conference and Exposition*, Nisan 2014, 1–5.
- [221] McGranaghan M., Goodman F., Technical and system requirements for Advanced Distribution Automation, *CIREN 2005 - 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution*, Haziran 2005, 1–5.
- [222] Fang X., Misra S., Xue G., Yang D., Smart Grid — The New and Improved Power Grid: A Survey, *IEEE Communications Surveys Tutorials*, 2012, **14**(4), 944–980.
- [223] Wang W., Lu Z., Cyber security in the smart grid: Survey and challenges, *Computer networks*, 2013, **57**(5), 1344–1371.
- [224] Zhong X., Yu L., Brooks R., Venayagamoorthy G., Cyber security in smart DC microgrid operations, *2015 IEEE First International Conference on DC Microgrids (ICDCM)*, Haziran 2015, 86–91.
- [225] Guerrero J., Vasquez J., Matas J., Devicuna L., Castilla M., Hierarchical Control of Droop-Controlled AC and DC Microgrids—A General Approach Toward Standardization, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2011, **58**(1), 158–172.

## **KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER**

**Nikfal Moghanlou S.**, Yörükeren N., Optimal Voltage Level selection in different layers of Smart DC Micro Grids , *5th International Conference On Engineering Sciences (ICES)*, Ankara Yıldırım Beyazıt University, Ankara, Turkey, 19 Sep 2019.



## ÖZGEÇMİŞ

Saber Nikfal Moghanlou 1988 yılında İranın Ardabil şehrinde doğdu. 2012 yılında Elektrik Mühendisliği (Power Electric Engineering) lisans derecesini İran da İslam Azad Üniversitesinde kazandı. Ardından yıllarca iş ve kariyere odaklandasada daha sonra 2020’de Kocaeli Üniversitesinde Elektrik Mühendisliği yüksek lisansını bitirdi. Araştırma konularında; Akıllı Enerji sistemler, DC Mikroşebekeler, Enerji depolama sistemleri, Enerji yönetimi ve ekonomisi ile ilgilenir.

