

**T.C.
ERZİNCAN BİNALİ YILDIRIM ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MİKRO ŞEBEKELERDE HİYERARŞİK KONTROL

Muhammet Fatih AKKAMIŞ

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cihat ÖZGENEL

**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
ANABİLİM DALI**

**ERZİNCAN
2019
Her Hakkı Saklıdır.**

Kabul ve Onay Sayfası

Dr. Öğr. Üyesi M. Cihat ÖZGENEL danışmanlığında, Muhammet Fatih AKKAMIŞ tarafından hazırlanan bu çalışma 10/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliği (3/0) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Dr. Öğr. Üyesi M. Cihat ÖZGENEL

İmza:



Üye : Prof. Dr. Köksal ERENTÜRK

İmza:

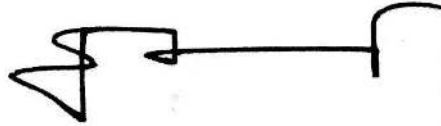


Üye : Doç Dr. Naim Süleyman TING

İmza:



Yukarıdaki sonuç Enstitü Yönetim Kurulunun 19. / 07. / 2019 tarih ve 28. / 6. sa kararı ile onaylanmıştır.



Prof. Dr. Mustafa Fatih ERTUGAY
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, şekil ve tabloların k olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

Bilimsel Etiğe Uygunluk Sayfası

“MİKRO ŞEBEKELERDE HİYERARŞİK KONTROL” isimli “Yüksek Lisans” tezini tarafımda intihal tespit programı ile incelenmiştir. Buna göre tezimde bilimsel etik ihlali ve intihal olarak nitelendirilebilecek herhangi bir durum olmadığını taahhüt ederim.

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir biçimde elde edildiğini; aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi beyan ederim. 10 / 06 / 2019


(imza)
**Muhammet Fatih
AKKAMIŞ**

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

MİKRO ŞEBEKELERDE HİYERARŞİK KONTROL

Muhammet Fatih AKKAMIŞ

Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektrik Elektronik Mühendisliği
Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Cihat ÖZGENEL

Bu tez çalışmasında mikro şebekeler hakkında yapılmış kontrol çalışmaları ve mikro şebeke mimarilerine uygulanan hiyerarşik kontrol yöntemi detaylı literatür araştırmasına dayalı bir şekilde teorik olarak incelenmiştir. Mikro şebeke kontrol yöntemleri arasında avantaj ve dezavantajlar bakımından karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen bilgiler ışığında gürbüz bir denetleyici tasarlanmış ve DIGSILENT PowerFactory yazılımı ile modellenen mikro şebekeye uygulanmıştır. Simülasyon sonuçlarına göre tasarlanan denetleyici ada modunda çalışan mikro şebekenin gerilim ve frekans salınımlarını kabul edilebilir sınırlar içerisinde tutmuştur.

2019, 79 Sayfa

Anahtar Kelimeler: Hiyerarşik kontrol, Mikro şebekeler, Enerji depolama, Ada mod çalışma.

ABSTRACT

Master Thesis

HIERARCHICAL CONTROL IN MICROGRIDS

Muhammet Fatih AKKAMIŞ

Erzincan Binali Yıldırım University
Institute of Natural and Applied Sciences
Department of Electrical and Electronics Engineering

Supervisor: Asist. Prof. Dr. Mehmet Cihat ÖZGENEL

In this thesis, control applications on microgrids and hierarchical control approach applied for microgrid architectures have been investigated based on literature review. Advantages and disadvantages of these control methods have been compared with each other. According to obtained knowledge, a robust controller has been designed and applied for a system that has been modelled with DIgSILENT PowerFactory simulation. Based on simulation results, designed controller has achieved to keep frequency and voltage values of islanded microgrid system within acceptable limits.

2019, 79 Pages

Keywords: Hierarchical Control, Microgrids, Energy Storage, Islanded Mod Operation.

TEŞEKKÜR

Sunduğum bu Yüksek Lisans Tez Çalışması, Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi ve Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Elektrik Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bilim Dalında hazırlanmıştır.

Tez çalışmam süresince her zaman desteklerini esirgemeyen, tecrübe ve bilgi birikimlerini benimle paylaşan danışman hocalarım Sayın Dr.Öğr.Üyesi. M.Cihat ÖZGENEL ve Sayın Prof. Dr. Köksal ERENTÜRK’e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Hayatımın her anında yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini her an arkamda ziyadesiyle hissettiren değerli aileme teşekkür ederim.

Muhammet Fatih AKKAMIŞ

HAZİRAN 2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER LİSTESİ	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
SİMGELER ve KISALTMALAR	ix
1.GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	8
3. MATERYAL ve YÖNTEM	28
3.1. Gerilimlerine Göre Şebekeler	29
3.1.1. Alçak gerilim şebekeleri.....	29
3.1.2. Orta gerilim şebekeleri	29
3.1.3. Yüksek gerilim şebekeleri	30
3.1.4. Çok yüksek gerilim şebekeleri.....	30
3.2. Şekillerine Göre Şebekeler.....	31
3.2.1. Dallı (Radyal) Şebekeler	31
3.2.2. Ağ (Gözlü)Şebekeler.....	33
3.2.3. Halka (Ring) Şebekeler	34
3.2.4 Enterkonnekte Şebekeler	34
3.3. Kontrol Stratejileri.....	40
3.4. Mikro Şebekelerde Hiyerarşik Kontrol	41
3.4.1. İç kontrol döngüleri.....	45
3.4.2. Birincil kontrol.....	47
3.4.2.1. Aktif Yük Paylaşımı	50
3.4.2.2. Droop Kontrol Teknikleri	51
3.4.3. İkincil kontrol	53
3.4.4. Üçüncül kontrol	58
3.5. Diğer Kontrol Yöntemleri.....	60
3.5.1. PQ kontrol.....	60
3.5.2. Voltaj/Frekans (V/f) Kontrol	61

3.5.3 DROOP Kontrol.....	62
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	69
KAYNAKLAR.....	76
ÖZGEÇMİŞ.....	80



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1. Temel Mikro Şebeke Yapısı	4
Şekil 1.2. Mikro şebeke yapısı	6
Şekil 1.3. PowerGen firmasının "PowerBox" birimi; 1.4 kW'lık güneş panelleri, 9kWh'lik piller ve 3kW'lık bir çevirici içeriyor.....	7
Şekil 3.1. Dallı (Radyal) şebeke genel görünümü	32
Şekil 3.2. a) Bir yerden beslenen b) Birkaç yerden beslenen ağ(gözlü) şebekeler	33
Şekil 3.3. Halka (Ring) Şebeke Genel Yapısı	34
Şekil 3.4. Enterkonnekte Şebeke Genel Yapısı	36
Şekil 3.5. Mikro şebekelerin bileşenleri.....	39
Şekil 3.6. Hiyerarşik kontrol genel çalışma yapısı	43
Şekil 3.7 Hiyerarşik kontrol katmanları	44
Şekil 3.8. Mikro şebekelerin hiyerarşik kontrol yapısı	46
Şekil 3.9. Aktif ve reaktif güç ile PQ kontrol modu	48
Şekil 3.10. Voltaj kontrol modu için referans voltaj tayini	48
Şekil 3.11. Gerilim kontrol modunda gerilim ve akım kontrol devreleri	49
Şekil 3.12. AC veri yoluna bağlı bir dizi enerji kaynağı için birinci seviye kontrol döngüleri	49
Şekil 3.13. Genel droop kontrol yöntemi	50
Şekil 3.14. Mikro şebekeye bağlı bir dönüştürücünün basitleştirilmiş diyagramı.	51
Şekil 3.16. Potansiyel fonksiyon tabanlı teknik blok diyagramı.	57
Şekil 3.17. İkincil kontrolde gerilim dengesizliği kompanzasyonu	57
Şekil 3.18. İki DER arasında marjinal maliyet fonksiyonu eşleşmesi	59
Şekil 3.19. PQ kontrol blok diyagramı	61
Şekil 3.20. V/f kontrol blok diyagramı	62
Şekil 3.21. Droop Kontrol.....	64
Şekil 3.22. Fazör diyagram	65
Şekil 3.25 Baskın indüktif davranışlı şebekelerde frekans ve gerilim droop karakteristikleri.	66
Şekil 4.1. Tasarlanan mikro şebeke yapısı	70
Şekil 4.2. Çalışmada kullanılan P ve Q denetleyicilerin genel yapısı	70
Şekil 4.3. Tasarlanan denetleyicinin hidro jeneratör devre dışı iken sistem frekansını denetlemeye etkisi.	73

Şekil 4.4. Tasarlanan denetleyicinin hidro jeneratör devre dışı iken sistem gerilimini denetlemeye etkisi.	73
Şekil 4.5. Tasarlanan denetleyicinin PV panel ve dizel jeneratör devre dışı iken sistem frekansını denetlemeye etkisi.	74
Şekil 4.6. Tasarlanan denetleyicinin PV panel ve dizel jeneratör devre dışı iken sistem gerilimini denetlemeye etkisi.	74



TABLÖLAR LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1. AC ve DC mikro şebekelerde kontrol tekniklerinin analizi	42
Tablo 3.2. Droop kontrol avantaj ve dezavantajları	67
Tablo 3.3. Mikro şebekelerde kontrol yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları	67
Tablo 4.1. Mikro şebeke bileşenleri.....	69



SİMGELER ve KISALTMALAR

Simgeler

$\%$	Yüzde
δ	Faz Açısı (Derece)
θ	Empedans Açısı (Derece)
C_{opt}	Marjinal Maliyet
f	Frekans (Hz)
i_p	Aktif Çıkış Akımı
i_q	Çıkış Reaktif Akımı(Amper)
K	Kontrol Parametresi
P_i	Çıkış Aktif Gücü (Watt)
R	Direnç (Ohm)
Q_i	Çıkış Reaktif Gücü (kVAR)
U	Voltaaj (Volt)
v_0^*	Referans Voltaajı (Volt)
z	Empedans (Ohm)

Kısaltmalar

Elektrikli Güvenilirlik Teknoloji Çözümleri Konsorsiyumu (CERTS)

Dağıtılmış Üretim (DG)

Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi (CIGRE)

Alçak Gerilim (AG)

Orta Gerilim (OG)

Dağıtılmış Enerji Kaynakları (DEK).

Foto Voltaikler (PV)

Alternatif Akım Kaynakları (AC)

Doğru Akım Kaynağı (DC)

Faz-Kilitlemeli Çevrim (PLL)

Kesintisiz Güç Kaynaklarının (UPS)

Yük-Frekans Kontrolünü (LFC)

Mikro Şebeke Bağlantılı Güneş Voltaik Kaynaklarını (MCPV)

Temel Senkronizasyon Kontrolü (FSC)

Bozulma Senkronizasyon Kontrolü (DSC)

Gerçek Zamanlı Döngü Donanımı (HIL)

Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının (RES)

Lig Şampiyonası Algoritması (LŞA)

Parçacık Sürüşü Optimizasyonu (PSO)

Yapay Arı Kolonisi (ABC)

Zaman Ağırlıklı Kare Hatası (ITSE)

Mikro Şebeke Koruma Ve Kontrol Sorumlusu (MPCS)

Çok Ajanlı Sistem (MAS)

Sanal Güç Kaynağı (VPS)

Droop Kontrollü Şebekeye Bağlı Mikro Şebekeler (DCGC-MG)

Ortak Bağlantı Noktasındaki (PCC)

Şebekeye Bağlı Akımının (GCC)

Orantılı İntegral (PI)

Orantılı İntegral Kontrolörü Ve Çoklu R Kontrolörleri (PIMR)

Dağıtım Sistemi Operatörlerinin (DSO)

Toplam Harmonik Bozulma (THD)

Akıllı Fiziksel Ajanlar (FIPA)

Veri Dağıtım Hizmeti (DDS)

Mikro Şebeke Güç Akışı (GMPF)

Reaktif Güç Paylaşımı Modu (RPS)

Voltaj Regülasyon Modu (VR)

Akıllı Ayar Modu (ST)

Voltaj Dengesizliği Faktörü (VUF)

Ekonomik Otomatik Üretim Kontrolü (EAGC)

Otomatik Voltaj Kontrolü (AVC)

En İyi Güç Noktası İzleme (MPPT)

Elektrik İletimi Koordinasyon Birliği (UCTE)

Elektrik Üretimi Ve İletimi Koordinasyon Birliği (UCPTE)

Gerilim Kaynaklı Evirici (VSI)

Akım Kaynaklı Eviriciler (CSI)

Orantılı İntegral Türev (PID)

1.GİRİŞ

Küresel çapta dünya nüfusunun hızlı şekilde artmasıyla ülkelerin de enerji ihtiyacını aynı hızda artmasına sebep olmuştur. Dünya enerji kaynakları arasında en önemli kaynak hiç şüphesiz fosil yakıtlardır. Ancak fosil yakıtı dayalı enerji rezervleri azalmaya devam etmektedir. İnsanların, teknolojik ve sosyal gelişim sonucunda gündelik yaşamında enerjiye olan bağımlılığının artması, yoğun sanayileşmenin ve aşırı enerji tüketiminin sebep olduğu olumsuz çevresel etkileri görülmeye başlanmıştır. Bu sıkıntıların üstesinden gelebilmek için akıllı enerji yönetimi sistemleri gündeme gelmiştir. Enerjinin üretim aşamasından itibaren, iletim, dağıtım ve tüketime kadar uzanan tüm aşamalarını kapsayan elektrik şebekesinin, gelişen teknolojik imkânlar ile daha verimli, daha güvenli, daha çevre dostu ve daha yönetilebilir olması için akıllı şebeke kavramı ortaya çıkmıştır. Mevcut şebekelerin yetersiz kalması nedeni ile ortaya çıkan bu kavram, şebekelerin tam otomasyonu ve yüksek verimliliğini hedeflerken, haberleşmeden bilgi teknolojilerine, kontrol sistemlerinden yarı iletken teknolojilerine kadar birçok teknolojiyi bir araya getiren yeni bir model olarak karşımıza çıkmaktadır. Son zamanlarda, akıllı şebekelere olan ihtiyacın farkına varılmış ve haberleşme, bilgi teknolojileri, kontrol sistemleri, yarı iletken teknolojileri gibi birçok sahada akıllı şebeke uygulamalarına dönük çalışmalar hız kazanmıştır. Akıllı şebekeler geleneksel enerji üretim biçimleri ile de uyumlu olması gerekmektedir. Geleneksel üretim birimleri ile yeni nesil kaynakların beraber veya ayrı ayrı olarak kullanıldığı durumlarda kararlılık ve verimlilik gibi bazı aksaklıklar meydana gelmiştir. Yenilenebilir enerji kaynaklarında kontrol tasarımı, sistem gerilimi ve sistem frekansının düzenlenmesi gibi bazı teknik sorunlar karşımıza çıkmaktadır. Bu gibi sorunlar dünya çapında bazı standartların oluşmasına neden olmuştur. Bunların en önemlisi mikro şebeke yapılarıdır. İlk kez 1998 yılında Elektrikli Güvenilirlik Teknoloji Çözümleri Konsorsiyumu (CERTS) tarafından ortaya atılmıştır. CERTS, hem güç hem de ısı sağlayan, tek bir sistem olarak çalışan, yük ve mikro kaynakların toplamı şeklinde bir mikro şebeke tanıtmıştır. Mikro kaynakların sayısının fazlalığı ve bu kaynakların birleştirilmiş tek bir sistem olarak çalışmasını sağlamak için, bu sistem elektronik tabanlı olmak zorundadır. Mikro şebeke kavramının ortaya çıkması, geleneksel güç sistemlerinin karşılaştığı ekonomik ve çevresel sorunların artmasına çözüm bulunması esasına dayanmaktadır. Örneğin Sahra altı Afrika ülkeleri gibi enerji nakil hatlarının kurulması çok zor ve maliyetli olan alanlarda yeni yöntem olan mikro şebeke yöntemi uygulanma

alanı bulmuştur. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanan mikro şebekeler, küresel ısınmada azalma ve çevresel kısıtlamaları ortadan kaldırmadaki yetenekleri sayesinde güç endüstrisinde hızla kendine yer edinmiştir. Mikro şebeke bileşenleri olan ana güç kaynakları tüketicilere yakın yerlerde bulunan dağıtım hatlarına bağlı olarak çalışırlar. Bu kaynaklar, dağıtılmış üretim (DG Distributed Generation) şeklinde elektrik şebekesine entegre edilmiş olan küçük üretim birimleridir. 1990'lı yılların sonlarında, dağıtılmış üretim ile ilgili temel konular Büyük Elektrik Sistemleri Uluslararası Konseyi - International Council on Large Electric Systems (CIGRE)'nin çalışma grupları tarafından incelenmiştir. Dağıtılmış üretim kaynakları, dizel motor jeneratörleri, mikro türbinler, kojenerasyon tesisleri, rüzgâr türbin jeneratörleri, fotovoltaiik paneller, yakıt hücreleri, pistonlu motorlar ve enerji depolama sistemleri olarak belirlenmiştir.

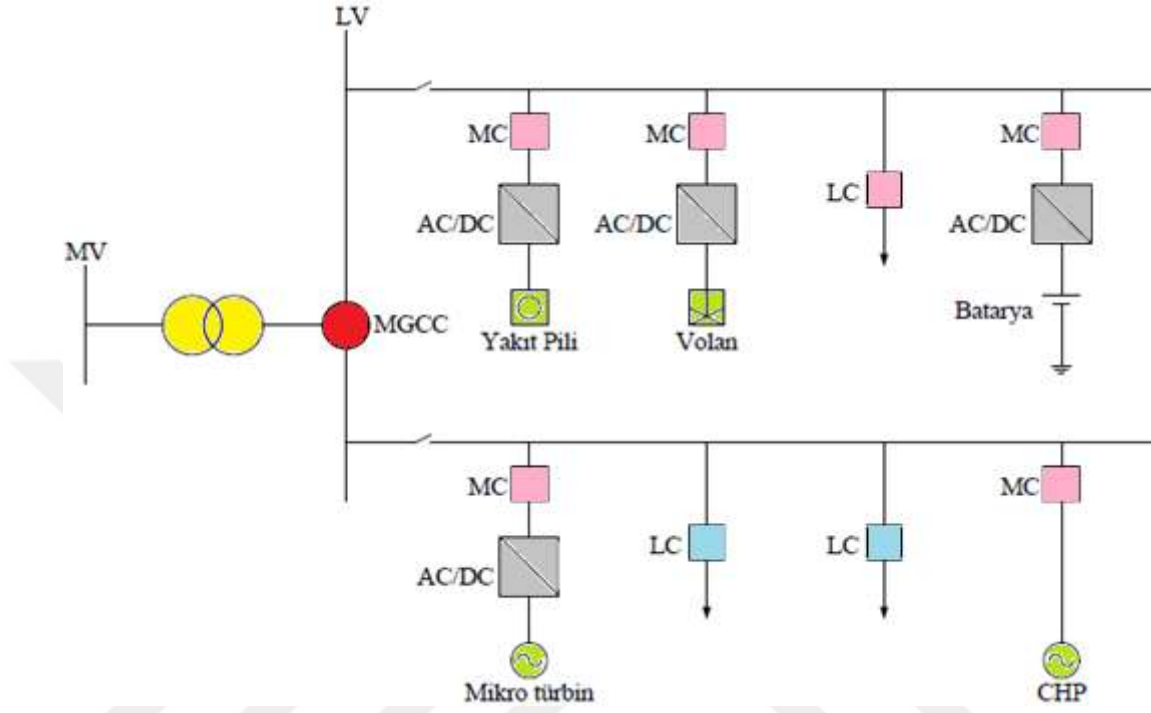
Mikro şebekeler, alçak gerilim (AG) ve orta gerilim (OG) seviyelerindeki dağıtım şebekelerine yerleştirilirler. Dağıtım seviyesinde bağlanacak olan çok sayıdaki mikro kaynak, beraberinde birçok yeni zorluğu da beraberinde getirmektedir. Bu zorlukların bazılarını şu şekilde sıralayabiliriz; sistem kararlılığı, güç kalitesi ve AG/OG seviyelerinde gelişmiş kontrol teknikleri uygulanarak çözülmesi gereken şebeke işletimi gibi zorluklardır. Yani, dağıtım şebekelerindeki gücün artık tek yönlü değil iki yönlü olması söz konusu olacaktır ve bunun sonucu olarak pasif bir rolden aktif bir role geçilecektir. Geleneksel güç sistemleri generatör ataleti tarafından sağlanan depolanmış bir enerjiye sahiptir. Sistem üzerine yeni bir yük geldiği zaman ilk enerji dengelemesi sistemin ataleti tarafından sağlanır. Bu ataleti yenmek için ada şeklinde tasarlanan mikro kaynakların birleşiminden oluşan bir sistem, başlangıç enerji dengesini sağlamak için çeşitli depolama birimlerine sahip olması gerekmektedir. Örneğin; yakıt hücreleri ve mikrotürbinler gibi bazı mikro kaynakların büyük zaman sabitlerinden (10 sn'den 200 sn'ye kadar) dolayı sistemde meydana gelen bozucu etkilerini ve önemli yük değişikliklerini dengelemek için gerekli olan güç, depolama aygıtları tarafından karşılanmak zorundadır. Bu kaynaklar ani sistem değişiklikleri ile başa çıkmak için kontrol edilebilen gerilim kaynakları gibi hareket ederler. Gerilim kaynağı gibi hareket etmesine rağmen bu aygıtlar fiziksel sınırlamalara sahiptirler ve bu sebepten ötürü depolayabilecekleri enerji miktarlarının belli bir sınırı vardır. Depolama görevini yapacak aygıtlara örnek olarak bataryalar, volan ve ultra kapasitörler verilebilir.

Mikro şebekeler bir tür akıllı şebekelerdir. Akıllı şebekeler, sistemde kullanılan tüm enerjinin hesabını yapan, akıllı bir izleme sistemi içeren ve daha az güç kaybı için süper iletken iletim hatları kullanan bir sistemdir. Ayrıca akıllı şebekeler güneş ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji sistemleriyle de birleştirilebilir özelliklere sahiptir. Akıllı şebeke, ev kullanıcıları ve zamandan bağımsız çalışan fabrikalar için çalışma zamanı belirlenmesinde sağlanacak olan gücün fiyatının en düşük olduğu zamanı esas almaktadır. Kalan durumlarda acil gereksinim arz eden cihazlar dışındaki diğer cihazların çalışması akıllı şebeke ile en aza çekeilmekte veya tamamen durdurulabilmektedir. Akıllı şebeke, hava durumları ve arızalı ekipmanlar gibi farklı durumlar için uygun ve gerekli cevabı üretebilen ve aynı zamanda arızalı cihazı bulabilen bir sistemdir. Akıllı şebeke, sistemdeki arızayı anında tespit edebilmekte ve bu arızayla ilgili şebeke tedarikçisini uyarabilmektedir.

Mikro şebekeler dağıtılmış enerji kaynaklarıdır (DEK). Küçük güçlü üretim birimlerinin şebekeye tüketicilerin yük ihtiyaçlarını karşılamak üzere bağlanmasıdır. Küçük ölçekli hidro, diesel, kombine santraller ve diğer dönen makineler dağıtılmış üretim kaynaklarından bazılarıdır. Bunlara ilave olarak yakıt hücreleri, rüzgâr, güneş enerjisi gibi elektrik enerjisi üretim kaynakları da dağıtılmış üretim birimleri olarak tanımlanabilir. Alternatif enerji üretim kaynakları boyutlarının küçük olması sebebi ile dağıtıma yakın noktalarda yerleştirilebilirler.

Günümüzdeki şebeke yapısında, yüksek gerilim şebekelerinde meydana gelen arızalarda enerjinin kesilmesi veya büyük bir santralin devre dışına çıkması sonucunda yapılan zorunlu yük atımı sebebiyle uzun süreli elektrik kesintileri oluşmaktadır. Sonuç olarak, elektrik enerji sistemlerindeki arızalar sebebi ile çok fazla sayıda elektrik enerji kesintisi yaşanmakta dolayısı ile büyük miktarda tüketici enerjisiz kalmaktadır. Son zamanlarda, tüketici taleplerindeki değişimler, toplumda teknolojiye olan bağımlılığın gittikçe artmasının sonucu olarak daha güvenilir ve arızalara daha dayanıklı bir elektrik dağıtım şebekesinin yapılandırılmasına olan ihtiyaç artmıştır. Çok sayıda DEK içeren yeniden yapılandırılmış bir elektrik dağıtım şebekesi ile sistem güvenilirliği artırılıp, hizmet kalitesi yükseltilebilir.

Şekil 1.1’de ana hatları ile mikro türbinler, rüzgâr türbinleri, foto voltaikler (PV) ve depolama aygıtları gibi alçak gerilimli dağıtık enerji kaynakları ve yerel dağıtılmış yüklerden oluşan bir mikro şebekenin yapısı gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Temel Mikro Şebeke Yapısı

Mikro şebekeler, şebekeden bağımsız ve/veya şebekeye bağlı olarak çalışabilen, kendi enerji kaynakları, üretimleri ve yükleri olan belirli sınırlara sahip küçük ölçekli enerji şebekeleridir. Mikro şebekelerin sahip olduğu bazı özellikleri sayesinde çok önemli avantajlara sahiptir. Bunlar; yerinde üretim sayesinde şebekeden bağımsız olan bölgelerde enerji arzı sağlamak, bölgeler arası iletim kayıplarını azaltmak, arızaları anında tespit ederek hizmet kalitesini en üst seviyede tutmaktır. Ayrıca talep yönetimini destekleyerek kaynakları verimli olarak kullanmak, daha fazla yerli kaynağı devreye almak ve daha dayanıklı ve dinamik bir şebekeye sahip olmak olarak sayılabilir.

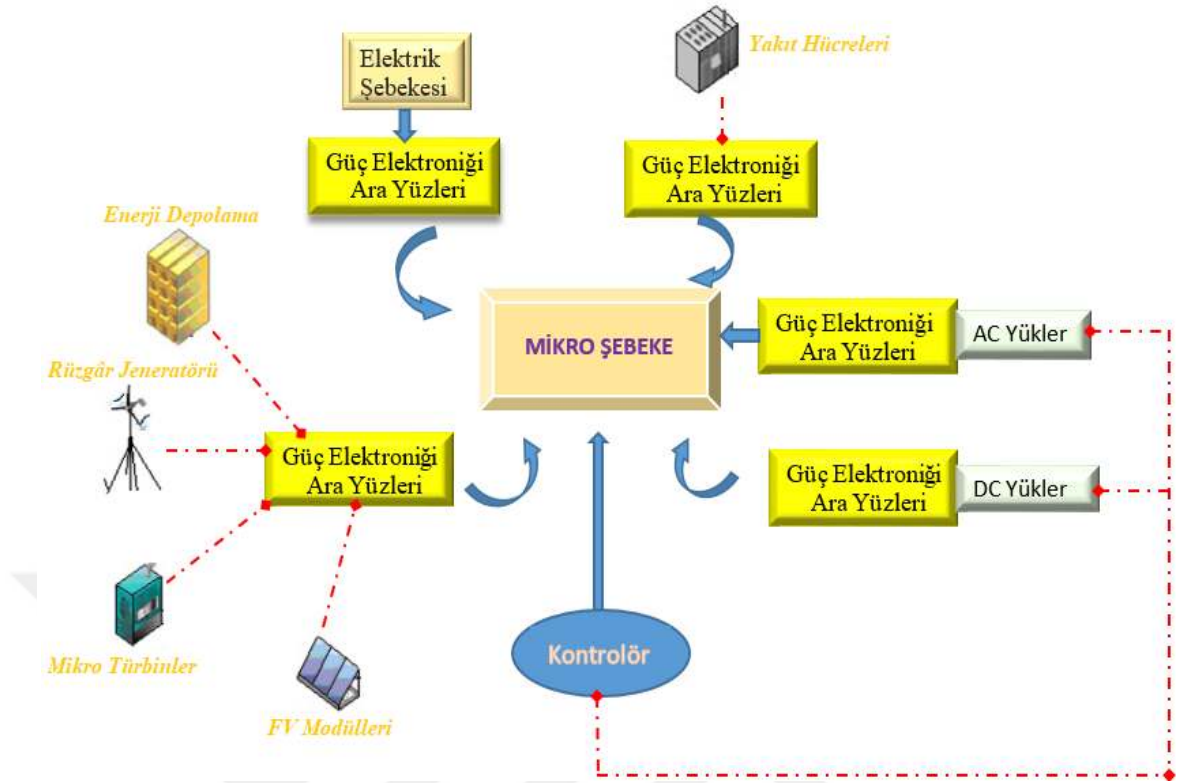
Mikro şebekelere ilişkin sistem bileşenleri şöyle sıralanabilir;

- Yenilenebilir Enerji ve Depolama Sistemleri
- Ölçüm ve Kontrol Sistemleri
- Şebeke Bağlantı Sistemleri

- Güç Dönüştürücü Sistemler
- Akıllı Aydınlatma Sistemleri
- Elektrikli Araç Şarj ve Batarya Yönetim Sistemleri
- Akıllı Ev/Bina Sistemleri
- SCADA/EMS/DMS
- Enerji Yönetim Sistemleri
- Haberleşme ve Bilgi Güvenliği Sistemleri
- Jeneratörler

Bu yenilenebilir enerji kaynaklarının mikro şebeke olarak elektrik şebekesine bağlarken yüksek iletkenli güç elektroniği elemanları kullanılarak oluşturulan ara yüzlerden faydalanılmaktadır. Ayrıca mikro şebekelerde kendi aralarında güç paylaşımı yapmak içinde bu modern ara yüzler kullanılmaktadır. Bu ara yüzler sayesinde mikro şebekelerin sorunsuz şekilde sisteme entegre etmeye yardımcı olmaktadır. Bu ara yüzlerin yanı sıra dönüştürücülerde kullanılmaktadır. Son olarak bu bağlantılarında bir kontrolcü sayesinde kontrol edilebilir olması gerekmektedir. Bunun içinde ayrıca kontrolörler tasarlanmaktadır. Şekil 1.2’de yukarıda sözü edilen yapıların genel bir yapısı gösterilmiştir.

Mikro şebekeler askeri birlik, kışla, üs, karakol, kalekollar, şehir şebekeleri ve kırsal besleyici hatlar, endüstriyel alanlar, hastane ve kampüsler, tarımsal bölgeler ve orman arazileri, elektrik şebekesinden uzak yerleşim yerleri / kırsal bölgeler gibi alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır.



Şekil 1.2. Mikro şebeke yapısı

Kullanım amaçları ve alanları bakımından bir örnek vermek gerekirse dünya genelinde enerji tedariki açısından çok önemli gelişmeler olmasına rağmen Sahra altı Afrika ülkelerinin büyük bir kısmı elektrik enerjisinden yoksun olarak hayatlarını devam ettirmektedirler. Bu alanda nüfus olarak yaklaşık 650 milyon insan etkilenmektedir. Buralardaki insanlar genel olarak fosil yakıtlar kullanarak enerji ihtiyaçlarını karşılamaktadır. Bu şartlar doğal olarak maddi ve sağlık koşulları açısından insanları olumsuz yönde etkilemektedir. Bu kötü koşulların düzeltilmesi için birçok girişimcinin çalıştığı bilinmektedir. Ancak Afrika’da elektrik alt yapısı için fiziki, coğrafi ve maddi olarak çok güç durumlar mevcuttur. Sahada uzun iletim hatları kurmak yerine daha akıllı ve daha az masraflı olan güneş, rüzgâr gibi sürdürülebilir enerji kaynakları kullanılarak mikro şebekeler kurularak bölgenin enerji ihtiyacı karşılanmış olacaktır. Yenilenebilir enerji kaynakları ve bunların etkin bir şekilde koordine ve yönetimi sayesinde az gelişmiş ülke insanlarına ve enerjiye ulaşım noktasında kısıtlı olan insanlara hayatlarını kolaylaştırmaları için yardımcı olunabilmektedir. Elektrik enerjisi insanların temel ve hayati ihtiyaçlarını karşılamaları açısından en önde gelen konu olduğundan enerji

yönetim birimleri bu alanlara daha fazla yatırım ve alaka göstermektedirler. Bu alanda büyük ve önemli şirketler yatırımlarını bu noktalarda yoğunlaştırmışlardır.

Örneğin, PowerGen isimli firma güneş panelleri, piller ve çevirici yardımıyla küçük ölçekli olmak üzere bir mikro şebeke örneği gerçekleştirmiştir. PowerGen şirketi bu çalışması ile diğer firmalara örnek olmaktadır. Elektrik ve dolayısı ile haberleşme gibi birçok alanda insanların ihtiyaçlarını karşılayarak bu yerlerin ne kadar yatırıma ve yeniliklere açık olduğunu göstermiştir. Sonuç olarak böyle çalışmaların geliştirilerek tüm alanlarda kullanılması ile insanların hayat standartlarını daha da iyileştirebilir.

Bu çalışmalara örnek olarak Şekil 1.3'de gösterildiği gibi PowerGen şirketinin "PowerBox" birimi gösterilmektedir. Bu yapı 1.4 kW'lık güneş panelleri, 9kWh'lık piller ve 3kW'lık bir çevirici içermektedir. Bu küçük yenilenebilir enerji kaynağı ile yaklaşık on hanenin aydınlanma ihtiyacı karşılanabilmektedir. Böyle yapıların dahada büyütülerek ulaşılması zor olan ve daha fazla tüketicinin olduğu bölgelere enerji verilebilir.



Şekil 1.3. PowerGen firmasının "PowerBox" birimi; 1.4 kW'lık güneş panelleri, 9kWh'lık piller ve 3kW'lık bir çevirici içeriyor.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Mikro şebekeler ve hiyerarşik kontrol yöntemleri kullanım amaçlarına yönelik olarak günümüzde literatürde yapılan çeşitli çalışmalar gelişim aşamasına göre aşağıda verilmeye çalışılmıştır.

Chandorkar vd. (1993) çalışmalarında, ana şebekelerin besleme hatları arasındaki inverterlerin kontrolü için bir kontrol yöntemi önermişlerdir. Kontrol metotlarının oldukça modüler bir yapıya sahip oldukları belirtilmiştir. Bu özellik ile farklı alternatif akım kaynaklarının (AC) sistemin ihtiyaçlarını karşılamak için kontrollerin kolay değiştirilmesinin sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada sunulan simülasyon sonuçları, kurgulanan sistemde keyfi olarak değişen yüklerin varlığında güç paylaşımı hedeflerine etkili bir şekilde ulaşıldığını göstermektedir. Filtre kapasitörlerin ve bağlantı hattının oluşturduğu yapı içindeki aktif sönümlleme performansı daha da artırılmıştır. Kontrolü yapılan sistemde PI kontrol yöntemi kullanılmıştır. Ana şebekenin ve mikro şebekelerin frekansının kontrol etmek için ayrı bir kontrolörün kullanılması durumunda sistemin daha güvenli hale gelebileceği ifade edilmiştir. AC sistem voltaj vektörünün konumu herhangi bir zamanda çok doğru bir şekilde belirlenebilmektedir. Bu bilgi, çıkışı tahmin edilen bir frekans değerinin gözlemlemek için bir frekans gözlemcisi oluşturmak için kullanılabilir. Tahmini frekansın zaman integrali, gerilim vektörünün gerçek konumu ile karşılaştırılabilir olduğu ve tahmini frekansın buna göre değiştirilebileceği gösterilmiştir.

Blaabjerg vd. (2006) çalışmalarında, şebeke kontrol stratejilerini ele alırken rüzgâr türbinleri ve foto voltaik gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanan yapıların işleyişlerini ve bu kaynakları kullanan dağıtılmış enerji üretim sistemlerinin kontrollerini ele almışlardır. Dağıtılmış elektrik üretim sistemleri için donanım yapıları, şebeke tarafı dönüştürücüsü için kontrol yapıları ve hatalar altındaki kontrol stratejileri öncelikli olarak ele alınmıştır. Sıfır geçiş noktası, şebeke gerilimlerinin filtrelemesi ve faz-kilitlemeli çevrim (PLL) tekniği gibi kontrol yöntemleri çalışılmıştır. Farklı kontrolörler ve faydalı ağda sunulan düşük mertebe harmonikleri telafi etme becerileri hakkında teorik olarak bilgi vermişlerdir. Ek olarak, bir dağıtılmış elektrik üretim sistemlerinin dengesiz bir durumda meydana gelebilecek şebeke arızasında kullanabileceği; birleşik güç faktörü kontrol stratejisi, pozitif sıra kontrol stratejisi, sabit aktif güç kontrol stratejisi ve sabit

reaktif güç kontrol stratejisi gibi dört farklı kontrol stratejisi tartışılmıştır. Bu kontrol stratejilerinin gelecekte çok daha fazla geliştirilebilecek yaklaşımlar önerilmiştir. Son olarak, şebeke senkronizasyon algoritmalarına genel değerlendirme yapılmış ve dağıtılmış elektrik üretim sistemlerinin kontrolünde normal ve hatalı şebeke durumu üzerindeki etkileri ve rolleri tartışılmıştır.

Vanthournout vd. (2007) genel olarak mikro şebekelerde kontrol konusunu ele almışlardır. Yaptıkları çalışmalarında özellikle gerilim ve frekans kontrolü ele almışlardır. Kontrol yöntemlerinden daha kolay işletilebilen ve daha ekonomik olan yöntemi geliştirmeye çalışmış ve teorik olarak incelemişlerdir. Kontrol seviyelerinin teorik olarak incelenmesinden sonra internet üzerinden iletişim halinde olan dört adet invertörün kurulumu kullanılarak gerçekçi ve kapsamlı uygulamasını laboratuvar ortamında deneysel olarak test etmişlerdir.

Bu çalışmada önerilen bazı yeni kavramlar daha önce fazla kullanılmadığı için, temel olarak mevcut şebekelerden merkezi ikincil ve üçüncül kontrolün aksine tamamen dağıtılmış şebeke kontrolü gibi mevcut uygulamalardan farklı bir şekilde uygulanmaktadır. Bu yeni kavramları şebeke üzerinde uygulamamışlardır. Deneysel olarak test edilmiştir. Sonuç olarak, uygulamada sunulan kavramların şebekeye göre geliştirilmesi ve yenilenebilir jeneratörlerin gerçek sisteme dâhil edilmesi sonucunda düşük maliyetle daha etkili bir şebeke kontrolü sonuçlanabileceği belirtilmiştir.

Bidram ve Davoudi (2012) yaptıkları çalışmalarda, hiyerarşik kontrol seviyeleri olan birincil, ikincil ve üçüncül kontrol seviyelerini incelemişlerdir. Geliştirilmiş güvenilirlik ve sürdürülebilirlik, dağıtım seviyesini etkileyen akıllı şebekenin istenen özelliklerinden bazıları olduğunu ve bu özellikler esas olarak DEK'lerin etkin entegrasyonunu kolaylaştıran mikro şebekeler vasıtasıyla gerçekleştirildiği vurgulanmıştır. Mikro şebekeler hem mevcut şebekeye bağlı hem de ada şeklinde bölünmüş olarak çalışabilmektedirler. Aynı zamanda mikro şebekenin en büyük önceliği kararlılık, ekonomiklik ve verimlilik olması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmalarında mikro şebekelerde kontrolün başlıca görevlerini aşağıdaki gibi sıralamışlardır;

- Her iki çalışma şekline göre gerilim ve frekans ayarı,
- Uygun yük paylaşımı ve DEK koordinasyonu,
- Ana şebeke ile mikro şebekenin sürekli senkronizasyonu,
- Ana şebeke ile mikro şebeke arasında sürekli güç akış kontrolü,
- Mikro şebekenin işletim maliyetini optimize etme.

Bu sayılan görevleri yapmak ve sistemin iyi çalışmasını sağlamak için farklı kontrol hiyerarşisi içerisinde ele alarak birincil, ikincil ve üçüncül seviyeler olmak üzere üç seviyeden oluşan kontrol yapısı kullanılmaktadır. Birincil kontrol seviyesinde üretim sürecinde sistemin gerilim ve frekans kararlılığını kontrol etmekte; doğrusal ve doğrusal olmayan yüklerin bulunduğu durumlarda DEK'ler için bağımsız olarak çalışacak aktif ve reaktif güç paylaşımını kontrol etmekle görevli oldukları belirtilmiştir. Ayrıca sistemde güç paylaşımı kontrol ederken istenmeyen akımları da kontrol altında tuttuğu vurgulanmıştır. Birincil kontrol seviyesi DEK'lerin gerilim ve akım kontrollerinde oluşan temel sıfır noktası diye adlandırılan temel kontrol donanımını da içerdiği; ikincil kontrol, birincil kontrollerin çalışmasından kaynaklanan gerilim ve frekans saptmalarını telafi ettiği; sonuç olarak üçüncül kontrol seviyesi, mikro şebeke ve ana şebeke arasındaki güç akışını yöneterek güvenlik ve ekonomik açıdan optimizasyonu sağlandığı belirtilmiştir.

Yapılan bu çalışmanın sonucunda keza mikro şebekelerin kontrol performanslarını artırmak amacıyla kullanılan mevcut hiyerarşik kontrol metotlarını incelemişlerdir. Özellikle bu kontrol seviyeleri içerisinde birincil kontrol seviyesi içerisinde konvansiyonel sarkma (droop) kontrol ve modifikasyonlarına yer vermişlerdir.

Rocabert vd. (2012) mikro şebekelerde güç dönüştürücülerin kontrolü konusunu çalışmalarında incelemişlerdir. Dağıtım şebekelerine destek amacıyla kullanılan mikro şebekelerin sisteme dâhil edilirken çıkan bazı olumsuz durumların telafi edilmesi, kontrol edilmesi ve yönetimi açısından değerlendirmelerde bulunmuşlardır. Ana şebekenin düzenli çalışması esnasında ada modunda çalışan enerji kaynaklarının şebekeye olan desteklerinin yanı sıra arızalar ve beklenmedik hallerin izole edilmesi ada modunda

alışan kaynakların daha etkin kullanılacağını belirtmişlerdir. Bu durumların yönetimi g dönüştürücülerinin kontrolü ile mümkün olabileceğini vurgulamışlardır.

Bu çalışmada elektriksel g sistemleri, g elektroniğine dayalı yüksek hızla kontrol edilebilir g işlemcilerinden oluşan şebekeye bağlı ada modunda çalışan yüksek güçlü jeneratörlerin, elektrik enerjisi depolama sistemlerinin, iletişim teknolojilerinin ve kontrol edilebilir yüklerin birleştirilmesiyle oluşturulduğunu belirtmişlerdir. Bu güç sistemlerinin yapılarına entegre edilmiş mikro şebeke uygulamalarının etkili bir şekilde genişlemesi için yeni ufuklar açılacağını belirtmişlerdir. Endüktif, rezistif ve jenerik hatlar için sarkma kontrol şemaları, AC mikro şebekelerinde voltajın genliğini ve frekansını desteklemek için etkili bir çözüm olarak sunulmuştur. Benzer şekilde, sanal empedans kavramı tanıtılmış ve paralel g dönüştürücülerindeki g paylaşımını kontrol etmek için uygun olduğu belirtilmiştir. Bu alışma, farklı hiyerarşik seviyelerde mikro şebeke yapıları ve kontrol teknikleri hakkında genel bir bakış sunmaktadır. G dönüştürücü seviyesinde, ana çalışma modlarının ve mikro şebekelere ait güç dönüştürücüler için kontrol yapılarının ayrıntılı bir analizi yapılmış ve temel olarak şebeke oluşturma, şebeke besleme ve şebeke desteklemelerine katkı sağlamaya çalışmışlardır.

Bu çalışmada yapılan analizlerde birincil, ikincil ve üçüncül kontrol seviyelerine dayalı olarak, işletme maliyetini en aza indirmek, destek hizmetlerini koordine etmek, aynı zamanda mikro şebekelerin güvenilirliğini ve kontrol edilebilirliğini en st seviyeye çıkarmak için ayrılmış mikro şebekelerin hiyerarşik kontrol şeması oluşturulmuştur.

Akçin vd. (2013) alışmalarında, akıllı şebekelerin dağıtık yapılarda kontrol ve geniş alanlarda yerleşen şebekelerin yönetimini sağlayabilmek için haberleşme, kontrol uygulamaları ve teknolojilerini incelemişlerdir. Bu yaklaşımların ve teknolojilerin sağladığı avantajlar ile akıllı şebekelerin mimarilerini kontrol etmek için yeni yaklaşımlar oluşturulmuş ve akıllı şebeke uygulamalarındaki avantajlar incelenmiştir.

Aynı çalışmada modern enerji sistemlerinin daha akılcı şekilde yönetimi ve etkin kullanımı için haberleşme ve kontrol sistemlerinin hepsini içerisinde barındıran akıllı şebeke mimarilerinin, işlevsellik açısından g, kontrol, haberleşme şeklinde i-içe

geçmiş üç katmanlı yapıya sahip olması gerektiği belirtilmiştir. Bu yapılar hakkında ayrıntılı olarak değerlendirmeler yapılmıştır.

Son olarak bu çalışma, yakın gelecekte hayata geçmesinin ümit edildiği akıllı şebeke sistemlerinin daha iyi anlaşılmasına, çalışılabilmesine ve anlatılabilmesine katkı sağlamayı amaçlamışlardır. Bu karmaşık yapılar üzerinden akıllı şebekelerin yakın geleceğine dair yapılan çalışmalar sayesinde konu ile ilgilenen akademik, endüstriyel ve kamusal taraflara yol gösterici olması ayrıca hedef olarak belirlenmiştir.

Vandoorn vd.(2013) çalışmalarında, mikro şebekelerde hiyerarşik kontrol ve depolama ünitelerini yönetim stratejileri hakkında çalışmalar yapmışlardır. Mikro şebekelerin kullanılması ve kurgulanması gibi birçok önemli konuda olduğu gibi mikro şebeke sistemlerinde kullanılan yenilenebilir enerjilerin depolanmasının da göz önünde bulundurulması gerektiği vurgulanmıştır. Mikro şebekeler kontrol edilirken yerel veya merkezi olarak kontrol edilebildikleri kesintisiz güç kaynaklarının (UPS) denetimi şebekenin bulunduğu alanda mikro denetim için başlangıç noktasını oluşturduğunu belirtmişlerdir. UPS'ler genel olarak tek kaynak ve tek depolama biriminden oluşurken mikro şebeke sistemleri birden fazla dağıtılmış üretim (DG) birimi içerdikleri ve bu nedenle de, ada içi mikro şebekenin birimleri arasında güçlü bir güç paylaşımı stratejisi olması gerektiği belirtilmiştir. Aynı zamanda iki sisteminde ölçek olarak çok farklı olduğundan UPS'ler mikro şebekelere göre kıyasla çok daha küçüktürler. İki sistemin kontrol şekli de farklıdır. UPS'ler merkezi kontrolle yönetilirken mikro şebekeler yerel kontrol yöntemiyle yönetildiği ve bunun iki yararı olduğu vurgulanmıştır. Bunlardan ilki, birincil kontrol için yeni bir iletişim alt yapısı oluşturma gereksinimi olmayacağı gibi ikincisinde ise iletişim bağlantısı sistemin güvenliğini etkileyebilecek arızalara neden olmayacağı gibi güvenlik ve maliyet açısından fayda sağlayacağını belirtmişlerdir.

Yapılan bu çalışmada ayrıca şebekedeki üniteler arasındaki iletişimi engelleyen denetleyicilerde olan sarkma kontrolü yöntemlerine de değinmişlerdir. Mikro şebekenin akıllı ve esnek olması için hiyerarşik kontrol yöntemini önermişlerdir. 3 seviyeli hiyerarşik kontrol yöntemini, AC ve doğru akım kaynaklı (DC) mikro şebekeler üzerinde uygulamışlardır. Bu 3 seviyeli hiyerarşik kontrolde, çıkış sanal empedansından oluşan birincil kontrol, birincil kontrol tarafından üretilen sapmaların geri yüklenmesini sağlayan ikincil kontrol, keza mikro şebeke ile harici bir elektrik dağıtım sistemi arasındaki güç

akışını düzenleyen üçüncül kontrolden oluşan bir hiyerarşik kontrol mekanizmasını ifade etmişlerdir.

Mojica-Nava vd.(2014), akıllı şebeke sistemlerinin uzun zamandır enerji sistemleri alanında yapılan çalışmaların odağında olduğunu ve olmaya da devam edeceğini belirterek akıllı şebekelerde kullanılan hiyerarşik kontrol yöntemleri ile ilgili yeni bir algoritma geliştirmişlerdir.

Bu çalışmada görev paylaşımı dağıtılmış bir akıllı sistem olarak düşünülebilen, mikro şebeke operasyonu için gerekli üç ana kontrol seviyesini entegre etmişlerdir. Bunun için bir koordinasyon algoritması olarak görev paylaşımı ve bir oyun teorisi tabanlı gönderim stratejisini kullanarak bir hiyerarşik mikro şebeke yönetim sistemi sunmaktadırlar. Önerilen algoritma, dağıtılan jeneratörler için talep edilen toplam yükü verimli bir şekilde paylaşıırken, mikro şebeke yardımcı programları dinamik olarak en üst düzeye çıkartılarak sistem güvenilirliğini daha da artırdığını vurgulanmıştır. Önerilen bu yaklaşımın dinamik performansının geleneksel bir hiyerarşik algoritma ile karşılaştırıldığında etkinliğini göstermek için bazı simülasyon sonuçları da sunulmuştur.

Aynı zamanda gelecekte dağıtık üretim ve dijital teknolojilerin entegrasyonu, elektrik şebekesini daha verimli, esnek ve güvenilir hale geleceği ve bu şekilde bugün sahip olduğumuz merkezi ağ, mikro şebekenin dağıtılmış bir alt sistemler ağı haline gelecektir. Bir mikro şebekenin, ana şebeke ile topluca yönetilecek olan elektrik şebekesindeki diğer elemanlarla işbirliği yapması gereken ve birbirine bağlı olan dağıtılmış cihazların (örneğin, jeneratörler ve yükler) bir alt birimi olduğu belirtilmiştir. Birbirine bağlı olmayan bölgelerde veya kırsal alanlarda bu mikro şebeke karakteristiklerinin tasarlanması ve uygulanması ihtiyaçları nedeniyle, otonom çalışma modunda bir mikro şebeke oluşturmuşlardır. Dağıtılmış ve hiyerarşik yapılara dayanarak, mikro şebekelere uygulanan dağıtılmış jeneratörler dağıtımında optimal ve uygulanabilir çözümlerle basit bir algoritma ile yeni ekonomik sevk stratejileri önerilmiştir. Ayrıca, merkezi bir yük-frekans kontrolünü (LFC) frekans düzenleme görevi ile birleştiren bir yük frekansı kontrol stratejisi ve mikro şebekelerde ekonomik kriterler ile mikro veri kaynaklarını göndermek için basit bir optimal algoritma önermişlerdir. Geleneksel olarak, mikro şebekelerin otonom şekilde çalıştırılmasında ana kontrol eylemleri (örneğin, güç jeneratörü kontrolü, sekonder frekans kontrolü ve ekonomik dağıtım) ayrı olarak

düşünülür. Ekonomik gönderim süreci genellikle, statik optimizasyon algoritmaları veya 5 dakika ila 1 saat arasında bir zaman aralığında çevrim dışı çalışan doğrudan arama yöntemleri ile çözülebildiğini ifade etmişlerdir. Bununla birlikte, modele hat kayıpları, çeşitli dağıtılmış yükler ve jeneratörler dâhil edildiğinde problem analitik olarak daha karmaşık hale geleceği belirtilmiştir.

Çalışmada son olarak mikro şebekelerin tüm görev seviyelerini bütünleştirmek için dağıtılmış akıllı sistemlerden matematiksel işlemler yapılarak bir hiyerarşik mikro şebeke yönetim sistemleri üzerindeki ana işlemleri yapabilecek simülasyonlar verilmiştir.

Elratty vd. (2014) çalışmalarında, mikro şebekeye bağlı güneş ve voltaik kaynaklarını (MCPV) modellemek ve ayarlamak için bir yöntem geliştirmiş ve uygulamışlardır. Önerilen kontrolör dengeli mikro şebekelerde voltaj ve frekans düzenlemesine katkı sağlamak için droop kontrol cihazlarıyla maksimum güç noktasının belirlenmesi sağlanmıştır. Keza MCPV'lerin ihtiyaç duyduğu denetleyicilerin ayarlanması için bazı yöntemlerde verilmiştir. Her bir MCPV kaynağı, DC / DC ve DC / AC dönüştürücülerden oluştuğu bu nedenle, DC ve AC dinamiklerini ve etkileşimlerini açıklayan denklemleri formüle etmek için bir yöntem sunulmuştur. MCPV kaynağının kapalı bir döngü modelini elde etmek için, DC ve AC devrelerinin dinamikleri, farklı kontrolörlerin durum denklemleriyle güçlendirilmiş ve MCPV kaynağı farklı konfigürasyonlarla kontrol edilebildiğinden, konfigürasyonların her biri için bir model verilmiştir.

Çalışmada kök yer eğrisi tekniği (root locus technique) kullanılarak denetleyicilerin parametrelerinin ayarlanması sağlandığını belirtmişlerdir. Kök yer eğrisi tekniği, sistem parametreleri değiştikçe MCPV kaynağının kararlılığının kontrol edilmesini sağlamak amacıyla kullanıldığını ifade etmişlerdir. Buna göre, MCPV modelinde MCPV penetrasyon seviyesini belirtmek için bir parametre verilmiş ve daha sonra sistem stabilitesini bu parametrenin farklı değerlerini dikkate alarak test etmişlerdir. Farklı önerilen konfigürasyonlar arasında geçişleri ve MCPV kaynağının kararlılığını kontrol alanındaki anahtarlamalı teorem kullanarak sağlamışlardır. Önerilen kontrol yönteminin kontrolör tasarımı üzerindeki etkisi, modele yansması ve kontrol seviyeleri arasındaki geçişleri yaparken MCPV'yi sabit tutabilmeyi amaçlamıştır.

Bayındır vd. (2014) diğ er bir çalışmasında, dağıtılmış enerji kaynaklarının (DEK) bileşenleri, yapıları ve çeşitlerinden bahsetmişlerdir. Günümüz piyasasında kullanılan yapıların avantajları ve dezavantajları karşılaştırılmış ve bu yapıların daha da iyileştirilmesi için çözümler  onerilmiştir. Klasik mikro şebekelerde t kutilen fosil yakıtın sadece üçte biri elektrik enerjisine d n şt r leabilmektedir. Geri kalan kısmı ısı enerjisine dönüşmektedir. Buna karşın mikro şebekelerde yani DEK’lerde kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarının etkin kullanımı sayesinde bu kayıplar minimum seviyeye indirilebilmektedir. DEK’ler tüketiciler ile sürekli iletişim halinde olduğundan arz-talep dengesini devamlı olarak kontrol altında tutabilmektedirler. Uzun iletim hatlarında ortalama % 5-10 arasında güç kaybı meydana gelmesine rağmen DEK yapılarında hemen hemen tüm güç sistemin içerisinde kalmaktadır. DEK’ler sayesinde şebeke üzerinde genel arızadan, kasıtlı veya istenmeden meydana gelebilecek g   dalgalanmasının önüne ge ebilece  esnekliğe sahip olduğu vurgulanmıştır. Buda bu sistemlerin maliyet ve güvenlik açısından gayet cazip olduğu anlamına geldiği belirtilmiştir.

Guerrero vd. (2015), ada modlarında çalışan mikro şebeke yapılarının ana şebekeye dâhil edilirken gerek voltaj gerekse frekans değerlerinin senkronizasyonu için bir yaklaşım önermişlerdir. Mikro şebeke yapılarında genellikle ileri teknolojik güç elektroniği dönüştürücülerine sahip olduğundan geleneksel güç elektroniği yapılarından farklı olduğu belirtilmiş ve bu yapılara uygun kontrol sistemleri geliştirilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. İlk olarak, bu geçiş sırasında oluşacak sorunları gidermek için, mikro şebeke senkronizasyon kriterleri türetilmiştir. Bu kriterlere dayanarak, sadece temel bileşeni değil, aynı zamanda harmonik bileşenlerin pozitif ve negatif dizilerini de dikkate alan yeni bir dağıtılmış ve aktif senkronizasyon stratejisi  onerilmiştir.  onerilen bu yaklaşım sayesinde ana şebekeye kesintisiz bir bağlanma gerçekleştirilebileceği ve hiyerarşik kontrol yapısının ikincil kontrol seviyesinde olacağını göstermişlerdir. Yapılan deney ve simülasyonlar sonucunda gerçek zamanlı donanımında, ilgili tekniğin uygulanabilirliğini belirlemişlerdir. Bu  alışma temelde    aşamaya ayrılmıştır; birincisi mikro şebekenin senkronizasyon kriterleri, ikincisi geliştirilmiş aktif bir temel senkronizasyon kontrolü (FSC),    nc s  basit aktif bir bozulma senkronizasyon kontrolü (DSC) yönteminden ibaret olduğu ifade edilmiştir.

Sonuç olarak, ana şebeke voltajını doğru bir şekilde izlemek için temel pozitif ve negatif dizi bileşenlerini ve mikro şebekenin düşük harmonik bileşenlerini aktif olarak ayarlayabilmeyi sağlamışlardır. Bu yöntemde farklı şebeke ve yük koşullarında test edilmiş ve gerçek zamanlı döngü donanımı (HiL) sonuçları, yeniden bağlanma sırasındaki ani akımın etkili bir şekilde azaltıldığını aynı zamanda dengesiz ve bozulmuş voltaj koşullarında bile önerilen senkronizasyon şemasının kullanılmasıyla sorunsuz bir geçişin sağlandığı belirlenmiştir.

Palizban vd. (2015), mikro şebekelerin kontrolünde, yenilenebilir enerji kaynaklarının (RES) üretimindeki değişiklik nedeniyle kritik öneme sahip olduğu ifade edilmiştir. Mikro şebeke kontrolünü optimize etmek için, son on yılda birçok araştırmacı tarafından hiyerarşik kontrol programları sunulduğunu belirtmişlerdir. Bu yazıda hiyerarşik kontrol için elektrik üretiminden, yenilenebilir enerji kaynaklarına kadar ana şebeke ile senkronizasyon veya ada modlu sistem şeklinde olmak üzere müşteriyi desteklemeye kadar kapsamlı bir teknik yapı sunulmuştur.

Kontrol stratejisi boyunca kontrol ve enerji yönetimi konularının mikro şebekelerdeki etkisini artırabileceği bu nedenle, optimum kontrol stratejisi, müşterilerin enerji üretiminde RES ve özellikle rüzgar ve PV panellerini kullanması için güçlü bir destek sağlayacağı belirtilmiştir. İç kontrol döngüsü ve birincil kontrol için önerilen teknik çözümler, endüstri tarafından uygulanacak kadar kapsamlı olduğu ancak, orta düzeyini tamamlamak için özellikle merkezi olmayan bir yöntemle çözümlenmesi gereken birçok araştırma sorusu ve doldurulması gereken birçok boşluk olduğu vurgulanmıştır. İlk önemli husus, mikro şebeke merkezi kontrolün görevini ikincil kontrol seviyesinden itibaren azaltmaya yönelik adalı mod yönetiminin bazı yöntemleri vardır, ancak bunlar kısıtlı olmaktadır. İkinci önemli husus ise merkezi olmayan kontrolü enerji depolama sistemini genişletmek ve plansız kesintilerden kurtulabilen mikro şebeke kontrolünde bir ana üniteye olan ihtiyacı ortadan kaldırmak için bir çalışmaya ihtiyaç olduğu gözlemlenmiştir.

Dolayısıyla rüzgâr, PV gibi yeşil enerji diye adlandırılan RES'lerin ana şebekeye bağlanması ve kontrolü ele alınmış ve P-I kontrolü ile çalışmaları desteklenmiştir. P/f, Q/V, P/V, Q/f yöntemleri ile droop kontrolü yapıları matematiksel denklemler ile desteklenerek işlenmiştir.

Andrade vd. (2015) Danimarka Aalborg Üniversitesinde invertör tabanlı akıllı bir mikro şebeke laboratuvarında mikro şebeke merkezi kontrol cihazının geliştirilmesi incelemişlerdir. Donanım / iletişim mimarisi ve uygun tasarlanmış kontrol hiyerarşisi kombinasyonu ile mikro şebeke ile ilgili çalışma için esnek bir deneysel platform oluşturulmuştur.

Çalışmalarında birincil kontrol döngüleri MATLAB / Simulink'te geliştirilmiş ve yerel kontrol amacıyla derlenmiştir. Bu araştırma, iç kontrol döngüleri, birincil ve ikincil kontrol döngüleri dâhil olmak üzere invertör ara yüzü DG'lerin temel kontrolünden başlanmıştır. Sistem denetimini ve uygun ikincil ve üçüncül yönetimi gerçekleştirmek için, LabVIEW tabanlı bir mikro şebeke merkezi kontrol cihazı da geliştirilmiştir. Yazılım ve donanım şemaları açıklanarak iMG laboratuvarında voltaj / frekans düzenlemesi ve voltaj dengesizliğinin telafisi için örnek bir olay test edilmiştir. Tüm sistemin performansını göstermek için deneysel sonuçlar sunulmuştur. Yapılan çalışmada kurgulanan sistemin performansını göstermek için deneysel sonuçlar sunulmuştur.

Son olarak farklı iletişim teknoloji türleri ile bu tür laboratuvarlarda, merkezi, dağıtılmış veya hibrit bir kontrol / yönetim mimarisi donatma esnekliğine sahip tam bir mikro şebeke sistemi elde etmek için bu laboratuvar da uygulanmış ve test edilmiştir.

Özdemir vd. (2017) çalışmalarında günümüz güç sistemlerinde, hayati güç dengesizliklerini takip edip üretim-yük dengesinin koruma özelliğini maksimum seviyede tutmak için optimum kazançlara sahip süper iletken tabanlı kontrolörlere ihtiyaç olduğunu vurgulamışlardır. Mikro şebeke sayısının artmasıyla bu sorun bugün daha önemli bir hal almıştır. Mikro şebekeler çoğunlukla elektrik gücü üretimi yaparken yenilenebilir enerji kaynaklarını çok daha fazla kullandığı için üretim miktarlarının da doğal olarak sürekli değiştiği gözlemlenmiştir.

Mikro şebeke sistemlerinde frekans kontrolü için kontrolör çeşitlerinden PID kontrolörünü kullanmışlardır. Kontrolörlerin kazançlarının optimal değerlerinin belirlenmesinde, ismine Lig Şampiyonası Algoritması (LŞA) dedikleri bir yöntemi kullanmışlardır. Denk. 2.1'de belirtilen zaman ağırlıklı kare hatası (ITSE) maliyet fonksiyonuna göre LŞA, parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), yapay arı kolonisi (ABC) adı verilen yöntemlerle kontrolör kazançlarını belirlemişlerdir. Bu üç farklı yöntemle göre

elde edilen kazanç değerleri kullanılarak sistemin zamana göre simülasyonları yapılmış ve performansları karşılaştırılmıştır. Sistem üzerinde meydana gelen bozulmalara karşı yük-frekans kontrolünü iyi bir şekilde yapıldığını göstermişlerdir.

$$ITSE = \int_0^{\infty} t[e(t)]^2 dt \quad (2.1)$$

Bu denkleme göre maksimum taşma olduğunda yöntemler arasında en iyi performans ABC ile elde edilmiştir. Yerleşme sürelerine göre bakıldığında ABC performansı LŞA performansına göre daha geride kalmaktadır. PSO'nun maksimum taşma miktarı bakımından LŞA ile yaklaşık aynı değere sahip olduğu görülmüş ancak yerleşme zamanına göre küçük bir fark söz konusudur. ITSE performans indeksine göre elde edilen yerleşme süresi ve maksimum bozulma miktarları detaylı olarak verilmiştir. Ayrıca şebekedeki maksimum taşma, yerleşme zamanı ve maliyet değerleri ilgili çalışmada tablo halinde verilmiştir. Bu değerlere göre LŞA yönteminin ITSE performans indeksinde en düşük maliyete sahip olduğu görülmüştür.

Sonuç olarak Özdemir ve arkadaşları mevcut güç sistemlerine katılan yeni enerji üretim birimlerinin bağlanma gerilimlerine paralel olarak, önemi her geçen gün daha da artan mikro şebekelerinde oluşan bozulmaları düzeltebilecek ve nihayetinde üretim-yük dengesini korumak için uygun kontrolörler kullanılmak zorunda kalmışlardır. Bu amaçla yeni bir algoritma olan LŞA'yı başarılı bir şekilde uygulayarak literatürde yaygın olarak kullanılan ITSE yaklaşımı ile öne sürdükleri algoritmayı önermişlerdir. ITSE performans indeksine göre elde edilmiş ve önerilen yöntem PSO ve ABC ile optimize edilmiş kazançlar ile karşılaştırılmıştır. LŞA performansı ikisine göre daha iyi olduğu görülmüştür.

Kadam vd. (2017) yayınlarında, mikro şebeke kaynaklarının / bara gerilimlerinin ve akımlarının mutlak değerlerini doğrulamaktan ziyade, başlangıç hata koşullarını kesin ve hızlı bir şekilde saptamak için ayarlanmış eşik değerlerine karşı gerilim ve akım değişim hızını değiştirmekten ziyade yeni bir uyarlamalı koruma planı sunulmuştur. Ayrıca mikro şebeke için mevcut koruma şemaları ve önerilen koruma stratejisini incelemek için bir DC mikro şebeke prototipini laboratuvar ortamında geliştirmişlerdir. Geliştirilen prototipin içyapısı açıklanmış ve çeşitli koruma şeması ve donanım sonuçları verilmiştir.

Sistemin dinamiklerini ele alarak arıza durumunda, en erken arızadan kurtarma ve sonrasında sistemin kararlılığını muhafaza edecek şekilde genişletilebilecek yapıya sahip olduğu vurgulanmış ve hata izolasyonu sırasında sistem kararlılığı tehlikeye atılmayacak ve sistem daha katı hale gelecek şekilde kesin bir kontrol algoritması geliştirilerek bu sorunların üstesinden gelebileceklerinin üzerinde durulmuştur.

Bu çalışmada arıza tespiti ve izolasyonunu kolaylaştıran ve böylece sistemin güvenilirliğini artıran yeni bir koruma planı sunulmuştur. Gerilim ve akım değişim hızına dayanan koruma şeması ve açmada uygun zaman gecikmesi geçici şartlarda sıkışmaları önler. Önerilen programın koruma için çok güvenilir olduğu savunulmaktadır. Mikro şebeke koruma ve kontrol sorumlusu (MPCS) ve yerel kontrolörlerin uygun koordinasyonu ile hiyerarşik kontrolün kullanılması algoritmayı daha güvenilir kılmış ve belirsizlik şansını önlediği savunulmuştur. İşlemciler ve iletişim mimarisi yardımıyla hatalı kolun hızlı bir şekilde yalıtılması sağlanmıştır. Laboratuvarda kurulan yapıda iki yenilenebilir kaynaktan ve enerji depolama sisteminden beslenen bir hiyerarşik olarak kontrol edilen DC mikro şebekenin bir laboratuvar prototipi geliştirilmiş ve çeşitli modlar ve arıza olayları için test etmişlerdir.

Dou vd. (2017) ilgili çalışmada, eşleşmeyen hat empedansı ile ilişkili dağıtılmış jeneratörler (DG) arasındaki reaktif güç paylaşımındaki dengesizliği gidermek için çok ajanlı sistem (MAS) çerçevesinde bir hiyerarşik kontrol stratejisi önermişlerdir. Droop kontrolü yaparken DG'yi sanal güç kaynağıyla (VPS) değiştirip ve VPS'lerin voltajlarını bir hiyerarşik kontrol ile senkronize etmişlerdir. İlk olarak, birincil kontrolde, sanal empedans değerini tanımlayarak çizgi özelliğini iyileştirerek VPS'nin voltajı kabaca tutarlı tutulmaya çalışılmıştır. Ardından, tetikleyici, ikincil kontrolün etkin olup olmadığını belirleyen reaktif güç çıkışlarına dayalı bir VPS voltaj değerlendirme endeksi belirleyerek VPS'nin voltaj değeri sürekli kontrol edilerek stabilize edildiğini göstermişlerdir.

Keza bu çalışmada düşük voltajlı mikro şebekelerde VPS'nin çok ajanlı sistem (MAS) tabanlı hiyerarşik dağıtılmış koordinat kontrolü açıklanmaktadır. DG'ler etkileşim şekli, kurulu MAS'a dayanmakta ve kontrol sistemi iki seviyeli kontrol içerdiği belirtilmiştir. Birincil kontrol dağıtılmış sanal empedans değerlerini seçerek VPS'lerin voltajlarını kabaca eşitleyebilir ancak küçük yüklerle maruz kalabilirler. Yük güç talebi nispeten

büyük olduğunda, konsensüs teorisine dayanan ikincil kontrol, VPS'lerin voltajlarını daha da sıkı bir şekilde senkronize ederek sürekli yukarıdaki kusuru telafi edebileceği üzerinde durulmuştur. Ön görülen yöntem teorik sonuçlar ve simülasyon sonuçları ile uyumlu olduğunu da göstermişlerdir.

Meng vd. (2017), DC mikro şebekelere uygulanan kontrol şemaları ve mimarileri üzerine kapsamlı bir çalışma yapmışlardır. Çok katmanlı hiyerarşik kontrol şemalarını, koordineli kontrol stratejilerini, tak ve çalıştır işlemlerini, kararlılığı ve aktif sönümleme özelliklerini ayrıca doğrusal olmayan kontrol algoritmalarını kapsamaktadır. Genel bir hiyerarşik program çerçevesinde kontrol sistemi yapısı, merkezi, dağıtılmış ve merkezi olmayan yapılar tartışılmıştır.

Çalışmada temel katman kontrol döngülerini bütünleştiren birincil kontrol; doğru voltaj, akım ve güç düzenlemesini hedeflemiştir. Yerel ünitenin dinamik performansını tanımladığı ikincil ve üçüncül kontrol, voltaj kalitesi, akım paylaşımı iyileştirmesi ve optimize edilmiş işlem gibi gelişmiş işlevsellikler sağladığı belirtilmiştir. Tak-çalıştır özelliği, ada bileşeni seviyesinden sistem seviyesine kadar gelecekteki enerji sistemleri için kritik bir öneme sahip olduğu belirtilmiştir. Dönüştürücüler ve dağıtılmış kaynak ünitelerinin bir mikro şebeke ile sorunsuz bir şekilde bağlanıp bağlantısını kesmeleri gerektiği ifade edilmiştir. Benzer şekilde, bir mikro şebeke herhangi bir zamanda harici şebekeye bağlanma ve bağlantıyı kesme olanağına sahip olması gerektiği uygun bir kontrol tasarımının sadece bileşenler ve sistemler arasındaki koordinasyonu sağlamakla kalmayıp, sistemin dengesini de sağlaması gerektiği belirtilmiştir.

Wei vd. (2018), dengesiz bir şebeke yapısına yardımcı bir yapı bağlandığında (mikro şebekeler gibi), droop kontrollü şebekeye bağlı mikro şebekeler (DCGC-MG'ler) düşük eşdeğer empedans sergilediğini; ortak bağlantı noktasındaki (PCC) harmonik ve dengesiz voltaj, DCGC-MG'nin şebekeye bağlı akımının (GCC) güç kalitesini düşürdüğünü belirtmişlerdir. Hiyerarşik kontrol teorisine dayanan aktif, dengesiz ve harmonik bir GCC bastırma stratejisi önermektedir. DCGC-MG'nin veri yolu ile şebekenin PCC'si arasındaki voltaj hatası dq olarak isimlendirilmiştir. Bu çalışma, DCGC-MG için hiyerarşik teoriye dayanan aktif bir harmonik ve dengesiz GCC stratejisi geliştirmiştir.

Sistem veri yolu ve PCC arasındaki voltaj hatası dq çerçevesinde belirlenmiştir. Ayrıca voltaj kontrollü invertörler (VCI) birincil kontrolde negatif temel ve harmonik voltaj kaymasını oluşturmak için orijinal ikincil kontrole birden fazla R voltaj kontrol cihazından oluşan ilave bir kompensatör eklenmiştir.

Son olarak çalışmalarında orantılı integral (PI) kontrolörü ve çoklu R kontrolörleri (PIMR), VCI'nın voltaj izleme performansını iyileştirmek için orijinal birincil seviyede voltaj kontrol cihazı olarak kabul edilmiştir. Sonuç olarak, PCC ve DCGC-MG veri yolu arasındaki karşılık gelen voltaj bileşen farklılıkları önemli ölçüde azaltılmış ve böylece GCC'nin güç kalitesi iyileştirilmiştir.

Jian vd. (2018) yaptıkları güncel çalışmalarında, güç dağılımını optimize etmek için DC mikro şebeke için koordineli bir uyarlamalı droop kontrolü ele almışlardır. Mikro şebekelerin ekonomik gönderim problemi için en uygun çözüm, tamamen dağıtılmış bir hiyerarşik kontrol yoluyla bulunabileceği belirtilmiştir. Jeneratörler için en uygun çözümü hesaplayan ekonomik ve pratik çözüm regülatörün tamamen dağıtılması olduğu söylenmiştir. Böylece merkezi koordinatör ihtiyacı ortadan kalktığı vurgulanmıştır. Droop kontrol cihazı referansı ekonomik regülatörden alır ve sistemin güç dengesini korurken çıkış gücünün referansa yaklaşması sağlanmaya çalışılmıştır.

Ayrıca, ekonomik regülatör, droop kontrolünün özelliklerine dayanarak sistemin yük bilgisini tahmin edebildiği ve bu nedenle, ekonomik gönderim problemini çözmek için artık yük veya yenilenebilir enerji kaynağından gelen bilgiye ihtiyaç duyulmadığını, bunun da iletişim düğümlerinin sayısını azalttığı belirtilmiştir.

Son olarak Jian vd. droop kontrolü sayesinde, yük ve yenilenebilir enerji kaynağı sisteminin güç bilgisi doğrudan geleneksel üreticilerin dönüştürücülerinin çalışma koşullarından doğrudan tahmin edilebileceği belirtmişlerdir. Bu özellik, altyapı maliyetini düşürecek, güvenilirliği artıracak ve algoritmanın yakınsama hızını hızlandıracak, dinamik model oluşturulmuş ve bu çalışmada parametrelerin nasıl seçileceğine ilişkin bilgi verilmiştir. Önerilen kontrolün etkinliğini doğrulamak için düşük voltajlı bir dc-mikro şebeke prototip platformu kullanılmıştır.

Bishnu vd. (2018) yaptıkları çalışmalarında stratejik olarak dağıtılmış esnek kaynakları / akıllı şebeke konumlarında mekânsal olarak dağıtılmış esnek kaynakları en iyi şekilde birleştirmek için bir algoritma sunulmaktadır. Akıllı şebeke siteminde, binlerce düğüme sahip olan bir dağıtım ağını birkaç toplanmış düğüme sahip eşdeğer bir ağa indirgenmiş, böylece dağıtım sistemi operatörlerinin (DSO) daha hızlı operasyonel kararlar almasını sağlamışlardır. Bunlara ek olarak bir araya getirme, küçük dağıtılmış esnek kaynaklardan farklı güç ve enerji pazarlarına alınıp satılabilmesi için esneklik sağladığı toplulaştırılmış esnekliği pratik olarak uygulamak için merkezi ve merkezi olmayan denetim yaklaşımlarının bir kombinasyonunu içeren bir hiyerarşik kontrol mimarisi önerilmiştir.

Bishnu vd. (2018) önerdikleri yöntemde, DSO'lara, şebeke kısıtlama ihlallerini çözmek için farklı ağ bölümlerinden gerekli esnekliklerin kesin miktarını belirleme konusunda mükemmel bir operasyonel araç olarak hizmet etmektedir. Bu yöntemin etkinliği, elektrikli araçların ve ısı pompalarının yüksek penetrasyonuna sahip gerçek bir alçak gerilim dağıtım sisteminde üç işletme senaryosunun simülasyonu yoluyla gösterilmektedir. Simülasyon sonuçları, toplanmanın DSO'lara yalnızca daha hızlı operasyonel kararlar almakla kalmayıp, aynı zamanda mevcut esnekliği etkin bir şekilde kullanmalarında da yardımcı olduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışma, enerji dağıtım ağındaki mekânsal olarak dağıtılmış esnek kaynakların optimum toplanmasını hesaplamak için, kaynakların coğrafi yaygınlığını ve toplanmayla ilişkili maliyeti dikkate alarak bir algoritma önermiştir. Ek olarak, merkezi ve merkezi olmayan kontrolün bir kombinasyonu ile sağlanan hiyerarşik bir kontrol mimarisi, yalnızca yerel şebeke kısıtlama ihlallerini çözmek için toplu esneklikleri dağıtmak için değil, aynı zamanda küçük dağıtılmış kaynakların farklı güç ve enerji pazarlarına alım satımını kolaylaştırmak için tasarlandığı belirtilmiştir. Belirtilen konfigürasyon için, toplanmış modelin performansı, toplanmamış ağın performansına çok yakın olduğu gösterilmiştir, bu nedenle önerilen yöntemin doğruluğunu göstermektedirler.

Zhongwen vd. (2018), AC mikro şebekelerini destekleyen invertörleri (GSI) ağ bağlantılı şebekeleri çalıştırmak için tamamen dağıtılmış bir hiyerarşik kontrol stratejisi önerilmişlerdir. Hiyerarşik kontrol seviyelerinden birincil kontrol seviyesinde, droop kontrol döngüsünden, sanal empedans kontrol döngüsünden, karışık bir H_2 / H_∞ bazlı voltaj kontrol döngüsünden oluşan kademeli bir yapıyı kayan mod kontrol tabanlı bir

akım döngüsü ile bir AC mikro şebekenin frekans ve voltaj kontrolünü gerçekleştirmişlerdir. Önerdikleri bu yöntem konvansiyonel orantılı-integral (PI) tabanlı basamak kontrol ile karşılaştırıldığında, önerilen basamaklı kontrol, GSI sistemi için kesin bir model olarak değerlendirilmediği vurgulanmıştır.

Önerilen ikincil kontrol seviyesinde, geleneksel ikincil kontrol ve üçüncül kontrol arasındaki boşluğu köprü kurarak, geleneksel ikincil kontrol ve üçüncül kontrolü tek bir kontrol seviyesine bütünleştiren dağıtılmış tabanlı ekonomik-otomatik üretim kontrolü ve dağıtılmış otomatik voltaj kontrolü sağlamışlardır.

Yapılan çalışmada hiyerarşik kontrol için, MG'lerin kontrolü, farklı kontrol seviyelerini, her bir kontrol seviyesindeki kontrol hedefini ve önerilen yeni kontrol stratejileri altında farklı kontrol seviyelerinin entegrasyonu dikkate alınarak bütün bir problem olarak algılanmıştır. Önerilen birincil kontrol, geleneksel PI tabanlı kontrol stratejisine göre daha hızlı tepki, daha düşük aşınma ve daha düşük toplam harmonik bozulma (THD) olduğunu göstermişlerdir. Ayrıca, önerilen birincil kontrol GSI sisteminin kesin bir modeline ihtiyaç duymadığı ve GSI'nin parametre belirsizliklerini ve kontrolör tasarımı için harici harmoniklerin parametre belirsizliklerini dikkate alındığını belirtmişlerdir.

Önerilen ikinci kontrol seviyesinde, geleneksel ikincil kontrol seviyesi ile üçüncül kontrol seviyesi arasındaki boşluğu kapattığına ek olarak, sağlamlığının tek nokta arızalarına karşı avantajlarını birleştirmişlerdir. Tamamen dağıtılmış bir şekilde gerçekleştirilebilir özelliği olan tak ve çalıştır gereksinimlerini yerine getirmek kolay ve bir MG mimarisini değiştirmek için maliyet açısından ucuz olduğu vurgulanmıştır.

Mehmet H. vd.(2018) yaptıkları çalışmalarında çok bileşenli sistemlerin birlikte çalışabildiğini gerçek zamanlı bir test geliştirme ve uygulama ile ifade etmişlerdir. Özerk ajanların davranış modellemesi sunulmuş ve standart veri protokolleriyle birlikte işlerlik konularını ele almışlardır. Faydadan bağımsız özel mikro şebekeler sürekli olarak kurulduğundan, genişletebilme ve tak-çalıştır işlemi için ayrı ayrı ajanların davranış modellerini tanımlamak için standart bir birlikte işlerlik çerçeveleri olması gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca akıllı fiziksel ajanlar (FIPA), IEC 61850 ve veri dağıtım hizmeti (DDS) standartlarının temelini birleştiren kapsamlı bir hibrit ajan çerçevesi önermektedirler.

Burada IEC 61850 mantıksal düğüm kavramı, uygulamaya özel özniteliklere ve tartışmalı davranış modelleme özelliğine sahip FIPA tabanlı aracı iletişim dili kullanılarak genişletmişlerdir. DDS katman yazılımı, platformlar arasında gerçek zamanlı bir tedarikçi-abone birlikte çalışabilirlik mekanizmasını gerçekleştirmek için geliştirmişlerdir. Önerilen çoklu ajan yaklaşımını, geliştirilen akıllı elektronik cihaz prototiplerini ve gerçek mikro şebeke kurulumlarını içeren laboratuvar tabanlı bir test ortamında gerçekleştirmişlerdir. Deneysel sonuçları hem merkezi olmayan hem de dağıtılmış kontrol yaklaşımları için gösterilmiştir. Merkezi olmayan hiyerarşik kontrol durum çalışması için bir mikro şebekenin ikincil ve üçüncül kontrol seviyelerini gösterilmiştir. Önerilen yaklaşımın tüm akıllı şebeke alanları için kolayca ölçeklendirilebileceği ve yeniden yapılandırılabileceği gösterilmiştir.

Son olarak anlaşmaya dayalı ve ekonomik olarak çalışması dağıtılmış bir kontrol örneği olarak gösterilmiştir. Geliştirilen ajan platformunun, gerçek akıllı şebeke saha dağıtımında endüstriyel olarak uygulanabilir olduğunu gösterilmiştir. Gelecekteki çalışmalar, çoklu ajan sistemlerinin siber-fiziksel güvenliği ve gizlilik konularını araştıracağını aynı zamanda çok bileşenli sistemin saldırı senaryoları ve izinsiz giriş toleransı siber fiziksel bir yaklaşımla inceleneceğini öne sürmüştür.

He ve Guoqiang (2018) yayınladıkları çalışmalarında dağıtılmış jeneratörlerin çokluğu göz önünde bulundurulduğunda, dağıtılmış kontrol şeması, mikro şebeke sistemleri için geniş çapta araştırmalar yapıldığı bununla birlikte, dağıtılmış kontrol programının temeli olarak, iletişim ağı her zaman güvenilir olamayacağı belirtilmiştir. Bu da sistem performansını düşürebileceği veya hatta sistemin çökmesine neden olabileceği vurgulanmıştır. Bu sorunu ele almak için, güvenilir olmayan bir iletişim ağı üzerinden adalı bir AC mikro şebekesinin frekansını ve voltaj düzenlemesini sağlayan yeni bir doğrusal olmayan hiyerarşik kontrol yaklaşımı önermişlerdir.

Bu çalışmada, güvenilirmez iletişim yoluyla bir ada AC mikro şebekesinin frekans ve gerilim kontrol sorunu ele almışlardır. Güvenilmez iletişim ağına karşı dağıtılmış gözlemci tabanlı doğrusal olmayan hiyerarşik kontrol yaklaşımı önerilmiştir. İletişim ağı ile ilişkili anahtarlama grafiği ortak bağlı durumu karşıladığı sürece, sistemin sabit durum performansının garanti edilebileceğini kesin bir kanıtla gösterilmiştir.

Xiangyu vd. (2018) çalışmalarında, hiyerarşik olarak kontrol edilen bir adalı mikro şebekede üç kontrol katmanı arasındaki koordinasyon problemini ele almak ve sistemin dağıtık bir şekilde optimal ve kararlı bir şekilde çalışmasını sağlamak için dağıtılmış bir ortak operasyon yöntemi sunmaktadırlar. Dağıtılmış üçüncül kontrol seviyesi, her bir dağıtılmış jeneratör ünitesinin optimum aktif ve reaktif güç referanslarını elde etmek için alternatif çarpan (ADMM) yöntemini kullanarak mikro şebekenin optimal güç akışını (AC-OPF) sağladığı belirtilmiştir. Daha sonra, birincil droop kontrolü ve dağıtılmış ikincil kontrol, her bir dağıtılmış jeneratör ünitesinin, orijinal voltaj ve frekans düzenleme fonksiyonlarını korurken en uygun güç referanslarını takip edebilmesini sağlamışlardır. Tersiyer kontrolün optimizasyon hedeflerinin birincil ve ikincil kontrollerin kontrol hedeflerinin eşzamanlı olarak gerçekleştirilebileceğini gösteren bir kanıt oluşturmuşlardır.

Bu yöntemin performansı bir mikro şebeke test sistemi üzerinde yapılan sayısal çalışmalar ve zaman-alan simülasyon sonuçları ile değerlendirilmiştir. Yöntemde öne çıkan özellikler, sistemin çalışmasının (i) farklı optimizasyon hedeflerini gerçekleştirmesini sağlama kabiliyeti, (ii) hem aktif hem de reaktif gücün koordineli bir dağıtımını göz önünde bulundurma, (iii) sistem operasyonel kısıtlamalarına uyma ve (iv) çeşitli güç referansları altında istikrarı sağlamak olarak sıralanmıştır.

Lingyu ve Peng (2018) çalışmalarında ada mikro şebekeleri için güç akışı analizi, hiyerarşik kontrol etkisini dâhil edecek araçların bulunmamasından dolayı zor bir sorun olduğunu vurgulamışlardır. Bu makalede, genelleştirilmiş bir mikro şebeke güç akışı (GMPF) geliştirerek boşluğu kapattığı belirtilmiştir. GMPF'nin yenilikleri şu şekilde sıralanmıştır.

- 1) Dağıtılmış jeneratör davranışlarını modellemek için genelleştirilmiş dağıtılmış jeneratör veri yolunu ve uyarlamalı döner veri yolunu tanımlamışlardır,
- 2) Droop kontrole dayalı güç akışı, ikincil kontrol ayarını başlatmak için kullanılmıştır,
- 3) Çift döngü çerçevesi içinde üç tür ikincil kontrol modu geliştirilmiştir.

Test sonuçları, GMPF'nin etkinliğini ve çok iyi yakınsama performansını sağlamışlardır.

Bu çalışmayla ilgili hiyerarşik kontrolü içerecek şekilde genelleştirilmiş bir mikro şebeke güç akışı (GMPF) geliştirilmiştir. Reaktif Güç Paylaşımı Modu (RPS), Voltaj Regülasyon Modu (VR) ve Akıllı Ayar Modu (ST) kontrol modları için üç uygulama geliştirilmiştir.

Deneysel çalışmaların sonucunda GMPF'nin düşüş katsayılarına göre doğru aktif güç paylaşımını elde edebileceğini, kontrol modu tarafından belirlenen reaktif güç paylaşımı ve voltaj regülasyonu da doğru bir şekilde değerlendirilebileceğini göstermektedirler. Bu nedenle, GMPF mikro şebeke planlama, kontrol tasarımı ve enerji yönetimi için güçlü bir araç olduğu gösterilmiştir.

Gibran vd. (2019) çalışmalarında, dengeli mikro şebekelerin çevrimiçi işletimi için birincil droop kontrolü ve merkezi bir genişletilmiş optimum güç akışı (EOPF) ile hiyerarşik bir kontrol programının uygulanması sunulmuştur. İki farklı ortak bağlantı noktaları (PCC), frekans değişimleri, iletim hattı empedansı, her DG ünitesinin verimlilik karakteristiği eğrileri, DG ünitelerinin rasgele kapasiteleri ve yük değişimleri dikkate alınarak laboratuvarında bir ada mikro şebekesinin iki vaka çalışması gerçekleştirilmiş ve çevrimiçi olarak test etmişlerdir.

Kontrol şeması çevrimiçi olarak, her bir DG ünitesinin kapasite sınırlamalarını korurken voltaj regülasyonu ve maksimum verim elde etmek için aktif ve reaktif güç yönetimi gerçekleştirmek adına düşüş karakteristiklerini ve voltaj kontrol parametrelerini optimum şekilde ayarlamayı amaçlamaktadır. Örnek olarak incelenen olayda elde edilen sonuçlar, kontrol planının uygulanabilirliğini, avantajlarını ve sakıncalarını ortaya koymuşlardır. Rasgele PQ yükü ve kapasite değişimlerinde bile, çevrimiçi çalışılan önerilen kontrolün, farklı PCC'lerin voltaj büyüklüğünü düzenlediği ve DG birimlerinin verimliliğini en üst düzeye çıkardığı gösterilmiştir. Öte yandan, hiyerarşik kontrolde optimizasyon yönteminin hesaplama süresinin 2 sn'den az olduğunu, bunun üçüncül kontrol şemalarında ise sonuçlarında belirtilerek güç yönetimi için iyi bir zaman olduğu vurgulanmıştır. Bu nedenle, PF tabanlı hiyerarşik kontrol şemalarının uygulanmasının, sisteme güvenilir bir şekilde optimize edilmiş çalışma noktaları elde etmede katkı sağladığı gösterilmiştir. Bu yazıda bildirilen vaka çalışmalarının yerel yüklerin temini için her zaman yeterli üretim kapasitesini göz önüne alındığı belirtilmiştir.

Hans vd. (2019) çalışmalarında, genel olarak yenilenebilir enerji kaynaklarının beslenmesini artırmak amacıyla birbirine bağlı mikro şebekeleri çalıştırmak için hiyerarşik bir dağıtım model tahmine dayalı kontrol stratejisi önermişlerdir. Özellikle, enerji değişimini sağlayan bir iletim ağı kullanarak mikro şebekelerin yenilenebilir beslemesinin nasıl artırılabilirliğini araştırmışlardır. Mikro şebeke sayısına göre ölçeklendirilebilen ve bağımsız yapılarını koruyan bir model öngörücü kontrol şeması elde etmek için, merkezi bir varlık aracılığıyla iletişim kuran yerel denetleyicilere giden çarpanların alternatif yön yöntemini kullanmışlardır. Bu varlık güç hatlarından sorumludur ve iletim kapasiteleri üzerindeki kısıtlamaların karşılanmasını sağlar. Sonuçlar sayısal bir vaka çalışmasında gösterilmiştir.

Keza birbirine bağlı mikro şebekeleri işletmek için çarpanların dönüşümlü yön yöntemi (ADMM) dayalı hiyerarşik bir dağıtılmış kontrol stratejisi önerilmiştir. Strateji, her bir bireysel mikro şebeke tarafından özerk bir şekilde temel optimizasyon adımını gerçekleştirmeye imkan sağlanmıştır. Özellikle, her bir mikro şebekenin yapısının ve yerel maliyet fonksiyonunun diğer mikro şebekelere veya merkezi kontrole bağlanması gerekmeyeceği kullanılan algoritmanın, yerel mikro şebekelerin çalışmasındaki esnekliği korurken RES'den genel beslemeyi artırma potansiyeline sahip olduğu gösterilmiştir.

Sonraki adımlarda, hesaplama zamanının nasıl ölçeklendiğini değerlendirmek için daha fazla sayıda mikro şebeke için kontrol şemasını ve daha karmaşık mikro şebeke kurulumlarını test etmeyi içermektedir.

Kaveh ve Hashem (2019) yaptıkları çalışmada, birkaç mikro şebekeden oluşan bir güç dağıtım sisteminde ajan bazlı bir hiyerarşik güç yönetimi modeli önermişlerdir. Modelin alt seviyesinde, birden fazla mikro şebeke, Nash karşılaştırma çözümü konseptini kullanarak ve dağıtılmış bir optimizasyon çerçevesi kullanarak, güç yönetimi problemine optimal bir çözüm elde etmek için çözümler önermişlerdir.

Yukarıda verilen literatüre dayalı olarak bu tez çalışmasında mikro şebekelerde kullanılan hiyerarşik kontrol seviyeleri ve yöntemleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Yeni bir denetleyici tasarlanmış ve DIGSILENT PowerFactory yazılımı ile modellenen mikro şebekeye uygulanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Mikro şebekelerle yapılan kontrol çalışmaları ve mikro şebeke mimarilerine uygulanan hiyerarşik kontrol yöntemi teorik olarak ele alınmıştır. Bu kontrol yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Denetleyici tasarımı ve DigSILENT PowerFactory yazılımı ile modellenen mikro şebekeler ele alınmıştır. Tasarlanan denetleyici çalışma moduna bağlı olarak mikro şebekenin gerilim ve frekans salınımları esas alınarak kabul edilebilir sınırlar içerisinde değerlendirilmiştir. Dolayısıyla şebekenin yapısı ele alınırken şebekelerin gerilim ve dağıtım özelliklerine bağlı olarak tek tek ele alınarak belirtilmeye çalışılmıştır.

Şebekeler aynı anma gerilimli ve birbirine bağlı elektrik tesislerinin tamamına verilen ad olarak tanımlanır. Şebekeler üretim hattından son tüketiciye kadar uzun ve kesintisiz bir yapıdır ve böylede olmak zorundadır. Şebeke sistemleri ile elektrik enerjisini güvenli ve az kayıpla tüketiciye ulaştırılması gerekmektedir. Bunun içinde şebeke kendi arasında farklı şekilde şebeke çeşitlerine ayrılmaktadır. Elektrik şebekeleri, gerilimlerine ve dağıtım şekillerine göre iki şekilde sınıflandırılmaktadırlar. Bir sistemin şebeke olarak adlandırılması için temel olarak şu özelliklere sahip olması gerekmektedir:

- ❖ Elektrik iletim ve dağıtım şebekelerinin, elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar enerjinin kesintisiz, güvenilir ve minimum kayıplı bir şekilde iletilmesini ve dağıtılmasını garanti etmesi gerekir.
- ❖ Elektrik şebekelerinin güvenlik ve maliyet açısından planlanmasının ve kurulumunun en ince ayrıntısına kadar çok iyi yapılmış olması gerekir.
- ❖ Dağıtım şebekelerinin hat başında, hat ortasında ve hat sonunda bulunan tüketicilerin hepsinin aynı sabit gerilim ve frekanstaki elektrik enerjisini kullanabilmelerinin garanti edilmesi gerekmektedir.
- ❖ Elektrik şebekelerinin her an değişen durumlara ve güçlüklerle yanıt verebilmesi gerekir.

3.1. Gerilimlerine Göre Şebekeler

Elektrik şebekeleri gerilimlerinin seviyelerine göre isimlendirilirler. Bunlar;

- ❖ Alçak gerilim şebekeleri (1-1000 volt arası)
- ❖ Orta gerilim şebekeleri (1kV-35 kV arası)
- ❖ Yüksek gerilim şebekeleri (35 kV-154 kV arası)
- ❖ Çok yüksek gerilim şebekeleri (154 kV'dan fazla)

3.1.1. Alçak gerilim şebekeleri

Alçak gerilim şebekeleri 1 volt ile 1 000 volt (1kV) arası gerilime sahip olan şebekelerdir. Bu şebekeler dağıtım trafolarından tüketicilere (abone) kadar olan kısa elektrik hatlarından oluşmaktadır. Genellikle köy, kasaba gibi küçük ölçekli yerleşim yerlerinde kullanılmaktadır. Elektrik enerjisini iletmek ve daha uzun mesafelere taşımak için alçak gerilim seviyesinde ki şebekeler yetersiz kalmaktadır. Alçak gerilimde güç düşümü ve kayıpları fazla olmaktadır. Bu sebepten dolayı gerilim seviyesi belli oranda yükseltilerek elektrik enerjisinin uzun mesafelere minimum kayıp ile iletilmesi sağlanmaktadır. Gerilimi yükselen elektrik, dağıtım bölgesindeki trafolarla ihtiyaç duyulan seviye gerilimine kadar düşürülerek konut ve işyerlerine alçak gerilim seviyesinde ulaştırılır. Alçak gerilimler yalıtımı ve korunması diğer seviyelere göre kolaydır. Bu yüzden trafolar abonelere yakın kısımlarda kurulur. Alçak gerilimle yapılan iletimlerde gerilim düşümü ve güç kaybı fazla olduğu için alçak gerilimler iletim kısımlarından daha çok dağıtım şebekelerinde kullanılmaktadır. Ülkemizde konutlarda günlük hayatta kullandığımız enerjinin gerilimi 220V, sanayide kullanılan üç fazlı alternatif akımın gerilimi ise 380V'tur.

3.1.2. Orta gerilim şebekeleri

Orta gerilim şebekeleri 1000 volt (1 kV) ile 35 000 volt (35 kV) arasındaki gerilimler şebekeleridir. Bu şebekeler yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekelerinin arasında birbirlerine bağlanması işleminde kullanılır. Yüksek gerilim şebekelerinin arada başka bir şebeke sistemi olmadan doğrudan doğruya alçak gerilim sistemi üzerinden abonelere verilmesi izolasyon ve güvenlik açısından uygun değildir. Bu gibi sebeplerden dolayı yüksek gerilimler uygun değerlere indirilerek orta gerilim

şebekelerine bağlanır. Orta gerilim şebekeleri enerji ihtiyacının az olduğu küçük şehirler ve sanayi bölgelerine elektrik enerjisinin taşınmasında kullanılmaktadır. Orta gerilimler dağıtımdan ziyade iletim de kullanıldığından şehirlerin girişindeki dağıtım trafolarına bağlanır. Buradan alçak gerilim şebekelerine aktarılıp abonelere dağıtılır. Türkiye’de kullanılan orta gerilim şebekelerinde 10, 15 ve 33 kV’lık gerilimler kullanılmaktadır. Bu seviyelerin nasıl ve nerede kullanılacağı enerji nakil hattın uzunluğuna göre belirlenmektedir. Yani;

- Uzunluğu 10 km’ye kadar olan enerji nakil hatlarında hat gerilimi olarak 3-10 kV,
- Uzunluğu 20-30 km arasındaki enerji nakil hatlarında hat gerilimi olarak 10-20 kV,
- Uzunluğu 30-70 km arasındaki enerji nakil hatlarında hat gerilimi olarak 20-35 kV’luk gerilimlerin kullanılması uygundur.
- Uzunluğu 70 km’yi geçen enerji nakil hatlarında ise hat gerilimi olarak yüksek gerilimler kullanılmaktadır.

3.1.3. Yüksek gerilim şebekeleri

Yüksek gerilim şebekeleri 35 kV ile 154 kV arasındaki gerilimi kullanan şebekelerdir. Elektrik enerjisinin üretildiği enerji santrallerinden başlayan ve büyük şehirler ile bölgelerin başlangıcı arasında kullanılan yüksek enerjili şebekelerdir. Yüksek gerilimde izolasyon ve güvenlik sebeplerinden dolayı dağıtım yapılmaz. Yüksek gerilimlerde kayıplar nispeten az olduğundan ilettime en uygun gerilimlerdir. Çok uzak mesafelere enerji iletiminde alçak gerilimlerde güç kaybı çok olurken yüksek gerilimlerde güç kaybı az olduğu için yüksek gerilimler çoğunlukla iletim şebekelerinde kullanılır. Türkiye’de kullanılan yüksek gerilim değerleri 66 ve 154 kV’tur.

3.1.4. Çok yüksek gerilim şebekeleri

154 kV’nin üzerindeki gerilimlere sahip şebekelere çok yüksek gerilim şebekeleri denmektedir. Türkiye’de çok yüksek gerilim olarak 380 kV kullanılırken, yabancı ülkelerde 500 ve 750 kV’ye kadar gerilimler kullanılmaktadır. Çok yüksek gerilim şebekeleri şehirlerarası ile santraller arası bağlantı kurmak için tesis edilmektedir.

Buraya kadar gerilimlerine göre şebekeler incelenmiştir. Bundan sonraki kısımda da şekillerine göre şebekeler incelenecektir. Elektrik enerjisinin üretildiği santraller genellikle yerleşim birimlerine uzak yerlerde konumlanmışlardır. Bu yüzden üretilen elektrik enerjisini bir şekilde tüketiciye kadar taşımak gerekmektedir. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması amacı ile tesis edilen iletim ve dağıtım şebekeleri, iletimin ve dağıtımın yapılacağı yerleşim yerlerinin özelliklerine göre; en uygun, güvenli ve kesintisiz enerji verebilecek şekilde oluşturulmalıdır. Elektrik enerjisinin dağıtımını birçok eleman ve yapıların bir arada kullanılması ile gerçekleştirilmektedir. Yerleşim yerlerinde döşenen hat parçalarının birbirine eklenmesinden kollar ve kolların birbirine eklenmesi ile dağıtım şebekeleri meydana gelmektedir.

3.2. Şekillerine Göre Şebekeler

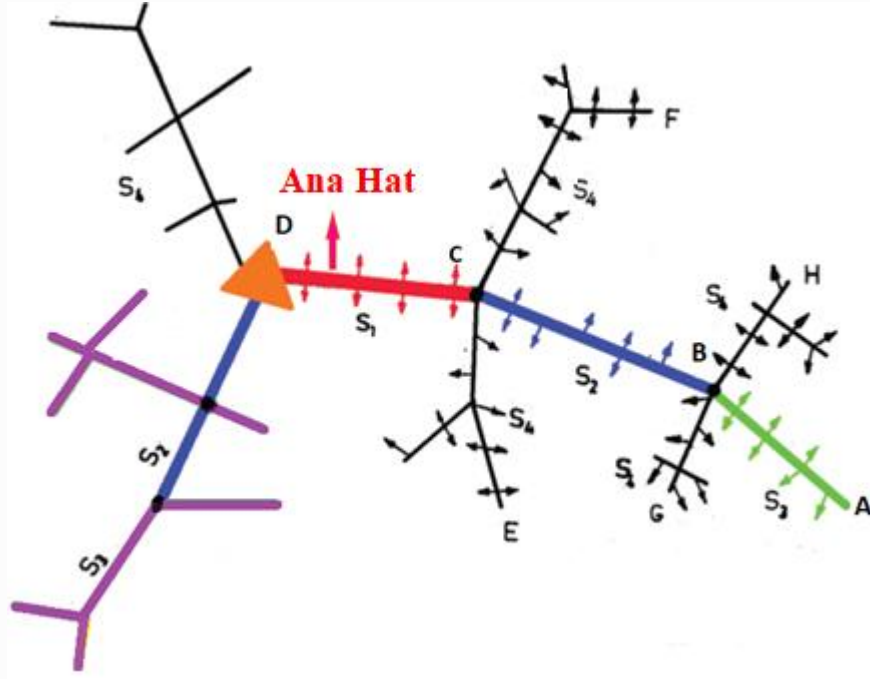
Yerleşim birimleri ve sanayiler gibi tüketicilerin bulunduğu yerlerdeki cadde, yol, meydan ve geçitler boyunca döşenen hat parçalarının birbirine eklenmesinden, kollar ve kolların birbirine eklenmesinden de dağıtım şebekeleri meydana gelir. Elektrik şebekelerinin kurulmasında alıcıların, teknik yönden uygun ekonomik ve ergonomik beslenmesi ana kuraldır. Bu kuralları yerine getirebilmek için değişik şekillerde şebeke sistemleri geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlilerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Dallı (Radyal) Şebekeler
- Ağ Şebekeler
- Halka (Ring) Şebekeler
- Enterkonnekte Şebekeler

3.2.1. Dallı (Radyal) Şebekeler

Bu tür şebekeler genellikle tek kaynaktan beslemesi yapılan yerleşim ve şehir merkezleri, köy ve kasabalarda kullanılmaktadır. Dağılım şekli ağaç dallarına benzediğinden dallı şebeke olarak isimlendirilmiştir. Dallı şebekelerde dağıtım yapılacağı bölgenin talep edilen yük miktarı dikkate alınarak şebekenin ağırlık merkezleri belirlenerek buralara trafolar yerleştirilir. Bu trafonun etrafındaki iletim yapılacak olan son alıcılara (sokak aydınlatmaları, apartmanlar, dükkânlar vb.) bir ağacın dalları gibi önce kalın kollara daha

Dallı şebekelerde dağıtım trafosuna yakın olan kısımlarda kullanılan kalın kesitli hatlara ana hat denir. Trafodan uzaklaştıkça incelen kollardaki ve son alıcıya kadar iletilen iletim hatlarına(dallara) ise branşman hatları denir.

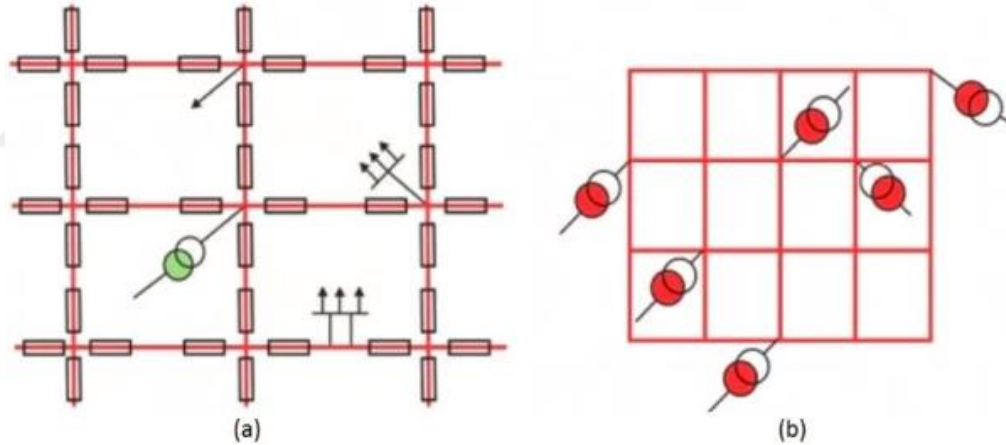


Bu gibi alan bazlı şebekelerde dağıtım trafosuna yakın kısımlarda olan ve kalın kesitli hatlara ana hat dal denir. Trafodan uzaklaştıkça incelen ve son kullanıcıya kadar uzanan hatlara ise branşman hat olarak isimlendirilmektedir. Şekil 3.1’de Dalların kalınlıkları $S_1 > S_2 > S_3 > S_4$ şeklindedir. A, B, C ve D kollarındaki kalın kesitli hatlar ana hatları ve E, F, G ve H gibi ince kesitli hatlar ise branşman hatları oluşturmaktadır.

32

3.2.2. Ağ (Gözlü)Şebekeler

Ağ (Gözlü)Şebekeler genellikle orta gerilim şebekelerde kullanılmaktadır. Bu şebekeler dağıtım amacıyla kullanılmaktadır. Şekil 3.2’de ağ şebekeye ait şematik dağılımı veren yapı gösterilmiştir. Ağ şebekeler santrallerde üretilen enerjinin ulaştırılması gerekli olan şehir merkezlerine, kasaba ve köylere uygulanan, beslemenin birden fazla trafo ile yapıldığı ve son alıcıları besleyen hatların bir ağ gibi örülerek gözlerin oluşturulduğu şebeke çeşididir. Ağ şebekelerde de bazı avantajlara sahiptir. Bunlar; besleme sürekli olarak trafolarla yapılır ve bir arıza meydana geldiği zaman sadece trafonun bağlı olduğu arıza olan kısmı enerjisiz kalır. Arıza olduğunda çok kısa bir süre içerisinde sigorta veya özel koruma elemanları devreye girerek alıcıların ve hattın zarar görmesi engellenir. Ayrıca bu tür şebekeler de yine kesintisiz enerji alınabildiği gibi sisteme güçlü alıcılarında bağlanabilmesi bir avantajdır. Bu şebeke çeşidinin işletimleri ve bakımları zor olması ve kısa devre akımı etkisinin büyük olması da dezavantajlarındandır.

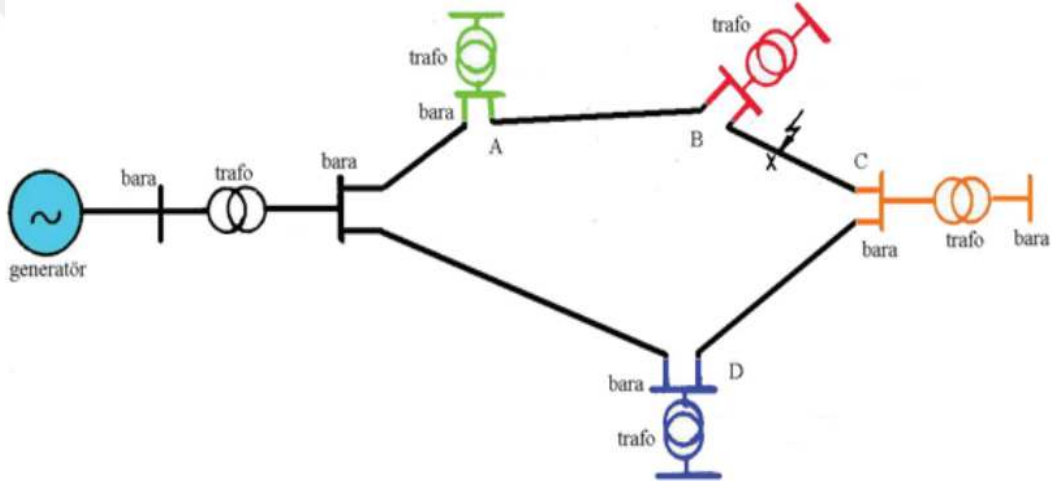


Şekil 3.2. a) Bir yerden beslenen b) Birkaç yerden beslenen ağ(gözlü) şebekeler

Şekil 3.2’de gösterildiği gibi ağ şebekelerde baralar en az iki koldan enerji almaktadır. Bu nedenle besleme sürekli ve kesintisiz bir şekilde yapılabilmektedir. Düğüm noktalarından beslenen baralar ve buralardan enerji alan aboneler için enerji kesilmesi hemen hemen söz konusu olmaz. Çünkü besleme dört koldan yapılabilmektedir. Arıza yapan kol, sigortalar yardımı ile sistemden sorunsuz ayrılır. Düğüm noktalarından uzaklaştıkça kısa devre akımı küçülür. Bu şebekelerin kuruluşu ve akımı oldukça zordur. Ancak gerilim düşümü çok küçük değerlere indirilmiştir.

3.2.3. Halka (Ring) Şebekeler

Halka (Ring) Şebekeler genellikle yüksek gerilimli şebekelerde kullanılan şebeke şeklidir. Bir noktadan çıkan iki enerji nakil hattının bir başka noktada yeniden birleşmesinden oluşan şehir, kasaba, köy ve sanayi merkezlerinde uygulanan, beslemenin birden fazla trafo ile yapıldığı ve bütün trafoların birbirine paralel şekilde kapalı bir sistemin oluşturduğu şebeke tipine ring şebeke denir. Şekil 3.3'te görüldüğü gibi bu yolla kapalı bir sistem oluşturulur. Ring şebekelerde besleme birden fazla trafonun paralel şekilde bağlanması ile yapıldığı için ring içerisinde bir arıza olması halinde sadece arıza olan kısım devre dışı kalır ve çok fazla alıcı enerjisiz kalmaz. Bu avantajına rağmen tesis maliyetleri yüksektir. Halka (Ring) şebeke yapısı aşağıda Şekil 3.3'de verilmiştir.



Şekil 3.3. Halka (Ring) Şebeke Genel Yapısı

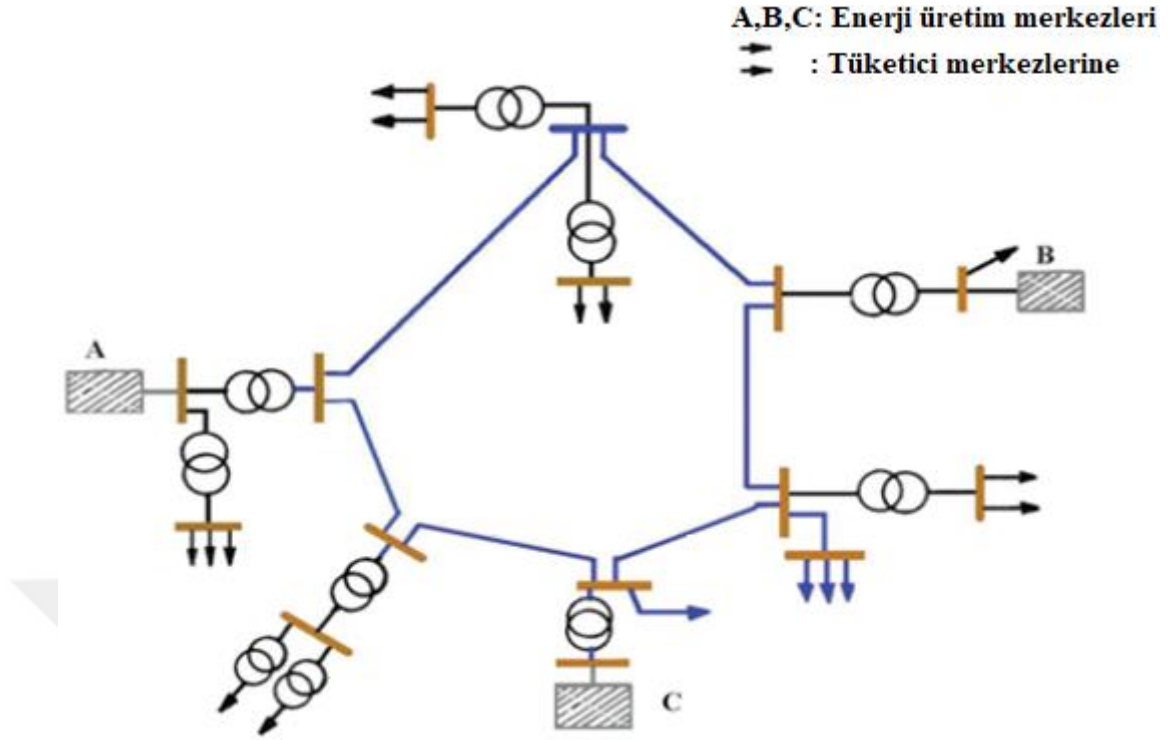
Dallı şebekelere göre karşılaştırıldığında daha güvenlidir. İlerleyen zamanlarda alıcıların artmasıyla hatların çekilen fazla akımı taşınamaması durumunda tesisin yenilenmesi gerekmektedir buda çok pahalıya mal olur. Çünkü ring şebekelerde tüm hatlar bir birine paralel olduğundan hepsinin değiştirilmesi gereklidir. Dallı şebekelerde ise akımı fazla olan hattın değiştirilmesi yeterli olacaktır.

3.2.4 Enterkonnekte Şebekeler

Enterkonnekte şebekeler taşımada, iletimde, nakilde kârlılık ve güvenilirliğin artırılması amacıyla, özellikle de önemli miktarlardaki enerji alışverişi için iki ya da daha fazla sistem veya şebeke arasında bölgeler arası ya da uluslararası bağlantı olanağı sağlayan

gelişmiş ve karmaşık bir elektriksel sistemdir. Bu tip şebekelerde, o bölgedeki bütün elektrik üretim ve tüketim araçları büyük küçük ayrımı yapılmaksızın topyekûn halde sisteme dâhil edilmektedir. Enterkonnekte şebekenin avantajları olarak kesintisiz elektrik sağlayabilme, yüksek verim, ekonomik olması gibi avantajları vardır. Bununla birlikte kısa devre akımlarının yüksek oluşu ve sistemin kararlılığının sağlanmasının zor oluşu gibi dezavantajları da vardır. Enterkonnekte sistemde bir arıza meydana geldiğinde, sadece arıza olan bölgenin enerjisi kesilmektedir. Diğer kısımlarda enerjinin sürekliliği devam etmektedir. Sistem içerisinde bir bölgede arızalanan santral veya trafolarla olsa devre dışı bırakılır diğer santral ve trafolar bu bölgeleri beslemeye devam eder. Her ülkenin kendi alıcılarını beslediği bir enterkonnekte şebekesi vardır. Bununla birlikte bazı komşu ülkelerin sistemleri birbirine bağlanabilir. Ülke içerisinde kendi başına çalışan küçük santraller ve beslenen aboneler olabilir. Bunlar sistemi etkilemez. Ülkemizde de bir enterkonnekte şebeke vardır. Bu sistem içinde TEAŞ'a, ayrıcalıklı şirketlere, üretim şirketlerine ve kendi enerjisini üretenlere ait tam kapasiteyle çalışan 350 kadar elektrik santrali vardır. Bütün bu santraller enterkonnekte şebeke kapsamında birbirlerine paralel bağlıdır. 40428,5 km uzunluğundaki enerji nakil hatları ile bu santraller ve yerleşim birimleri arasında bir ağ şeklinde büyük bir şebeke tesis edilmiştir. Türkiye'deki enterkonnekte sistem; Bulgaristan, Rusya, Irak, Suriye ve Gürcistan ülkelerinin şebekelerine bağlıdır. Bu bağlantılardan elektrik alışverişi yapılmaktadır.

Enterkonnekte şebekelerin genel yapısı Şekil 3.4'de verilmiştir. Böylesine büyük ve birbirleri ile bağlantılı enterkonnekte sistemler kuruluş ve işletimleri ile karmaşık yapılara sahip olmalarının yanı sıra ülke ve ülkeler arası kullanılması bakımından hayati sistemlerdir. Üretim ve dağıtım sistemlerinin bu denli büyük olmasının yanı sıra küçük çapta ve genellikle de yenilenebilir enerji sistemleri kullanılarak oluşturulan ve enterkonnekte sistemlere göre çok çok küçük olan mikro şebekelerde kullanılmaktadır. Bir veya birden fazla dağıtık enerji üretim sistemi ile beslenen yük grubunu ve orta gerilim veya alçak gerilim dağıtım sisteminin bir kısmını içerisinde bulunduran şebekelere mikro şebekeler denir. Bunlar genellikle dağıtılmış halde olduklarından dağıtılmış üretim kaynakları ile de anılmaktadırlar. Dağıtılmış üretim kaynakları jeneratörler ve depolama üniteleri ile kompakt halde kurulmaktadırlar. Tüketicilerin ve iletim hattının ihtiyaçları doğrultusunda kontrollü bir şekilde sisteme dâhil edilerek sistemin devamlılığı ve tüketicinin talep ettiği enerji devamlı sağlanmış olmaktadır.



Şekil 3.4. Enterkonnekte Şebeke Genel Yapısı

Günümüz dünyasında yenilenebilir enerji kaynakları özellikle güneş enerjisi çok popüler durumdadır. Ülkemizde de güneş panel tarlaları yoluyla doğal enerjiden sıfır fosil atık ile temiz ve güvenilir enerji elde edilmektedir. Dünyada İsviçre, İsveç, Norveç, Birleşik Krallık, Avusturya gibi elektrik enerjilerinin neredeyse yüzde doksanını yenilenebilir enerji kaynakları ile karşılamaktadırlar.

Mikro şebekeler; üretim ve tüketimin aynı veya yakın bölgelerde konumlandığı bir ada ya da kampüs gibi tasarlanmış bir coğrafi alandır. Genellikle birkaç yüz kW tan 50 MW'a kadar olan bir güç aralığındadır.

Tipik bir mikro şebeke aşağıdaki elemanlara sahiptir;

- Dizel jeneratör ya da kombine ısı ve güç santralleri gibi kontrol edilebilir bir üretim merkezi
- Yenilenebilir üretimler, kontrolün daha sınırlı olduğu fotovoltaik veya rüzgâr santralleri

- Son olarak da piller veya akü gibi depolama sistemleri mikro şebekelerin önemli parçalarıdır.

Mikro şebekeler, elektrik üretimi ve dağıtılmış depolama enerji için dağınık yerleştirilmiş yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanırken kötü hava koşulları ve beklenmedik elektrik kesintileri şebekeyi olumsuz etkileyebilir. Tüketicilerin meydana gelen elektrik kesintilerinden etkilenmemeleri için mikro şebekesinin yerel şebekeye en kısa sürede ve kontrollü bir şekilde devreye alınması gerekmektedir.

Yapılan bu zorunlu enerji kaynağı geçişi ile beraber sağlanan güç kalitesini (gerilim ve frekans) dengeleyerek tüketiciler ve sistem açısından emniyetli ve güvenilir bir besleme hattının oluşturulabilmektedir. Mikro şebekeler ile kesintiler sırasında şebekeden bağımsız otomatik bir şekilde işletebilmek için yeterli güç üretimine ve dengeleme kaynaklarına sahip bir şebeke yapısını oluşturmada kullanılmaktadırlar. Mikro şebeke, yerel ve dağıtılmış enerji kaynaklarının kullanımıyla güç yüklerini ve kaynaklara olan ihtiyaçları düzene sokar ve böylece sistemin verimliliğini ve güvenliğini arttırarak problemleri ve istemsiz meydana gelebilecek olumsuzlukları da önceden tahmin ederek akıllı teknoloji ve mikro şebeke kontrol sistemi ile otomatik olarak önleyebilir.

Bu akıllı enerji otomasyonu, nesnelerin İnternetini ve ağ bağlantılı bir kontrol sistemi kullanılarak, enerji kaynaklarının birbirine bağlayan sensörler ve elektroniklerle, mikro şebekeyle ve gerçek zamanlı verilerin bulut tabanlı bir depo ile birleştirir. Daha sonra yazılım, enerji kaynaklarını denetlemek için verileri kullanır, enerji talep ve hava koşullarını sürekli analiz ederek, mikro şebeke operatörünün hedeflerini karşılamak için doğru enerji karışımını belirler. Örneğin hava durumlarını sürekli olarak kontrol eden sistem yaklaşan bir yağmur fırtınasını hava durumu tahminlerini aldığı zaman, yazılım hemen kararını kesinleştirerek güneşten aldığı enerji kısmını devre dışı bırakıp piller ile olan kaynağı devreye geçirmek üzere programlanabilir.

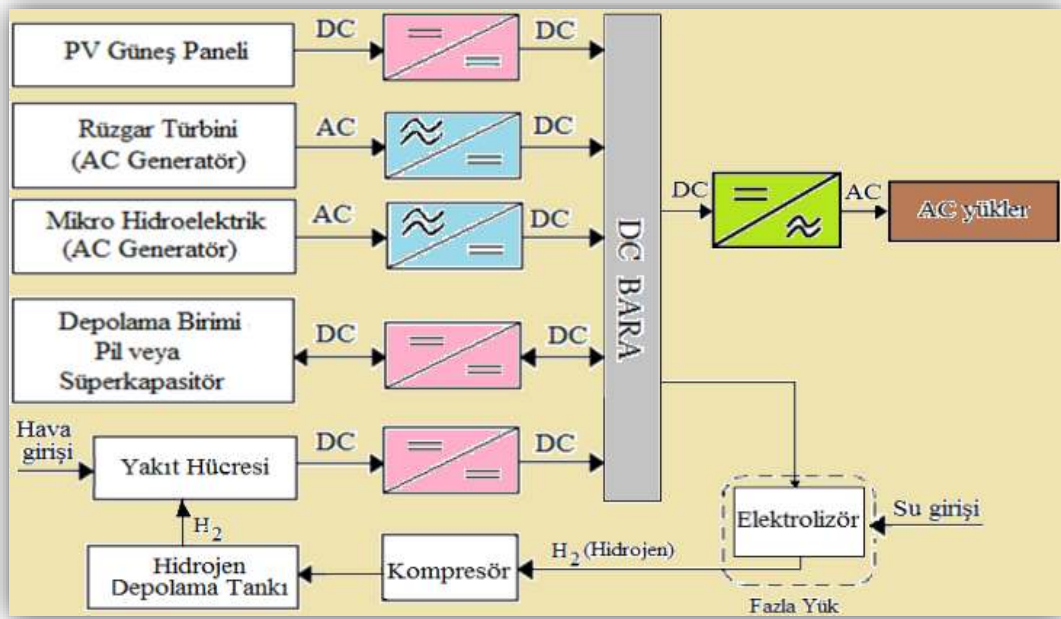
Enerji yönetim sistemi ve yazılımı gün boyunca böyle kaynaklar arası geçişleri nasıl ve ne zaman yapacağını bilir yani; güneşten aküye ne zaman geçileceğini ve akü güç beslemesi düşük olduğunda dizel jeneratörü ne zaman açacağını bilir. Senkronizasyon ile

de çalışan birden fazla enerji bileşenini korur ve güvenilirliği sağlar. Mikro şebeke sistemleri elektrik güvenliğini artırmada, tüketiciler ve işletmeler için enerji maliyetlerini düşürmede, çevreye zarar vermeyecek olan temiz enerji sağlamada ve merkezi şebekeyi her daim güçlü tutmada etkili olmaktadır. Sonuç olarak, elde edilen verileri hızlı kullanan tam otomatik yönetimdir. Akü boşaltma gibi olumsuz olaylardan kaçınmak için güvenilirlik ihtiyacı otomasyon sistemleri ile daha da önem kazanmaktadır.

Mikro şebekelerde enerji geçişlerindeki gerilim ve frekans optimizeşi mikro şebeke kontrol üniteleri ile sağlanmaktadır. Bu kontrol üniteleri genellikle mikro şebekelerin yazılıma dayalı ana elemanları olarak tanımlanır. Ana şebekenin ihtiyaç duyduğu bir mikro şebeke adasında olduğu gibi çeşitli tedarik kaynaklarının nasıl ve ne şekilde kullanılacağını kontrol ettiği zaman kontrol devresi devreye girer. Güç yönetim sistemi, gerilim / açı kararlılığı, güç kalitesi ve tüketicilere hizmetin kullanılabilirliği açısından sistemin işletme davranışı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Mikro şebeke sistemleri büyük yük taşıyan ana şebekelere bağlandığı zaman kontrol devreleri ve sistemlerinin sorumlulukları daha da artmaktadır. Sisteme dâhil edilen her alt sistem mevcut ana şebekenin gerilim ve frekansında herhangi bir dengesizlik oluşturmaması amaçlanmaktadır. Bu görevleri otomasyon ve programa sistemleri ile kontrol üniteleri minimum hata ile gerçekleştirmektedir. Aksi halde ana şebeke üzerinde harmonikler meydana gelecek ve sistem istenmeyen ve zararlara yol açabilecek arızalar verebilmektedir.

Lehn ve arkadaşlarının (2005) çalışmasına göre şebeke bağlantılı modda, dağıtık üretim birimlerinin güç gereksiniminin arttığı saatlerde gücü en aza indirmek amacıyla yerel güneş paneli sistemleri devreye alınarak önceden belirlenmiş gücün sağlanması beklenmektedir. Şebeke bağlantılı modda, klasik tedarik sistemine benzer bir şekilde, her dağıtık üretim birimi, önceden belirlenmiş gerçek ve reaktif güç bileşenlerini (P-Q bara) üretmek için ya da kendi terminal gerilimini (P-V bara) düzenlemek için rahatlıkla kontrol edilebilmektedir. Tedarik şebekesinin, farklı gerçek-reaktif güç gereksinimlerini karşılamada ve frekans sürekliliğini sağlamada destek olması amaçlanmaktadır. Şekil 3.5 de gösterildiği gibi bir mikro şebekenin bileşenleri verilmiştir.

Bu şekilde görüldüğü üzere yenilenebilir enerji kaynakları gerekli çeviriciler kullanılarak kaynaklar DC olarak elde edilmiş ve DC baraya bağlanmıştır. DC baradan da tekrar bir çevirici ile şebekenin ihtiyacı olan AC elde edilmiş olur. DC barada bulunan fazla enerji elektrolizör ile suyu hidrojene dönüştürerek kompresörler vasıtasıyla hidrojen depolama tanklarına iletir. Son olarak yakıt hücrelerinde tekrardan enerji üretimi olacağı sırada depolanan hidrojen burada kullanılır. Böylece enerji israfı minimum seviyede tutulmuş olur.



Şekil 3.5. Mikro şebekelerin bileşenleri

Katiraei ve Iravani (2006) yaptıkları çalışmada, güç yönetim stratejilerinde özellikle otonom modda çalışan ikiden fazla dağıtık üretim birimine sahip mikro şebekelerin eşzamanlı olarak çalışması için gerektiği belirtilmiştir. Büyük enterkonnekte şebeke güç yönetim stratejisinin sahip olduğu hızlı cevap verme özelliği ile karşılaştırıldığında mikro şebekelerde;

- ❖ Çok farklı güç kapasiteleri ve farklı üretim karakteristikleri ile çoklu küçük dağıtık üretim kaynağı birimleri,

- ❖ Otonom mod çalışma durumunda enerji üretiminin baskın kaynak olmadığı,
- ❖ Şebekenin tesis edildiği yerde uygun şartlar mevcut değilse gerilim frekans kararlılığını etkileyebilecek durumları elektronik olarak birbirine bağlanmış dağıtık üretim birimlerinin oldukça hızlı çalıştığı göstermektedirler.

Yenilenebilir enerjilerin talep edilen sistemlerde kullanılması günümüzde popüler olduğu gibi gelecekte de popülerliğini artırarak devam edeceği kesindir. Bu mikro şebekelerin güçleri daha da artırıldığı zaman ana şebekeye bağlanmasında kontrol gibi önemli sorunlar ve tüketim yerlerinde kullanılmasında tasarruf konusunda bazı olumsuzluklar öngörülmektedir.

Bu olumsuzlukları ortadan kaldıracı için SmartGrid (Akıllı Şebeke) olarak da isimlendirilen bu yeni elektrik şebekesi, tüketicinin evindeki kullandığı cihazlarda güç tasarrufu sağlayarak, faturayı olabildiğince azaltarak ve çok daha güvenilir bir şekilde enerjiyi kaynaktan son tüketicilere kadar aktarmaktadır. Bu bağlamda beklenen tüm enerji sistemi daha interaktif, akıllı ve dağıtık yapıda olacağı öngörülmektedir. Dağıtık enerji üretiminin yapılması, enerji dengelerini karşılamak için kullanılan dağıtık depolama sistemleri olmadan sistemin çalışmasını sağlanamamaktadır.

3.3. Kontrol Stratejileri

Bir dağıtım sisteminin bileşen seviyesini yönetmeye yardımcı bazı kontrol yöntemleri ve stratejileri vardır. Bunlar şebekelerin kontrol edilmesinde her kontrol şeklinin kendisine göre avantajları vardır. Bu stratejiler şebekelerin kullanım amaçları doğrultusunda kullanılmaktadır. Şebekelerde kullanılan birkaç kontrol tekniği bulunmaktadır. Bunlar şu şekilde sıralanabilmektedir;

- Ana ve bağımlı kontrol; ana kontrol gerilim ve frekans değerlerini düzeltirken, bağımlı kontrol tekniği akım kaynaklarını kontrol eder.
- Akım ve güç akışı kontrolü: bu yöntem kontrol sinyallerini kullanarak akım ve güç dağıtımını kontrol eder.

- Düşme kontrolü: Bu yöntem önceki dönüştürücüler ile birleşerek geliştirilmiştir, çünkü dönüştürücüler ideal olmayan voltaj kaynakları olarak davranır.

Bunlar modern çalışmalarda kullanılan stratejiler olmasıyla birlikte mikro şebekelerin tam kapasite, tam verimlilikte ve tam güvenlikte kullanılabilmesi için geliştirilen stratejilerdir. AC ve DC mikro şebekelerinin yapıları farklıdır. Örneğin; stabilize sorunları mikro şebekelerde normal şebekelere göre daha büyüktür. Çünkü şebeke değerleri çok düşük seviyelerdedir.

AC mikro şebekelerde çıkışlar güç elektroniği tabanlı elemanlar ile ana şebekeye bağlanırlar aksi takdirde mikro şebeke bileşenleri ciddi zararlar görebilmektedir. AC mikro şebekelerde hem gerilim hem de frekans, aktif ve reaktif güç kontrolleri aracılığıyla düzenlenmektedir. DC mikro şebekelerde, herhangi bir reaktif güç etkileşimi olmadığından kararlılık sorunu olmadığını göstermektedir. AC ve DC mikro şebekelerinin karşılaştırması Tablo 3.1'de verilmiştir.

Mikro şebekeler AC DC şeklinde olduğundan dolayı bunların ana şebekeye bağlantıları kontrolleri ve dizaynları ayrı ayrı belirlenmiştir. Bu çalışmada özellikle kontrol kısımları incelendiği için kontrol stratejisi ve kontrol katmanları üzerinde durulmuştur.

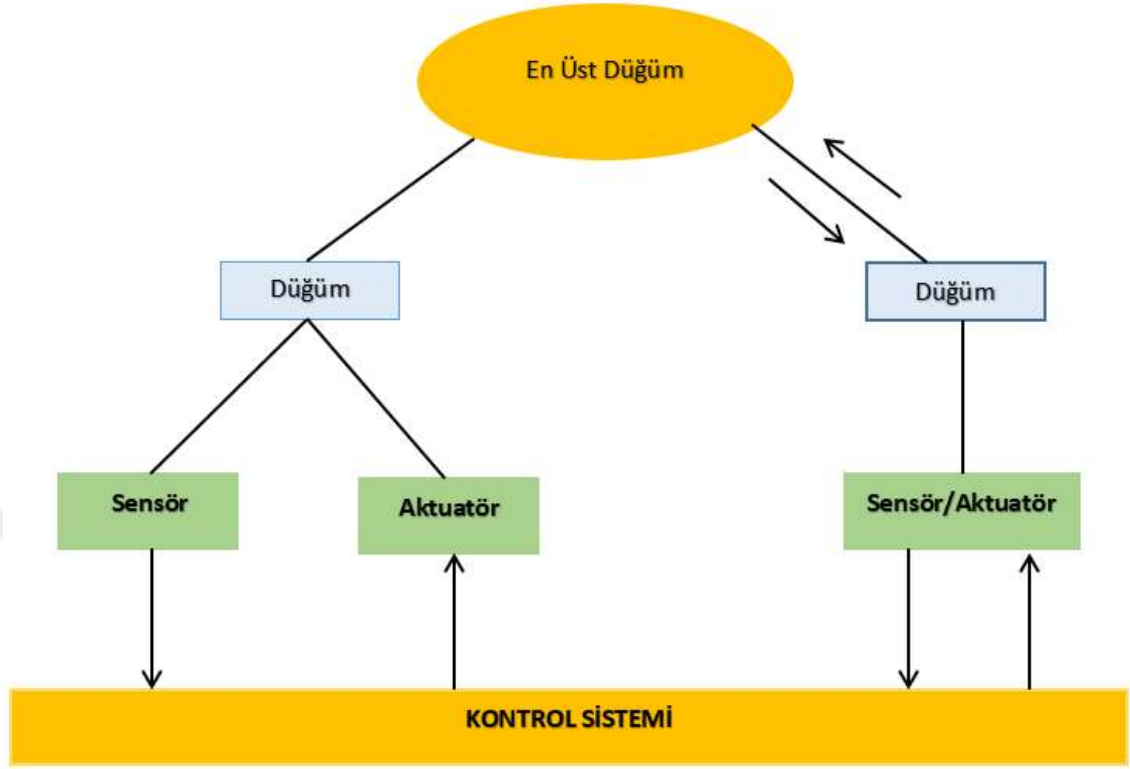
3.4. Mikro Şebekelerde Hiyerarşik Kontrol

Mikro şebekeler büyük ve karmaşık şebeke sistemlerine göre daha sade ve daha küçük gerilimli şebekelerdir. Genellikle yerleşim yerlerine yakın ve iletim hatlarına oldukça yakın yerlere inşaa edilmeye dikkat edilmektedir. Ana şebekenin ihtiyacı olması halinde haberleşme ve iletim kanalları yolu ile ana şebeke desteklenmektedir. Mikro şebekelerde kullanılan genel hiyerarşik kontrol yapısının görev akış şeması Şekil 3.6'da gösterildiği gibi ifade etmiştir.

Tablo 3.1. AC ve DC mikro şebekelerde kontrol tekniklerinin analizi

AC ve DC Mikro Şebekelerin Kontrol Stratejileri Açısından Karşılaştırılması			
Mod	Kontrolör	Mikro Şebeke Tipi	
		AC	DC
Şebeke-Düğüm	Mikro Şebeke Merkezi Kontrolör (MGCC)	– İzleme, alçak gerilim AC ağlarından, DG sistemlerinden ve yüklerden miras alınan verilerin toplanmasına dayanır. – Çeşitli kontrol yöntemleri sunar: tahmin, güvenlik gözlemi, güç akışı kontrolü ve ihtiyaç yönetimi, – Şebeke ile senkronize çalışmayı sürdürür ve referans noktalarında veya öncesinde güç değişimini korur.	– MGCC'nin temel işlevi, değişen taleplere ve yüklere karşı güç talebini ve voltaj değişimlerini kontrol etmektir, – Programlamayı, yükleri gözlemlemeyi ve Talep Tarafı Yönetimi'ni (DSM) kolaylaştırır
	DG Kontrolör (DGCs)	Yük talebini hem şebekeye bağlı hem de adalı modlarda yönetmek için her bir DG ünitesini izler ve kontrol eder ve MGCC'nin yardımıyla modlar arasındaki geçişleri kontrol eder.	Üretilen tüm gücün DG tarafından şebeke şebekesine aktarılmasını sağlar ve daha sonra gerektiğinde güvenli bir şekilde ada moduna geçebilir.
Ada	Mikro Şebeke Merkezi Kontrolör(MGCC)	– DG'nin (aktif ve reaktif) güç akışını kontrol eder, voltaj ve frekansı dengeler, stratejiler geliştirerek ve ESS desteğiyle yönetimi kullanarak kesintileri önler. – Güç kaynağının güvenilirliğini ve hizmetin sürdürülebilirliğini sağlamak için sistem toparlanmasını başlatır, – Şebeke şebekesi muhtemel bir hatadan sonra stabilize edildiğinde mikro şebekeyi şebeke-düğüm moduna bağlar.	– Yük profili ve dağıtım bölümlerinde bir hata veya değişiklik meydana geldiğinde güç akışını ve yük voltajını kontrol eder ve dengeler – MGCC özellikleri sayesinde üretilen gerilimi şebekeye bağlı veya adalı modlardan alır.
	DG Kontrolör (DGCs)	– Üretilen voltajın adalanmış modda yüke aktarıldığından emin olmak için tüm DG ünitelerini bağımsız olarak kontrol eder ve MGCC özellikleri nedeniyle senkronize modda çalışmak için şebeke ızgarasını izler.	– Ada ve şebekeye bağlı modlarda her bir DG birimi için yük paylaşımına yardımcı olur.

Hiyerarşik Kontrol Sistemi

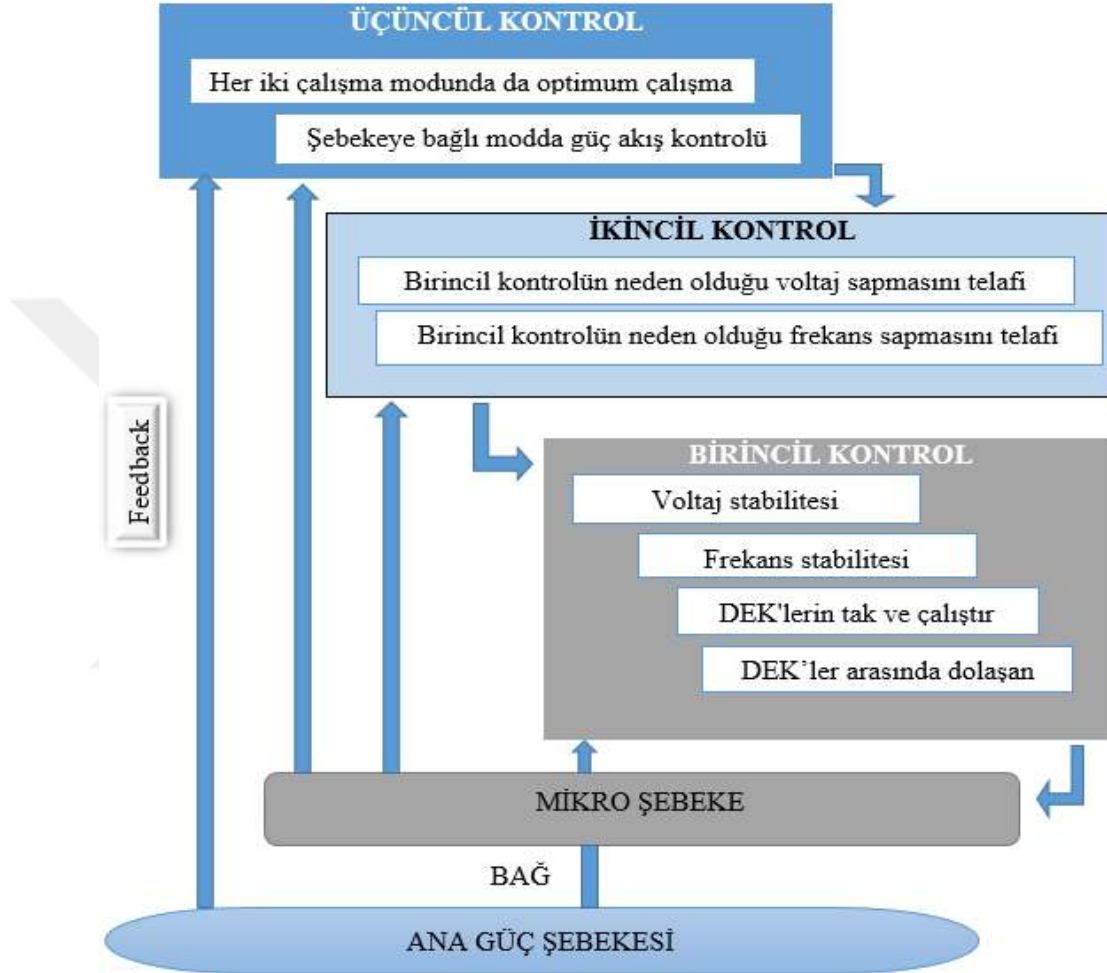


Şekil 3.6. Hiyerarşik kontrol genel çalışma yapısı

Mikro şebekelerde hiyerarşik bir kontrol sistemi incelendiğinde, sistemin en üst düğümünden çalışmaya başlayarak, sistemin alt düğümlerine kadar sistem çalışmasını otomatik olarak yöneterek çalıştırmaktadır. Bu gelişmiş kontrol sistemi, sistemin en üst düğümünden en alt taraftaki düğümlere kadar tüm düğümler bağımsız olarak çalışmaktadır. Alt taraftan üst tarafa doğru bozucu etkileri gönderen ve sistemin alt düğümlerinde meydana gelen bozucu etkilerin anında algılanıp bozucu etkileri bir ağaç yapısına benzer şekilde çalışarak telafi etmektedir. Sensörler ve aktuatörler ise, ağaç yapısına benzer şekilde ağacın dalları şeklinde düğümleri temsil etmektedir.

Hiyerarşik kontrol sistemi, genellikle karmaşık çalışma özelliğine sahip sistemlerde güvenilir ve hızlı bir şekilde kullanılmaktadır. Bu karmaşık kontrol yapısını çalıştırırken en yeni haberleşme sistemlerini de içerisinde bulundurmak zorundadır. Sistemde üst katmanlarda ve alt katmanlarda oluşan hiyerarşik bir düzenin önemli özelliklerini içermekte ve bir anlamda hiyerarşik haberleşme alt yapısını oluşturmaktadır.

Ağaç modeline benzeyen hiyerarşide bilgilerin akış yönleri Şekil 3.7’de verilmiştir. Ağaç yapısında bulunan her bir kısım ağaçtaki bir düğümü temsil etmektedir. Komutların, görevlerin ve hedeflerin akış yönü ağaç yapısının en üst düğümlerinden alt düğümlerine doğru ilerlemektedir. Bunun yanı sıra bozucu etkilerin ve komut sonuçlarının akış yönü ağaç modelinin alt düğümlerinden üst düğümlerine doğru olmaktadır.



Şekil 3.7 Hiyerarşik kontrol katmanları

Hiyerarşik kontrol sistemi katmanlarının ayırt edici özellikleri olarak şunlar söylenebilir. Ağaç yapısının her bir katmanın hemen altındaki katmana göre daha uzun süren planlama ve çalışma zamanı aralığı ile çalışmaktadır. Alt katmanlar genellikle yerel görevlere, hedeflere ve bozucu etkilere yönelik çalışmaktadır. Ayrıca alt katman, üst katmanlar tarafından planlanmakta ve koordine edilmektedir. Üst katmanlar, esnek zaman sınırlamalarına sahip olduğu için, soyut dünya modelinden çıkarım yapabilmekte ve planlamayı yürütebilmektedir. Hiyerarşik görev ağı, hiyerarşik kontrol sistemlerinde

planlama yapmak için uygun görülmektedir. Mikro şebekelerin keşfedilmesi ve kullanılabilir olması bilim dünyası açısından çok büyük bir çalışma alanı olmaktadır.

Halen daha geliştirilmeye ve geniş alanlarda kullanılması açısından önü açık olan bir konudur. Mikro şebekelerin çıkışı ve kullanılması beraberinde belli standartların da oluşmasına sebep olmuştur.

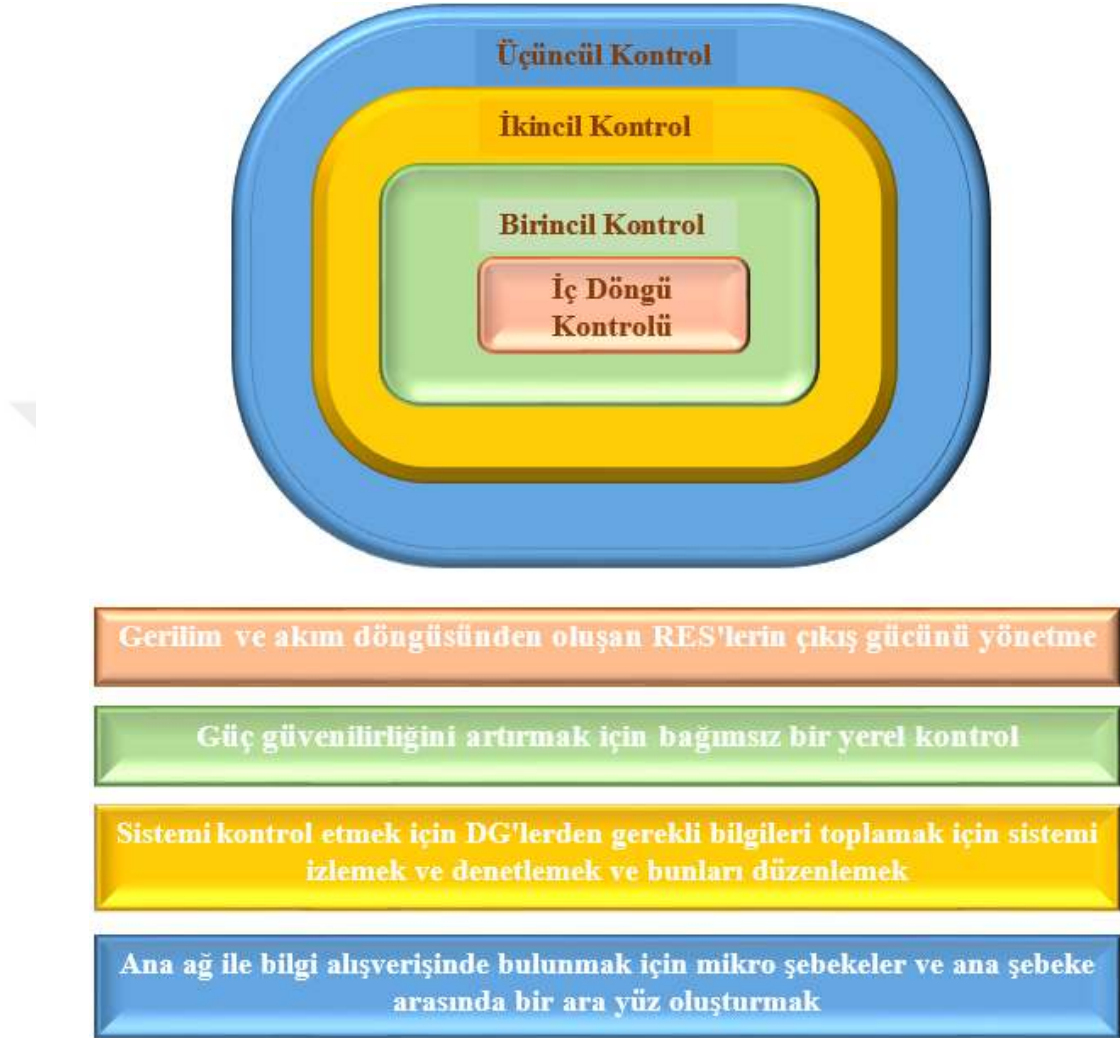
Elektrik İletimi Koordinasyon Birliği (UCTE), Avrupa kıtasındaki eşzamanlı olarak işletilen iletim şebekesi için elektrik iletim şebekesinin çalışmasını ve geliştirilmesini koordine etmiş, böylece İç Elektrik Piyasası ve ötesindeki tüm katılımcılara güvenilir bir platform sağlamıştır.

1951'den bu yana, Elektrik Üretimi ve İletimi Koordinasyon Birliği (UCPTE), başlangıçta İsviçre, Fransa ve Almanya'nın arabirimindeki az sayıda birbirine bağlı şirketten gelen uzmanlar ve yöneticilerle ve çeşitli aşamalarda eşzamanlı işlemleri koordine etti. Bu kuruluş hiyerarşik kontrol stratejisinin belli bir yapıya kavuşması sağlanmıştır.

3.4.1. İç kontrol döngüleri

Bu kontrol seviyesinin birinci dereceden amacı, mikro şebekede bulunan aktif gücü yönetmektir. Birinci kontrol seviyesi, akım veya voltaj yönetimi altında güç elektroniği tabanlı koruma elemanlarının kullanılmasıyla güç kaynağı seviyesinde kontrol yapılmaktadır. Gerilim kontrolündeki elektronik güç arabiriminin temel amacı, ada modu ve enerji depolama sistemlerine bağlantı sırasında mikro şebeke içindeki frekans ve gerilimi korumaktır. Akımın kontrol modu, mikro şebeke ana şebekeye bağlandığında kullanılır ve temel amacı aktif ve reaktif güç yönetimini tam anlamıyla yerine getirmektir. Dâhili kontrol devreleri, en yaygın yenilenebilir bir parçası olan güç dönüştürücüler tarafından oluşturulur. Optimizasyon ve iç kontrol döngülerinin, birincil amacı gerilimin genliğinin ve frekans değerinin doğru referans değerlerine sahip olmasını sağlamaktır. Mikro şebekelerin hiyerarşik kontrol yapısının amaçları Şekil 3.8'de belirtilmiştir. Elektrik enerjisi üretim kaynakları ile mikro şebekeler arasında bir köprü görevi olan ve

akıllı güç ara elemanlarının kullanılması yapılan akademik çalışmalarda belirtilmiştir. Bu birimler genellikle DC/AC ve ya AC/DC eviricilerden oluşmaktadır.



Şekil 3.8. Mikro şebekelerin hiyerarşik kontrol yapısı

Eviriciler, gerilim kaynaklı evirici (VSI) ve akım kaynaklı eviriciler (CSI) olarak çeşitlendirilebilmektedirler. Guerrero ve arkadaşları bu ara elemanların yapıları hakkında şunları belirtmişlerdir. VSI birimleri iç akım çevriminden, dış gerilim çevriminden ve şebeke ile senkronize çalışmak için faz kilitleme çevriminden (PLL) oluşmaktadır. CSI birimleri, akımı şebekeye dâhil etmek amacıyla yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. VSI birimleri ise, otonom çalışma durumunda gerilimi referans gerilim değerinde sabit tutmak amacıyla kullanılmakta olduğunu belirtmişlerdir.

VSI ve CSI birimleri mikro şebekelerde birlikte çalışabilmektedirler. Mikro şebekedeki frekansı ve gerilimi referans değerlerde sabitlemek için VSI birimleri genellikle enerji depolama elemanlarına bağlanmaktadır. Dağıtılmış üretim eviricilerinin gerektiğinde, VSI birimleri gibi çalışmaları istenebilmektedir. CSI birimleri maksimum güç noktası izleme algoritması için gereken gücü, güneş panelinden ya da küçük rüzgâr türbinlerinden elde etmektedirler. Böylece mikro şebekenin yapısında paralel bağlı çok sayıda CSI ve VSI birimleri ya da sadece VSI birimleri bulunabilmektedir.

3.4.2. Birincil kontrol

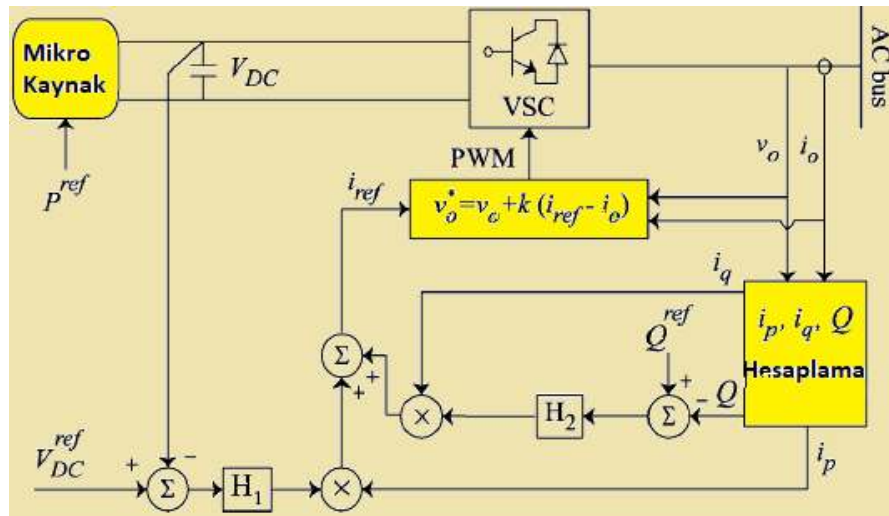
Birincil kontrol, dağıtılmış enerji kaynaklarının voltaj ve akım kontrol döngüleri için referans noktaları belirlemektedir. Bu iç kontrol döngülerine genellikle sıfır seviye kontrol olarak isimlendirilmektedir. Birincil seviye kontrolü genellikle PQ veya voltaj kontrol modlarında uygulanmaktadır. Bidram ve arkadaşları çalışmalarında birincil kontrol katmanının aşağıdaki gereklilikleri karşılamak üzere tasarlandığını belirtmişleridir;

- Gerilim ve frekansı dengelemek: Bir ada şekillenmesinden sonra, mikro şebekede üretilen ve tüketilen güç arasındaki uyumsuzluğa bağlı olarak voltaj ve frekans dengesini kaybedebilir.
- DER'ler için tak ve çalıştır özelliği sunmak ve aralarında aktif ve reaktif gücü, tercihen herhangi bir iletişim bağlantısı olmadan düzgün bir şekilde paylaşmak.
- Güç elektroniği cihazlarında aşırı akım olayına neden olabilecek ve DC-link kapasitöre zarar verebilecek dolaşım akımlarını azaltmak.

PQ kontrol modunda, DER aktif ve reaktif güç dağıtımı, Şekil 3.9'de gösterildiği gibi önceden belirlenmiş referans noktalarında düzenlenir. Kontrol stratejisi, akım kontrollü bir voltaj kaynağı dönüştürücüsüyle (VSC) uygulanır. Şekil 3.9'de, H_1 kontrolörü, konvertörün i_p aktif çıkış akımının büyüklüğünü ayarlayarak DC-link voltajını ve aktif

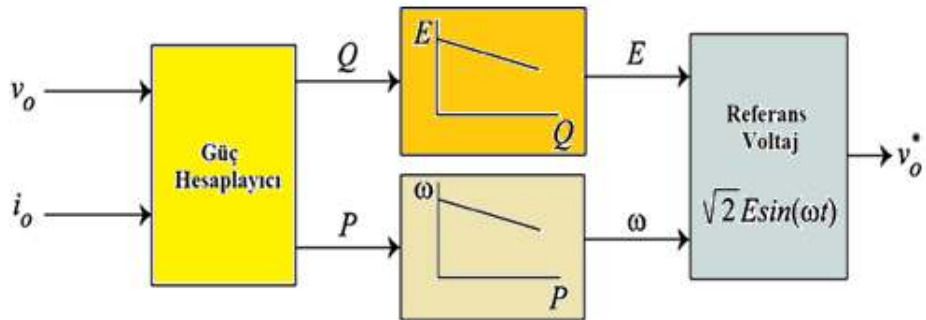
gücü düzenler. H_2 kontrolörü, çıkış reaktif akımının, yani i_q 'nin büyüklüğünü ayarlayarak çıkış reaktif gücünü düzenler.

Gerilim kontrol modunda, DER, v_o^* referans voltajının geleneksel olarak Şekil 3.10'da gösterildiği gibi düşüş karakteristikleri ile birincil kontrol tarafından belirlendiği voltaj kontrollü VSC olarak çalışır. Gerilim kontrolündeki voltaj ve frekans kontrolleri modu Şekil 3.11'de gösterildiği gibidir.



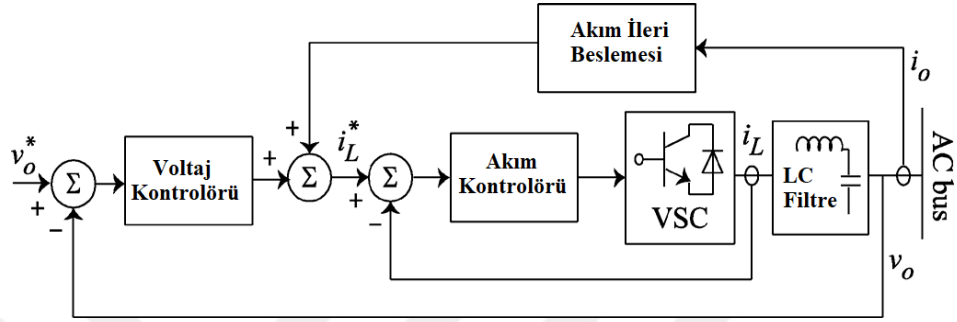
Şekil 3.9. Aktif ve reaktif güç ile PQ kontrol modu

Bidram ve arkadaşları bu kontrolör ile, akım sinyalinin bir aktarım fonksiyonu (örneğin, sanal empedans) aracılığıyla bir feed-forward kaynağı olarak besler. Geçici cevabın ince ayarını yapmak için, orantılı integral türev (PID), adaptif ve orantılı rezonans kontrolörleri voltaj kontrol çalışması için önermişlerdir.

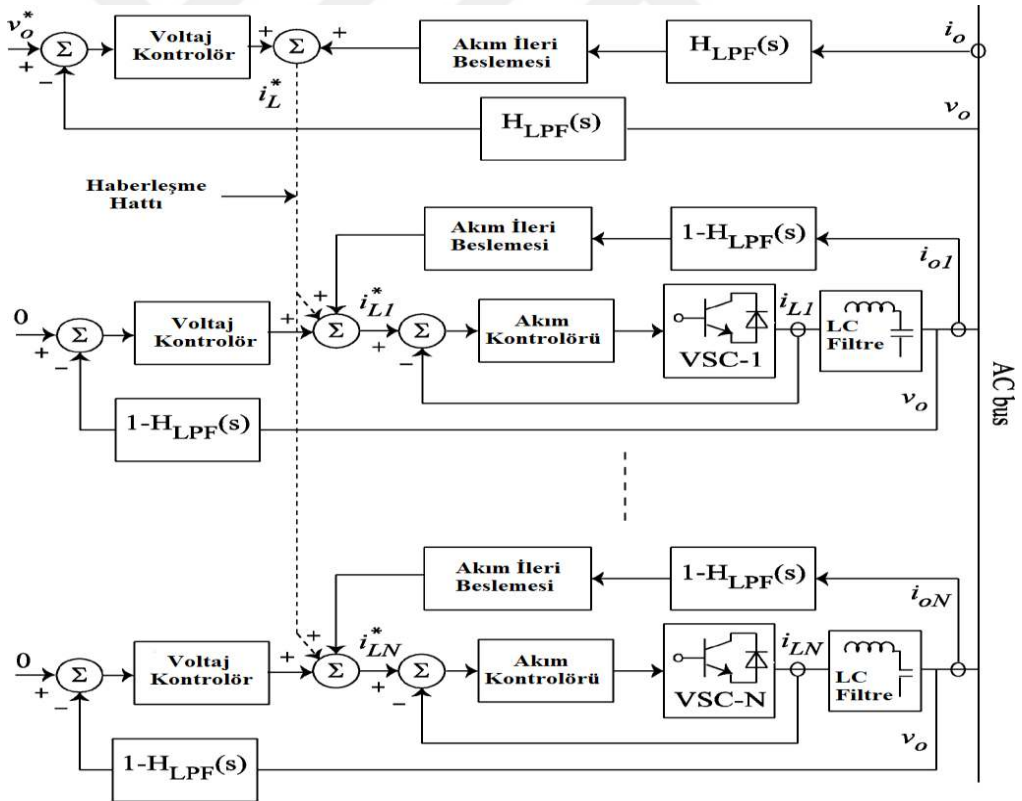


Şekil 3.10. Voltaj kontrol modu için referans voltaj tayini

Küçük ölçekli adalı sistemlerin güç kalitesi, doğrusal olmayan ve tek fazlı yüklerin varlığı ve mikro şebekenin düşük ataleti nedeniyle özellikle önemlidir. Ortak bir veri yoluna bağlı bir dizi enerji kaynağının güç kalitesini artırmak için, Şekil 3.12'da gösterilen kontrol yapısı kullanılır. Bu şekilde $H_{LPF}(s)$ düşük geçişli bir filtrenin transfer fonksiyonunu göstermektedir.

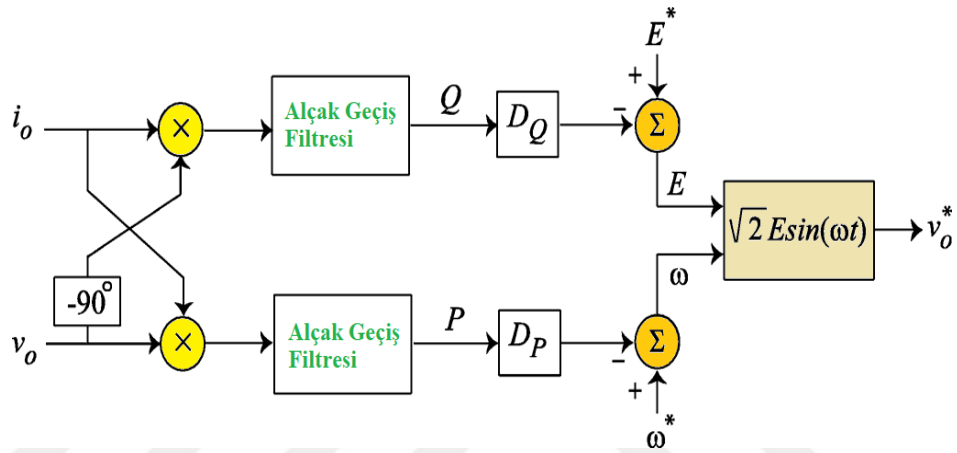


Şekil 3.11. Gerilim kontrol modunda gerilim ve akım kontrol devreleri



Şekil 3.12. AC veri yoluna bağlı bir dizi enerji kaynağı için birinci seviye kontrol döngüleri

Her dönüştürücünün bağımsız bir akım kontrol döngüsü ve aktif ve reaktif güçlerin temel bileşenini farklı kaynaklar arasında dağıtmak için benimsenen bir merkezi voltaj kontrol döngüsü içermektedir. Gerilim kontrol döngüsü için referans noktası, birincil kontrol tarafından belirlenir. Bağımsız akım kontrolörleri, sağlanan akımların harmonik içeriğini ortak AC veri yolunu kontrol ederek güç kalitesini sağlamaktadırlar. Dağıtılmış enerji kaynaklarının kontrol modları genellikle aktif yük paylaşımı ve düşüş karakteristik teknikleri kullanılarak uygulanmaktadır.



Şekil 3.13. Genel droop kontrol yöntemi

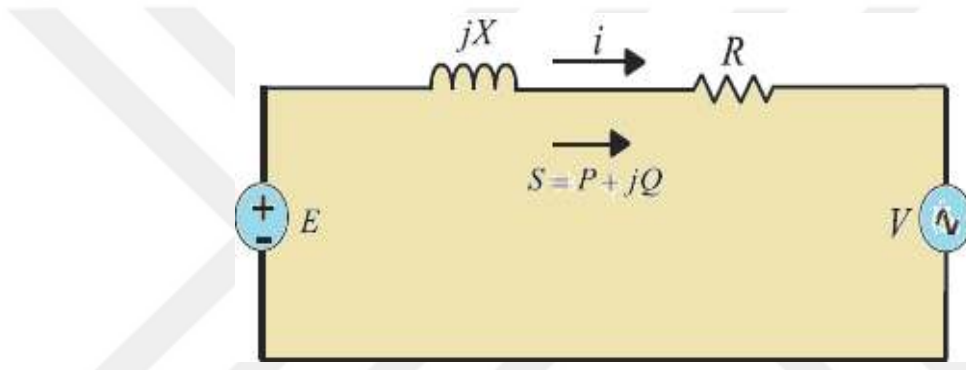
3.4.2.1. Aktif Yük Paylaşımı

Etkin yük paylaşımı, dönüştürücülerin paralel yapılandırılmasında kullanılan iletişim tabanlı bir yöntemdir. Akım veya aktif/reaktif güç referans noktası, merkezi, master-slave, ortalama yük paylaşımı ve dairesel zincir kontrol yöntemleri gibi farklı yaklaşımlarla belirlenir. Merkezi bir kontrol yönteminde, genel yük akımı, tüm dönüştürücüler için aynı akım ayar noktalarını atayarak kaynaklar arasında eşit olarak dağıtılır. Master-slave kontrolünde master konvertör bir VSC olarak çalışır ve slave dönüştürücüler ana dönüştürücünün mevcut modelini takip eden bireysel akım kaynağı dönüştürücüleri olarak davranırken çıkış voltajını düzenler. Ortalama yük paylaşımı denetiminde, tek tek dönüştürücüler için geçerli başvuru, tüm dönüştürücülerin ağırlıklı ortalama akımı (ancak yük akımı değil) olarak sürekli olarak güncellenir. Dairesel zincir kontrolünde, dönüştürücü modüllerinin bir zincirin bağlantıları gibi bağlanması kabul edilir ve her bir dönüştürücü için geçerli referans, önceki dönüştürücü ile belirlenir. Aktif

yük paylaşım yöntemi iletişim bağlantıları ve yüksek bant genişliği kontrol döngüler gerektirir. Bununla birlikte, hassas akım paylaşımı ve yüksek güç kalitesi sağlamaktadır.

3.4.2.2. Droop Kontrol Teknikleri

Droop kontrol yöntemi, dönüştürücüler arasındaki iletişim bağlantılarının ortadan kaldırılması nedeniyle bağımsız, özerk ve kablosuz kontrol olarak adlandırılmıştır. Şekil 3.12'de gösterilen geleneksel aktif güç kontrolü (frekans droop karakteristiği) ve reaktif güç kontrolü (gerilim droop karakteristiği) voltaj modu kontrolü için kullanılmaktadır.



Şekil 3.14. Mikro şebekeye bağlı bir dönüştürücünün basitleştirilmiş diyagramı.

Geleneksel droop yöntemlerinin prensipleri, Şekil 3.14'de gösterildiği gibi bir AC barasına bağlanmış bir VSC eşdeğer devresi göz önüne alınarak açıklanabilir. Anahtarlama dalgaları ve yüksek frekanslı harmonikler ihmal edilirse, VSC, $E\angle\delta$ voltajı ile bir AC kaynağı olarak modellenabilir. Ayrıca, ortak AC bara geriliminin $V_{com}\angle\theta$ olduğunu ve dönüştürücü çıkış empedansının ve hat empedansının $Z\angle\theta$ 'nin tek bir etkili hat empedansı olarak toplandığını varsayılırsa, ortak AC veri yoluna iletilen karmaşık güç (S) aşağıda Eşitlik 3.1'de verilmiştir.

$$S = V_{com} I^* = \frac{V_{com} E \angle \theta - \delta}{Z} - \frac{V_{com}^2 \angle \theta}{Z} \quad (3.1)$$

Bu eşitlikle beraber aktif (P), reaktif (Q) güçlerin δ ve θ gibi faz açıları açısından ifadeleri Eşitlik 3.2 ve 3.3'de sırayla verilmiştir.

$$P = \frac{V_{com}E}{Z} \cos(\theta - \delta) - \frac{V_{com}^2}{Z} \cos(\theta) \quad (3.2)$$

$$Q = \frac{V_{com}E}{Z} \sin(\theta - \delta) - \frac{V_{com}^2}{Z} \sin(\theta) \quad (3.3)$$

Mingsheng ve arkadaşları (2018) bu kontrol seviyesinin hedefi (birinci seviye), iç akımı ve voltaj kontrol döngüsünü besleyen voltaj referanslarının frekansını ve genliğini ayarlamak ve dolaşım akımlarını azaltmak olduğunu belirtmişlerdir. Birincil kontrol, güç güvenilirliğini artırmak için yardım edilebilecek kaynak veya talepteki herhangi bir değişikliğe (mili saniye sırasına göre) en hızlı şekilde yanıt vermesi gerektiği belirtilmiştir.

Yerel kontrol olarak da adlandırılan birincil kontrol, hızlı bir tepki hızına sahiptir. Kontrol katmanı genellikle geleneksel sarkma kontrol stratejisini benimser. Sarkma kontrolü, geleneksel senkron jeneratörlerin güç frekansı düzenleme özelliklerini taklit eden bir kontrol yöntemidir. AC mikro şebeke droop kontrolü, her bir invertörün çıkış voltajı genliğini ve frekansını ayarlamak için her dağıtılmış enerjinin aktif ve reaktif güç çıkışına dayanır. Tipik voltaj/frekans (V / f) düşüş kontrol ifadeleri sırası ile Eşitlik 3.4 ve 3.5’de aşağıda verilmiştir.

$$f_i = f_0 - m_i P_i \quad (3.4)$$

$$V_i = V_0 - n_i Q_i \quad (3.5)$$

Bu eşitliklerde f_i ve V_i sırasıyla dağıtılmış enerji (DG) çıkışlarının frekans ve voltaj genliğini temsil eder. f_0 ve V_0 sırasıyla, yük sisteminin nominal frekansını ve nominal voltajını temsil eder. m_i ve n_i sırasıyla aktif droop katsayısı ve reaktif droop katsayısını temsil eder. P_i ve Q_i sırasıyla DG çıkışlarının aktif gücünü ve reaktif gücünü temsil eder.

AC mikro şebekesinin matematiksel ifadeleri yukarda belirtildiği gibi ancak DC mikro şebekelerin droop kontrolü AC mikro şebekelerden farklıdır ve mikro kaynağın droop

karakteristiği voltaj ve akımın doğrusal bir fonksiyonudur. Droop kontrolünün matematiksel ifadesi:

$$U_i = U_{ref,i} - d_i \dot{I}_i \quad (3.6)$$

Bu eşitlikte U_i , dönüştürücünün çıkış voltajıdır. $U_{ref,i}$ dönüştürücünün çıkış voltajının referans değeridir. d_i sarkma katsayısıdır. $\dot{I}_i$, mikro kaynağın çıkış akımıdır.

Geleneksel droop kontrolü bir tür diferansiyel kontrol olduğundan, eşit güç paylaşımını elde etmek zordur ve birçok literatürde bir gelişmişlik önerilmektedir. Düşük voltajlı mikro şebekede, sanal empedans genellikle DG droop kontrolünün performansını iyileştirmek için kullanılmaktadır.

Dou ve arkadaşları (2017) yaptıkları düşük voltajlı mikro şebekelerde droop kontrolü çalışmasında kompozit sanal empedans olarak isimlendirdikleri empedansa dayanan geliştirilmiş bir droop kontrolü yöntemi önerilmişlerdir. Kompozit sanal empedans, sanal negatif direnç ve negatif endüktanstan oluşmakta, sanal negatif endüktans, reaktif güç paylaşımının doğruluğunu artırdığı belirtilmiştir. Literatürde, dirençli sanal empedansı, sanal empedans telafisi ve dirençli sanal empedans kullanarak DC mikro şebekenin sürekli hal gücü ile birleştiren geliştirilmiş bir droop kontrol stratejisi önerilmiştir. Sanal empedansın artması, sistemin dinamik performansını iyileştirmek için akım bozulmasının DC bara gerilimi üzerindeki etkisini azaltabileceği vurgulanmıştır.

3.4.3. İkincil kontrol

Birincil kontrol, sabit durumda dahi frekans sapmasına neden olabilmektedir. Depolama cihazları bu sapmayı telafi edebilmesine rağmen, kısa enerji kapasiteleri nedeniyle yük frekans kontrolü için uzun süre güç sağlayamazlar. Merkezi kontrolde ikincil kontrol, mikro şebeke voltajını ve frekansını geri yükler ve birincil kontrolün neden olduğu sapmaları telafi etmektedir. Bu kontrol hiyerarşisi, birincil ve ikincil kontrol döngülerinin ayrık dinamiklerini ortaya çıkaran ve bireysel tasarımlarını kolaylaştıran, birincil cevaptan daha yavaş dinamik tepkilere sahip olacak şekilde tasarlanmıştır.

Şekil 3.15’de, ikincil kontrolün blok diyagramı gösterilmektedir. Bu şekilde görüldüğü gibi, mikro şebekenin açısal frekansı ve verilen bir dağıtılmış enerji kaynaklarının terminal voltajı ile sırasıyla karşılık gelen referans değerleri ω^{ref} ve E^{ref} ile karşılaştırılır. Ardından, hata sinyalleri ayrı kontrolörler tarafından işlenir; Ortaya çıkan sinyaller ($\delta\omega$ ve δE), frekans ve voltaj sapmalarını telafi etmek için dağıtılmış enerji kaynaklarının birincil kontrol katmanına yönlendirilir. Bunlarla ilgili mikro şebekenin açısal frekansı ve verilen bir dağıtılmış enerji kaynaklarının terminal voltajını elde etmek için aşağıda sırayla eşitlikleri verilmiştir.

$$\delta\omega = K_{P\omega}(\omega^{ref} - \omega) + K_{I\omega} \int (\omega^{ref} - \omega) dt + \Delta\omega_s \quad (3.7)$$

$$\delta E = K_{PE}(E^{ref} - E) + K_{IE} \int (E^{ref} - E) dt \quad (3.8)$$

Bu eşitliklerde, $K_{P\omega}$, $K_{I\omega}$, K_{PE} ve K_{IE} kontrol parametreleridirler. $\Delta\omega_s$ mikro şebekenin akımının ana şebeke akım ile senkronizasyonunu daha da kolaylaştırmak için ek bir frekans kontrol elemanı olarak kabul edilmiştir. Ada yapılı sistemlerin kontrolü modunda, bu ek terim sıfırdır. Ancak senkronizasyon sırasında $\Delta\omega_s$ 'yı ölçmek için bir PLL modülü gerekir. İkincil kontrol için ise potansiyel fonksiyon tabanlı optimizasyon tekniği önerilmiştir. Bu yöntemde, her bir işlev potansiyel bir işlev gibi kabul edilir. Bu işlev, ölçüm, kısıtlama ve kontrol hedefleri ile ilgili tüm bilgileri Eşitlik 3.9’de belirtildiği gibi bir skaler maliyet olarak tanımlanmaktadır.

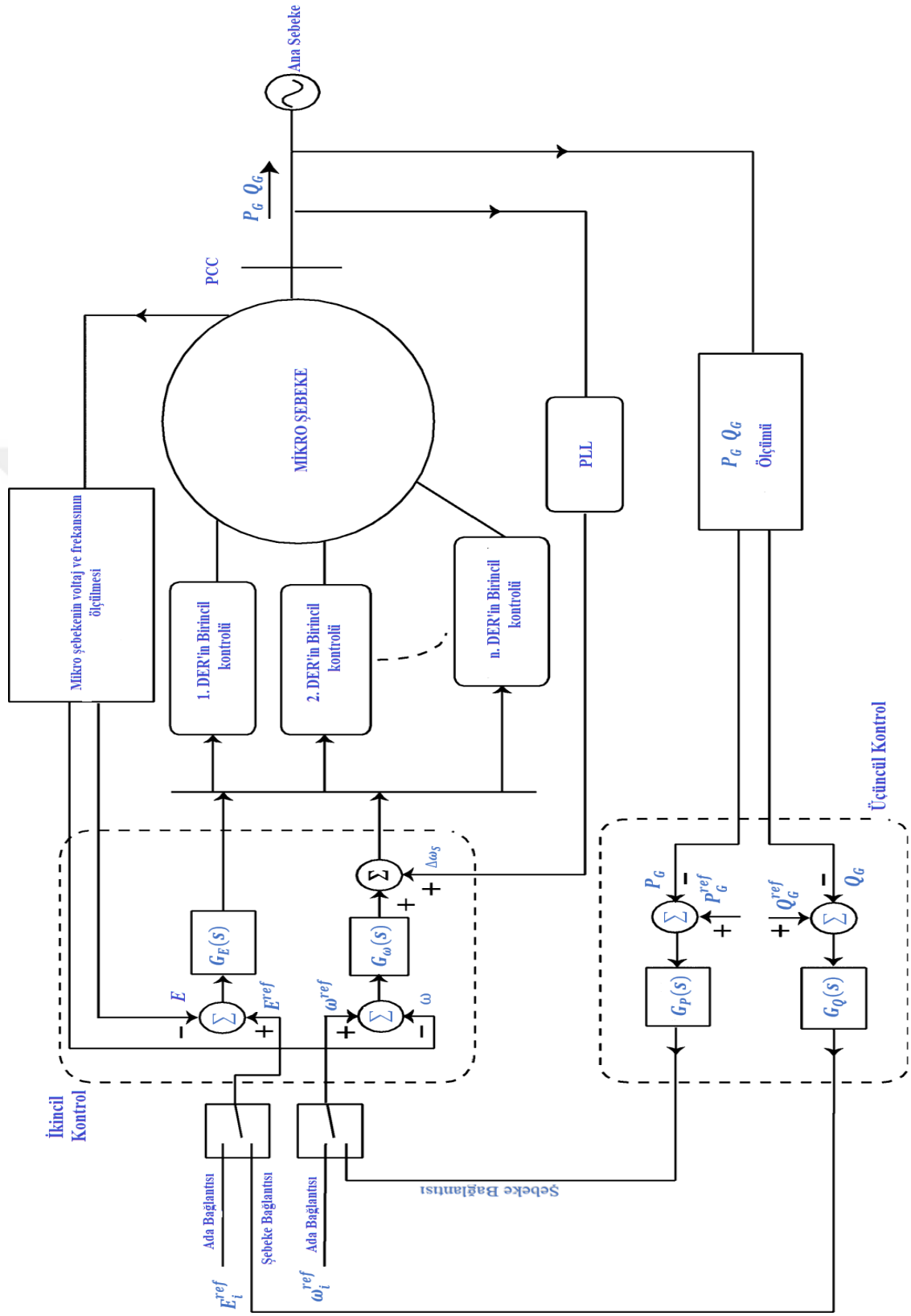
$$\phi_j(x_j) = \omega^u \sum_{i=1}^{n_u} p_i^u(x_j) + \omega^c \sum_{i=1}^{n_c} p_i^c(x_j) + \omega^g p_j^g(x_j) \quad (3.9)$$

Bu eşitlikte ϕ_j , her bir DER ile ilgili potansiyel fonksiyondur ve DER biriminden gelen ölçümleri içermektedir. (örneğin, voltaj, akım, gerçek ve reaktif güç). p_i^u , DER'in ölçüm bilgisini yansıtan kısmi potansiyel fonksiyonları belirtmektedir. p_i^c , mikro şebekenin kararlı çalışmasını sağlayan işlem kısıtlamalarını göstermektedir. p , DER ölçümlerini önceden belirlenmiş ayar noktalarına yakınlaştırmak için kullanılmaktadır. ω^u , ω^c ve ω^g kısmi potansiyel fonksiyonlar için ağırlıklı faktörlerdir. Potansiyel fonksiyon bazlı

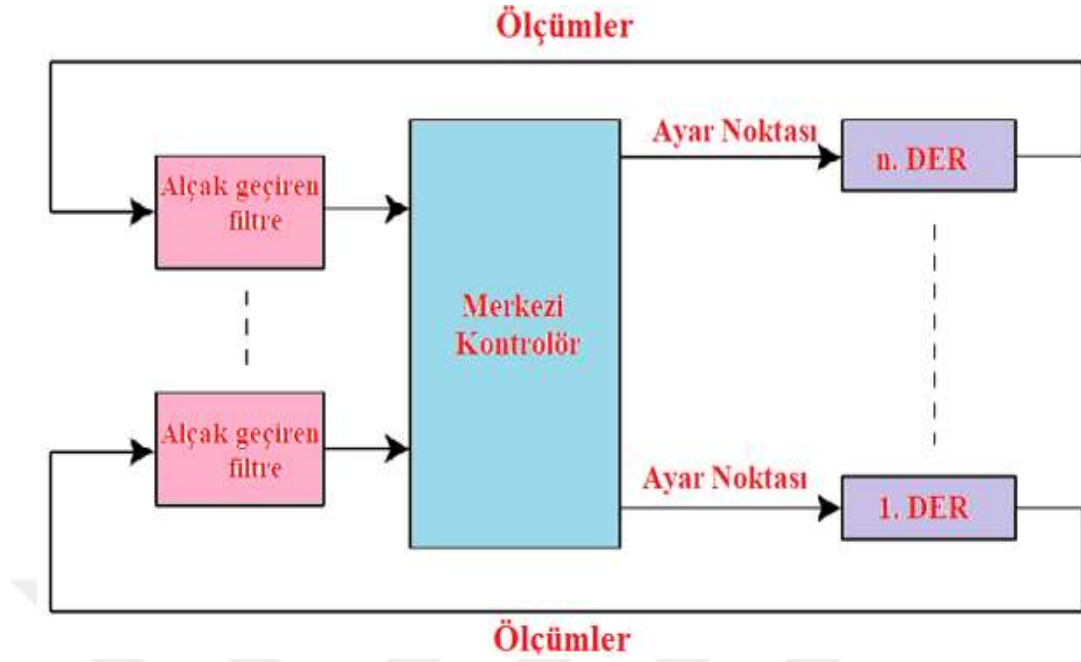
teknikğin blok şeması Şekil 3.16'de gösterilmiştir. Bu teknikte, potansiyel fonksiyonlar minimum değerlerine yaklaştığında, mikro şebekede istenilen durumlarda çalışmak üzeredir. Bu nedenle, Şekil 3.16'deki optimize edicinin içinde, DER'in ayar noktaları, potansiyel fonksiyonları en aza indirecek ve böylece mikro şebeke kontrol hedeflerini karşılayacak şekilde belirlenir. Potansiyel fonksiyon tabanlı teknik, DER'den iyileştiriciye (ölçümler) veri alışverişini kolaylaştırmak için çift yönlü iletişim altyapısı gerekmektedir ve bunun tersi de geçerlidir. Veri aktarım bağlantıları, kontrol sinyallerine yayılma gecikmeleri ekler. Bu yayılma gecikmesi tolere edilebilir, çünkü ikincil denetleyiciler birincil denetleyicilerden daha yavaştır. İkincil kontrol, örneğin kritik veri yollarında voltaj dengelemesi gibi güç kalitesi gereksinimlerini karşılamak için de tasarlanabilmektedir. Gerilim dengesizliği kontrollerinin blok şeması Şekil 3.17'de gösterilmektedir. İlk olarak, kritik veri yolu voltajı dq referans çerçevesinde hesaplanmaktadır. Hem doğrudan bileşen (d) hemde dörtlü bileşen (q) eksenini için pozitif ve negatif dizi voltajları hesaplandıktan sonra, voltaj dengesizliği faktörü (VUF) aşağıdaki eşitlikle verilmiştir.

$$VUF = 100 \frac{\sqrt{(v_d^-)^2 + (v_q^-)^2}}{\sqrt{(v_d^+)^2 + (v_q^+)^2}} \quad (3.10)$$

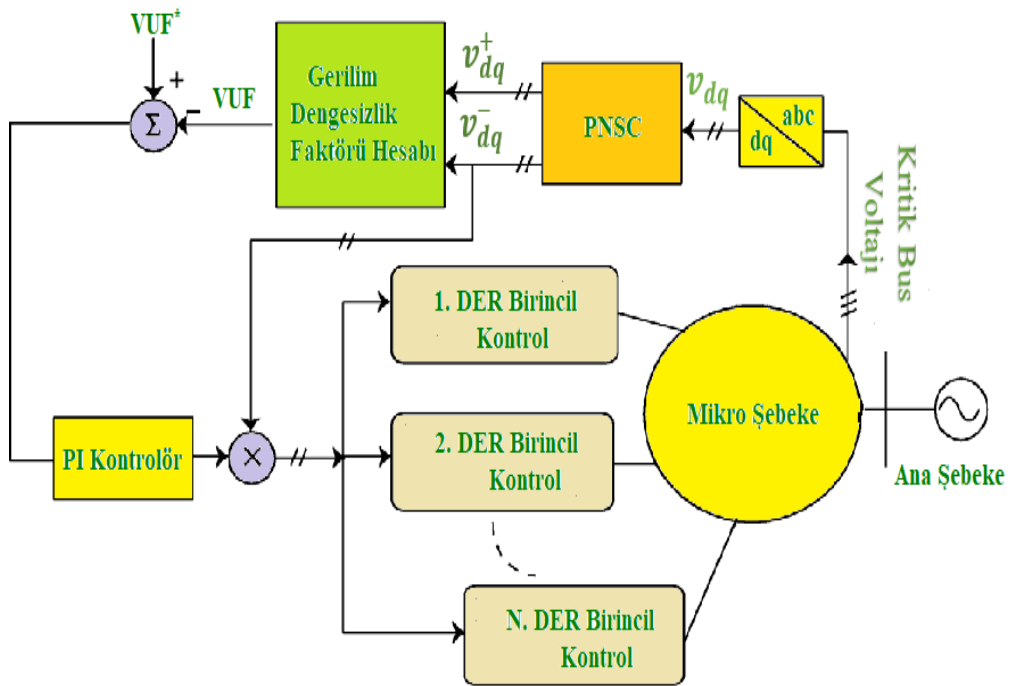
Bu eşitlikte v_d^+ ve v_d^- , doğrudan bileşenin pozitif ve negatif dizi voltajlarıdır ve v_q^+ ve v_q^- , sırasıyla dörtlü bileşenin pozitif ve negatif dizi voltajlarıdır. Şekil 3.17'de gösterildiği gibi, hesaplanan VUF referans değeri VUF^* ile karşılaştırılır ve fark bir PI kontrol cihazını beslemektedir. Kontrolör çıkışı v_d^- ve v_q^- direk ve dörtlü voltaj bileşenlerinin negatif dizisi ile çarpılır ve voltaj dengesizliğini telafi etmek için sonuçlar DER voltaj kontrolörlerinin referanslarına eklenir.



Şekil 3.15. İkincil ve üçüncül kontrollere blok şeması



Şekil 3.16. Potansiyel fonksiyon tabanlı teknik blok diyagramı.



Şekil 3.17. İkincil kontrolde gerilim dengesizliği kompanzasyonu

3.4.4. Üçüncül kontrol

Mikro şebekede elektrik üretimi, özellikle maksimum gücün yenilenebilir enerji kaynaklarından alınacağı durumlarda, yerel elektrik talebini aşabilmektedir. Bir durumda, aşırı güç doğrudan yüksek ataletli bir DC sistemine ya da bir invertör aracılığıyla AC şebekesine iletilir. Diğer taraftan, yerel olarak üretilen güç yük talebinin altında kaldığında, yüksek ataletli bir DC sistemi veya AC şebekesi ihtiyacı gidermek için güç sağlayacaktır. Yüksek ataletli bir sisteme sahip bu iki yönlü güç alışverişi, ayrı bir kontrolör tarafından üçüncül kontrolü tarafından gerçekleştirilir. Üçüncül denetleyici, iki güç şebekesi arasındaki gücü referans değeriyle karşılaştırır ve buna göre, mikro şebekenin frekansını referans değere maksimum oranda yaklaştırır. Genel olarak, ana şebeke frekansı arttıkça, DC mikro şebeke daha fazla güç gönderir ve bunun tersi de gerçekleşebilmektedir.

Üçüncül kontrol, mikro şebekenin optimum çalışma noktasında ekonomik parametreleri göz önünde bulundurmakta ve mikro şebeke ile ana şebeke arasındaki güç akışını yöneten ve en son (ve en yavaş) kontrol seviyesidir. Şebeke bağlı modda, mikro şebeke ile ana şebeke arasındaki güç akışı, DER voltajlarının genlikleri ve frekansları ayarlanarak yönetilebilmektedir. Bu işlemin blok şeması Şekil 3.15'de gösterilmektedir. Blok şemada gösterildiği gibi İlk olarak, mikro şebekenin aktif ve reaktif çıktı güçleri P_G ve Q_G ölçülür. Bu değerler daha sonra P_G^{ref} ve Q_G^{ref} esaslarına göre frekans ve voltaj referanslarını elde etmek için karşılık gelen referans değerleri ω^{ref} ve E^{ref} ile karşılaştırılmaktadır. Bu değerler aşağıdaki eşitliklerle sırasıyla verilmiştir.

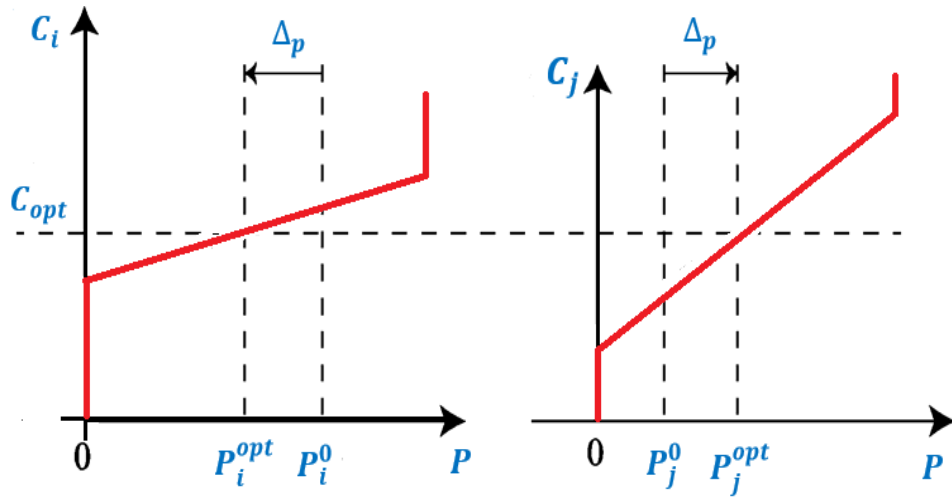
$$\omega^{ref} = K_{PP}(P_G^{ref} - P_G) + K_{IP} \int (P_G^{ref} - P_G) dt \quad (3.11)$$

$$E^{ref} = K_{PQ}(Q_G^{ref} - Q_G) + K_{IQ} \int (Q_G^{ref} - Q_G) dt \quad (3.12)$$

Bu eşitliklerde belirtilen eşitliklerde bulunan K_{PP} , K_{IP} , K_{PQ} ve K_{IQ} ifadeleri kontrol parametreleridir. ω^{ref} ve E^{ref} değerleri ikincil kontrolde kullanılmak üzere referans değerleri olarak tanımlanmaktadır. Üçüncül kontrol, ekonomik olarak en uygun işlemi de

sağlar, örneğin, Gossiping algoritması kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Genel olarak, tüm DER'ler eşit marjinal maliyetlerle C_{opt} (üretilen gücün varyasyonuna göre toplam maliyetin varyasyonu) çalışırsa, ekonomik olarak en uygun işlem gerçekleşmiş olur. Gossiping algoritmasında, ilk olarak, rastgele çıktı gücü ayar noktaları P_i^0 ve P_j^0 , sırasıyla i 'nci DER ve rastgele dedikodu ortağı j 'nci DER için belirlenir. Daha sonra, DER'lerin marjinal maliyet eğrileri hakkındaki önceki bilgiler göz önüne alındığında, iki DER'in (P_i^{opt} ve P_j^{opt}) optimum çıkış gücü belirlenir. En son olarak, iki DER'nin her biri çıkış noktasını optimum noktada üretecek şekilde ayarlanmış olmaktadır.

Yukarıda belirtilen optimum maliyet Şekil 3.18'de gösterilmektedir. Aynı prosedür, diğer DER çiftleri için, mikro şebekelerdeki DER'lerin tümü optimum şekilde çalışana kadar tekrar edilebilmektedir. Ek olarak, yerel bilgiyle güç yönetimini kolaylaştırmak ve böylece gerekli iletişim altyapılarını basitleştirmek gelecek yıllarda daha yeni tekniklerin geliştirilmesine sebep olacaktır.



Şekil 3.18. İki DER arasında marjinal maliyet fonksiyonu eşleşmesi

3.5. Diğer Kontrol Yöntemleri

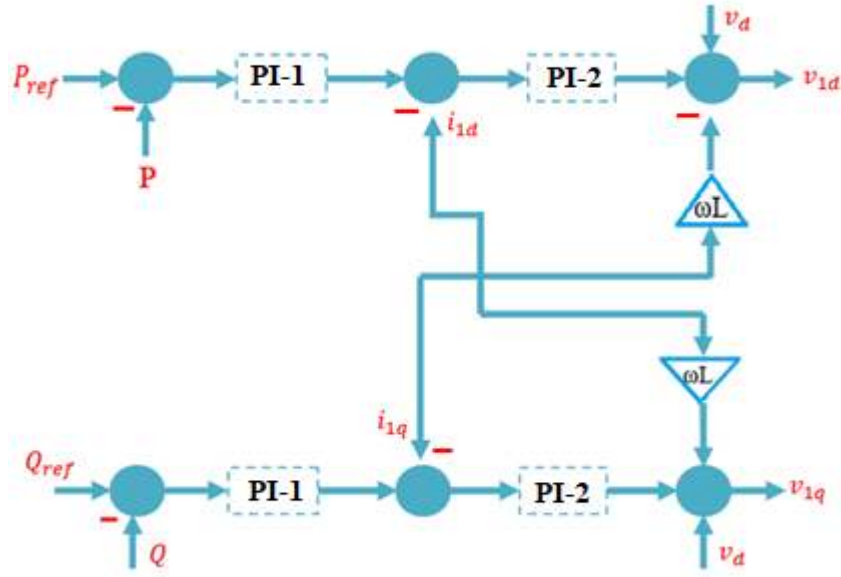
3.5.1. PQ kontrol

PQ kontrol veya akım kontrolü, şebekeye paralel çalışan yenilenebilir enerji kaynaklı dağıtık üretim birimlerinin kontrolünde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu modda gerilim ve frekans işareti şebeke tarafından belirlenmektedir. Bundan dolayı, eviriciye uygulanan P_{ref} ve Q_{ref} referanslarının değerlerine göre çıkıştaki aktif ve reaktif güçleri ayarlanabilmektedir. Gerilim ve frekans bilgisinin belirlenemediği durumlarda PQ kontrolü kullanmak çoğu zaman uygun olmamaktadır. Bu sebeple PQ kontrolü kullanan bir evirici, temel olarak bağımlı akım kaynağı gibi modellenmektedir.

Şimdiye kadar, PQ modunda işletilen RES'in gelişmiş kontrol stratejileri hakkında birçok araştırma yapılmıştır. Ancak, adalı bir mikro şebekelerde RES birimi için güç üretimi sınırlaması vardır. Bu özel durumlar nedeniyle, tüm sistemin RES ve VF kontrolü altında çalışan diğer DEK'ler arasında esnek bir şekilde koordine edilmiş güç kontrolü şeklinde çalıştırılması gerekmektedir.

PQ kontrolünün kullanılmasındaki ana amaç, dağıtılmış enerji kaynaklarının çıkışının referansa göre belirtilen aktif ve reaktif gücü, yani invertörün belirli bir aralık içinde değiştiği AC veri yolunun frekansı ve gerilimi, dağıtılmış enerjinin aktif ve reaktif gücü olduğunda kaynaklar aynı kalmaktadır. Mikro şebeke bara frekansı izin verilen bir aralıkta değiştiğinde ($f_{min} \leq f \leq f_{max}$), inverterin aktif gücü verilen referans değerinde kalır. Mikro şebeke bara gerilimi izin verilen bir aralıkta ($V_{min} \leq V \leq V_{max}$) değiştiğinde, sürücünün reaktif gücü verilen referans değeri Q_{ref} 'te kalacaktır.

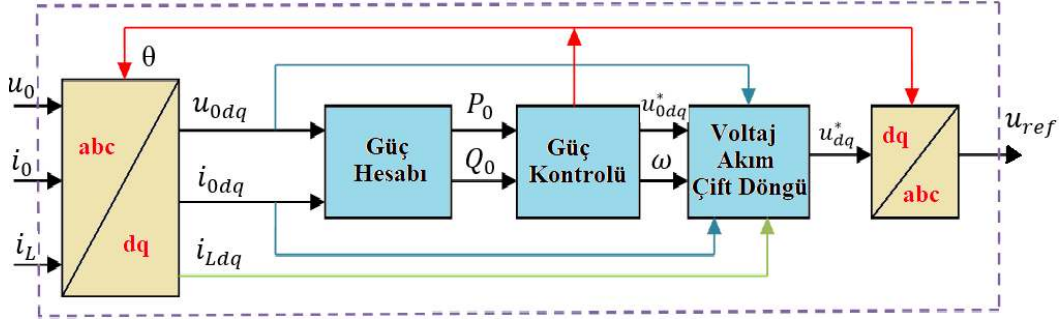
İstenildiği enerjiyi her an tek başına karşılayamayan rüzgâr veya PV gibi kaynaklarda kullanılan en iyi güç noktası izleme (Maximum Power Point Tracking – MPPT) algoritmaları, P_{ref} değerini dinamik olarak ayarlayarak sisteme en yüksek aktif güç değerini vermeye çalışmaktadır. Bu sırada sistemin referans reaktif gücü Q_{ref} genellikle sıfır olarak ayarlanır çünkü reaktif güç çıkışı istenmez. PQ kontrol blok diyagramı genel olarak Şekil 3.19'de verilmiştir.



Şekil 3.19. PQ kontrol blok diyagramı

3.5.2. Voltaj/Frekans (V/f) Kontrol

Voltaj/Frekans (V/f) kontrol yöntemi veya gerilim kontrol yöntemi, ada durumundaki şebekelerde gerilim ve frekansı belirleyecek tek bir evirici olduğu durumlarda kullanılmaktadır. Düşük voltajlı mikro şebeke hattı yaklaşık dirençlidir ve DG çıkış voltajı ile şönt bara voltajı arasındaki açı farkı gerçek çalışma sırasında çok küçüktür, bu nedenle, DG çıkış aktif gücü esas olarak her iki ucundaki voltaj genliği farkına bağlıdır. Bu yöntemde V_{ref} ve f_{ref} referans değerlerinin bilgisi eviriciye gönderilir, bu değerleri sağlayacak aktif ve reaktif güç çıkışı şebekeye bağlı diğer jeneratör ve yüklerin net güç farkını tamamen kapatacak şekilde güç değerlerini ayarlamaktadır. Bu anlamda V/f kontrol, güç sistemlerindeki entegral karakteristiğe sahip regülatöre benzetilebilir. V/f kontrolde bir eviriciyi, bağımlı gerilim kaynağı olarak modellemek mümkün olabilmektedir. Bir eviriciler kümesinde ancak tek bir V/f kontrole sahip evirici olabilir. Dolayısıyla mikro şebekenin şebeke bağlantılı durumunda V/f kontrol tipini kullanmak olanaklı değildir. Ayrıca tüm yüklenme durumlarında verilen referans gerilim ve frekansı karşılayabilmesi için, bu yöntemin kullanılacağı kaynaklar istenildiği anda kullanılabilir olmalıdır (örn. enerji depolama sistemleri). V/f kontrol blok diyagramı Şekil 3.20’de verilmiştir.



Şekil 3.20. V/f kontrol blok diyagramı

V/f kontrolün birçok avantajlara sahiptir bunlar;

- ✓ Çalışma performansı çok iyidir.
- ✓ Başlangıçta için düşük akım ile çalışabilir.
- ✓ Kararlı çalışma bölgesinin genişliği sebebiyle diğer kontrol yöntemlerinden daha avantajlıdır.
- ✓ Gerilim ve frekans değerleri, anma değerlerine sabitlenebilmektedir.
- ✓ Hızlanma, besleme frekansının değişim oranını ayarlayabilir.
- ✓ İyi bir hızla çalışır.
- ✓ Kullanılması kolay ve maliyeti azdır.

3.5.3 DROOP Kontrol

Droop kontrolü, senkron jeneratörlerin güç sistemindeki davranışlara dayanır. Bu kontrol tekniğinde, invertörler tarafından aktif ve reaktif güç paylaşımı, çıkış frekansı ve voltaj genliği ayarlanarak tahmin edilir. Kritik iletişim bağlantılarından kaçınılmaktadır. Droop kontrolü, m ve n sarkma katsayılarının da olduğu blok şema Şekil 3.21'de sunulmuştur.

Bir şebeke destekli invertör (GSI), adalı bir mikro şebekenin sıklığını kararsızlık riski altında yapan geleneksel bir senkron jeneratörden çok daha küçük bir ataletle sahiptir. Bir senkronize jeneratörün yönetimini taklit ederek bir GSI'nin sanal ataletini arttıran droop

kontrol yöntemi, mikro şebekenin oluşumunu paralel GSI'lere olan taleple anında dengelemek için kullanılır. Genel olarak, aktif güç frekansının (P/f) sarkmasının ve reaktif güç voltajının (Q/U) sarkmasının temeli sanal empedans döngüsüne gönderilen referans çıkış voltajının büyüklüğü ve frekansı aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$f_i^* = f_0 + mp_i (P_{refi} - P_i) \quad (3.13)$$

$$U_i^* = U_0 - mq_i Q_i + U_{refi} \quad (3.14)$$

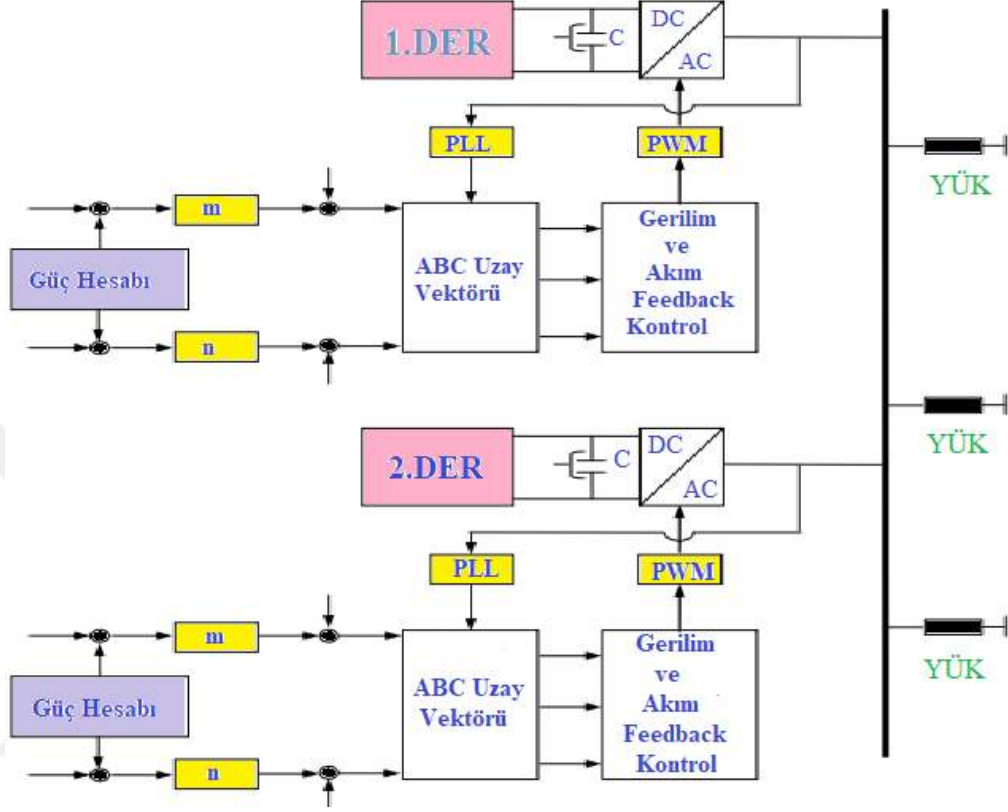
Bu eşitliklerde i , GSI indeksidir. mp_i ve mq_i , sırasıyla aktif ve reaktif güçlerle ilişkili olan droop parametreleridir; U_i^* ve f_i^* sırasıyla, sanal empedans döngüsüne gönderilen referans çıkış voltajının büyüklüğü ve frekansdır. P_i ve Q_i sırasıyla yerel olarak ölçülen aktif ve reaktif güçlerdir, f_0 ve U_0 ögesi normal çalışma noktalarının başlangıçta ayarlanmış anma değerlerini temsil etmektedir. P_{refi} ve U_{refi} , sırasıyla ikincil ekonomik otomatik üretim kontrolü (EAGC) ve otomatik voltaj kontrolü (AVC) tarafından üretilen güç kontrol talepleridir. Ancak, güç paylaşımı hat empedansından etkilenir. Bu problemin üstesinden gelmek için her zaman sanal bir çıkış empedansı döngüsü gerekir. Fiziksel empedansla karşılaştırıldığında, sanal çıkış empedansında güç kaybı yoktur. Sanal empedans ek voltaj düşmesine neden olsa da, sistemin sönümlenmesini artırabilir ve uygun şekilde tasarlanması durumunda sistemin performansını iyileştirebilir. Böylece, sanal çıkış empedansı döngüsü ile çıkış referans voltajı Eşitlik 3.15 ve Eşitlik 3.16'da aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$v_{0d,ref} = v_{0d,ref}^* - (R_V \cdot i_{0d} - X_V \cdot i_{0q}) \quad (3.15)$$

$$v_{0q,ref} = v_{0q,ref}^* - (R_V \cdot i_{0q} + X_V \cdot i_{0d}) \quad (3.16)$$

Bu eşitliklerde $v_{0d,ref}^*$ ve $v_{0q,ref}^*$, düşüş denklemleriyle hesaplanan f_i^* ve U_i^* 'den türetilmiş referans değerleridir, R_V ve X_V , sırasıyla sanal empedansın direncini ve

endüktif empedansını temsil eder; sırasıyla, i_{0d} ve i_{0q} , GSI'nin çıkış akımlarıdır. $v_{0d,ref}$, $v_{0q,ref}$ voltaj döngü denetleyicisine gönderilen değiştirilmiş voltaj referanslarıdır.



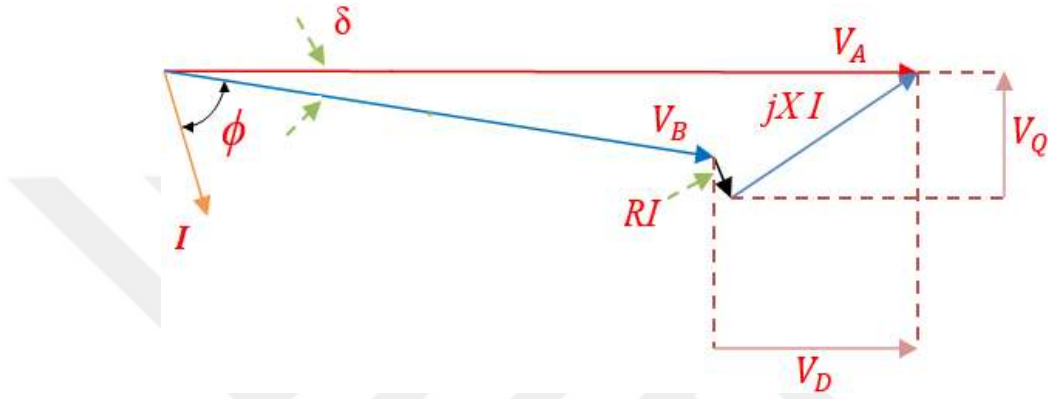
Şekil 3.21. Droop Kontrol

Güç dönüştürücüsünü, şebekeye belirli bir hat empedansı ile bağlanan ideal bir RL devresinde kontrol edilebilir voltaj kaynağı olarak düşünüldüğünde, şebekeye vereceği aktif ve reaktif güçler ise aşağıda Eşitlik 3.17 ve Eşitlik 3.18'de belirtilmiştir.

$$P_A = \frac{V_A}{R^2 + X^2} [R(V_A - V_B \cos \delta) + X V_B \sin \delta] \quad (3.17)$$

$$Q_A = \frac{V_A}{R^2 + X^2} [-R V_B \sin \delta + X(V_A - V_B \cos \delta)] \quad (3.18)$$

Bu eşitliklerde P_A ve Q_A , sırasıyla A (güç dönüştürücüsü) kaynağından B (şebeke) kaynağına akan sırasıyla aktif ve reaktif güçlerdir. V_A ve V_B bu kaynakların voltaj değerleridir. δ , iki voltaj arasındaki faz açısı farkına karşılık gelir. $Z = R + jX$ arabağlantı hattı empedansı ve θ empedans açısıdır. $R = Z \cdot \cos(\theta)$ ve $X = Z \cdot \sin(\theta)$ olarak, bu basitleştirilmiş elektrik sisteminin performansı, Şekil 3.22 'de gösterildiği gibi vektör gösterimi ile gösterilebilir.



Şekil 3.22. Fazör diyagram

Hat empedansı genellikle hat direncinden çok daha büyük olduğundan, dirençli kısım, önemli bir hata yapmadan ihmal edilebilir. Ek olarak, bu gibi hatlardaki güç açısı δ çok küçüktür, bu nedenle $\sin(\delta) \approx \delta$ ve $\cos(\delta) \approx 1$ olarak alınabilmektedir. Eşitlik 3.17 ve Eşitlik 3.18'e göre $\sin(\delta) \approx \delta$ ve $\cos(\delta) \approx 1$ için Eşitlik 2.19 ve Eşitlik 3.20 şeklinde yeniden ifade edilmiştir.

$$P_A \approx \frac{V_A}{X} (V_B \sin \delta) \Rightarrow \delta \approx \frac{X P_A}{V_A V_B} \quad (3.19)$$

$$Q_A \approx \frac{V_A}{X} (V_A - V_B \cos \delta) \Rightarrow V_A - V_B \approx \frac{X Q_A}{V_A} \quad (3.20)$$

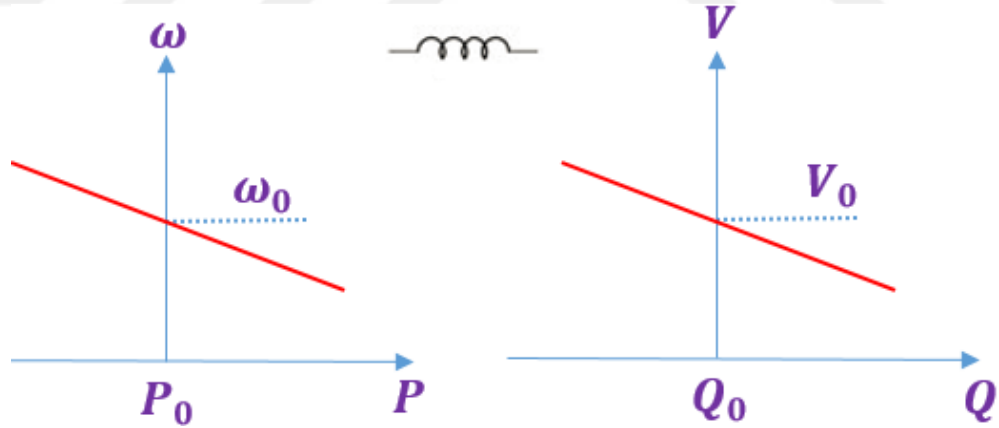
Bu eşitliklerde güç açısı δ ile aktif güç P arasında ve ayrıca $V_A - V_B$ voltaj farkı ile reaktif güç Q arasında doğrudan bir ilişki olduğunu gösterir. Bu ilişkiler, şebekeye verilen aktif ve reaktif güçlerin değerini kontrol ederek, güç dönüştürücünün bağlanma noktasındaki

şebeke frekansını ve voltajını düzenlemeye müsaade etmektedir. Bu nedenle, indüktif satırlar için şebeke düşüş kontrolünde frekans ve voltaj ifadeleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$f - f_0 = -k_p(P - P_0) \quad (3.21)$$

$$V - V_0 = -k_q(Q - Q_0) \quad (3.22)$$

Bu eşitliklerde $f - f_0$ ve $V - V_0$ sırasıyla şebeke frekansını ve voltaj sapmalarını sırasıyla nominal değerlerinden, $P - P_0$ ve $Q - Q_0$ ise bu tür sapmaları telafi etmek için güç dönüştürücü tarafından sağlanan aktif ve reaktif güçlerdeki varyasyonlardır. Bu ilişkiler, Eşitlik 3.21 ve Eşitlik 3.22'de verildiği gibidir. Her durumda kontrol kazancı, örneğin, frekans eğiminin ve gerilim düşmesi karakteristiğinin, sırasıyla k_p ve k_q parametreleri tarafından ayarlanmaktadır. Bu nedenle, Şekil 3.25'de gösterildiği gibi, bir mikro şebekede çalışan şebeke destekli güç dönüştürücülerinin her biri, sırasıyla mikro şebeke frekansının ve voltajının düzenlenmesine katılmak için p/f ve Q/V droop karakteristiğine göre aktif ve reaktif güç referansını ayarlanmaktadır.



Şekil 3.25 Baskın indüktif davranışlı şebekelerde frekans ve gerilim droop karakteristikleri.

Droop kontrolün avantaj ve dezavantajları aşağıda Tablo 3.2 de verilmiştir.

Tablo 3.2. Droop kontrol avantaj ve dezavantajları

Droop Kontrol Avantajları	Droop Kontrol Dezavantajları
➤ İletişim sorunu yoktur. ➤ Mükemmel esneklik sağlar. ➤ Yüksek güvenilirliktir. ➤ Serbest kurulum ➤ Farklı güç değerleri içermek	➤ Voltaj düzenleme ve yük paylaşımı arasında değişim eksikliği ➤ Zayıf harmonik paylaşımı ➤ Sistem empedansının etkisi ➤ Yavaş dinamik tepki ➤ Yenilenebilir enerjilerinin entegrasyonu

Son olarak mikro şebeke kontrollerinin avantaj ve dezavantajları ise Tablo3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3. Mikro şebekelerde kontrol yöntemlerinin avantaj ve dezavantajları

Yöntem	Avantaj	Dezavantaj
Klasik PID Kontrol Yöntemi	• Basit kontrol yapısı vardır.	• Çalışma koşulları değiştiğinde sistemin performansında düşme meydana gelmektedir. • Dengesiz sistemlerde iyi performans sağlamaz. • Yüksek harmoniklerin sabit tutulması için çok iyi çözüm sağlamaz.
Sönümlü Denetleyici (DB)	• Hızlı cevap sağlar. • Akım denetleyici için uygundur. • Düşük örnekleme frekansında çok hızlı geçiş cevabı verir.	• İstenilen performansa ulaşmak için tam filtre modeli gerekir. • Doğrusal olmayan yükler için kontrol edilen sistemin parametre değişkenlerinin ölçülmesi gerekir.
Kestirimci Kontrol Yöntemi	• Doğrusal olmayan sistem oluşturma olasılığı vardır.	• İstenilen performansa ulaşmak için tam filtre modeli gerekir.
Oransal Salınım (PR) Yöntemi	• Bu yöntem, istenilen performansı elde etmek amacıyla düzgün iç akım denetleyici olarak kullanılabilir.	• Büyük kazanç sağlayarak sıfır kararlı durum hatasını garanti eder, ancak bunu denetleyicinin rezonans frekansı civarında yapar.
Doğrudan Güç Kontrol Yöntemi	• Çok hızlı bir dinamik yanıtı olan basit denetleyicidir.	Sabit bir anahtarlama sıklığı olduğu için dönüştürücünün kayıplarını hesaplaması ve anahtarlama gürültü filtrelerinin tasarlanması zorlaşır.

Tablo 3.3. devam

Tahminsel Kontrol Yöntemi	- Doğrusal olmayan sistemler için de uygulanabilir. - Yüksek güçlü eviriciler için anahtarlama frekansını en aza indirmek ve olası hatayı belirli bir sınırdan tutmak için kullanılır.	- İstenen performansa ulaşmak için filtrenin kesin bir modelini gerektirir. - Çok fazla hesaplama işlemleri gerektirir.
Kayan Kipli Kontrol Yöntemi	Geçici durum boyunca güvenilir performans gösterir.	Ayrı zamanlarda kontrol için anahtarlama sorunu vardır.
Bulanık Kontrol Yöntemi	Parametrik varyasyonlara ve çalışma noktalarına duyarsızdır.	Yavaş bir kontrole olanak sağlar.
Tekrarlamalı Kontrol Yöntemi	Bu kontrolörler, harmonik kompanzatörler ve akım kontrolörleri olarak uygulanmaktadır. Periyodik arızalar için sağlam performans gösterirler ve tüm harmonik frekanslarda olası hatayı belirli bir sınırdan tutmak için kullanılır.	- Bilinmeyen yük dağılımlarının dengelenmesi kolay değildir. - Dalgalandan yüklerde çok hızlı tepki elde edilemez.
Sinirsel Ağlar Yöntemi	Akım denetleyicilerinde bu yöntemler çevrimdışı veya çevrim içi yaklaşımlarla geliştirilir ve kullanılırlar.	Yavaş bir dinamik tepkiye neden olabilir ve yalnızca statik modda uygulanır.
H-∞ Yöntemi	Doğrusal olmayan, dengesiz yükler veya şebeke gerilimi bozulması durumunda bile iyi performans sağlar.	- İleri düzeyde matematik bilgisi gerektirir. - Kontrol sonuçları yüksek mertebededir. - Sistem cevabı yavaştır.
Gecikmeli Akım Kontrol Yöntemi	- Hızlı geçici yanıtları vardır. - Bu tür denetleyiciler sağlam ve basittir, bunların uygulanması karmaşık devreler veya işlemciler gerektirmez.	Bu denetleyicinin en büyük dezavantajı, rezonans problemlerine neden olabilecek parametre yüklerinde ve çalışma koşullarındaki değişikliklerle değişen anahtarlama frekansıdır. Anahtarlama kayıpları, gecikmeli akım kontrolünün uygulanmasını daha düşük güç seviyelerine sınırlar. Fazlar arasındaki etkileşim nedeniyle mevcut hata kesin olarak gecikme bandının değeri ile sınırlı değildir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada ada modunda çalışan enerji depolama sistemli (EDS) bir mikro şebekenin çalışma performansının iyileştirmesi amaçlanmıştır. Ada modunda çalışan bu mikro şebekede ana jeneratörün devreden çıkması, ani yük artışı gibi bozucu bir etkinin oluşması durumunda mikro şebekenin frekans ve geriliminde salınımlara sebep olacaktır. Bu tür arızalar en kötü durumda mikro şebekenin gerilim ve frekansında çökmelere ve dolaylı olarak da mikro şebekenin kendini kapatmasına sebebiyet verebilir. Bu tür problemlerin üstesinden gelebilmek ve problemlerin olduğu süre içerisinde gerilim ve frekans salınımlarını azaltmak için aktif ve reaktif güç kontrolü için EDS uygulaması göz önüne alınmıştır. DIgSILENT PowerFactory yazılımı ile EDS bir mikro şebeke tasarlanmıştır. Tasarlanan denetleyiciden alınan simülasyon sonuçlarına göre mikro şebekenin dinamik karaklılığı artırılmış ve frekans ve gerilimin kabul edilebilir aralıklarda kalması sağlanmıştır.

Tasarlanan mikro şebekede ayrı jeneratörler, EDS, kontrol üniteleri ve yüklerden oluşmaktadır. Önerilen mikro şebekenin detayları Şekil 4.1 ve Tablo 4.1’ de verilmiştir.

Tablo 4.1. Mikro şebeke bileşenleri.

Bileşen	Değer
Dizel jeneratör	$(2.4 + j2.4)$ MVA
Hidro jeneratör	6 MVA
PV sistem	0.4 MVA
EDS	5.5 MVA
Yük 1	$(0.9 + j0.4359)$ MVA
Yük 2	$(0.8 + j0.3923)$ MVA
Yük 3	$(0.8 + j0.3923)$ MVA
Yük 4	$(1.17 + j0.4359)$ MVA
Yük 5	$(0.9 + j0.4359)$ MVA

Denetleyici çıkışı konvertöre ileilmekte ve son olarak da frekans ve gerilim salınımını en aza indirmek için mikro şebekeye geri gönderilmektedir. P denetleyici ile frekans, Q denetleyici ile gerilim değerlerinin kararlı hal değerlerine yakın yerlerde kalmasının sağlanması amaçlanmaktadır.

Mikro şebekenin ve denetleyicilerin tasarım gerçekleştirilirken; ilk olarak sistemin matematiksel modelinin belirlenmeye çalışılmıştır. Bu işlemleri DIgSILENT PowerFactory yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan bu sistemin tam olarak modellenmesi ve formülize edilmesi bu yazılım sayesinde sağlanmıştır.

İkinci olarak DIgSILENT PowerFactory yazılımında tasarlanan ve oluşturulan matematiksel model MATLAB ortamına aktararak sistem tanımlama tekniği kullanılarak P ve Q denetleyici çevrimleri için EDS'lere yönelik hesaplamalar yapılmıştır. Bu hesaplamalar sayesinde EDS denetlemesine yönelik denetleyici tasarlaması için mikro şebekenin bir durum uzay tabanlı matematiksel modeli oluşturulmuştur.

Son olarak ise EDS için oluşturulan matematiksel ifade ile gürbüz bir denetleyici tasarlanmıştır. Tasarlanan denetleyici sistem üzerinde uygulanmış ve başarılı sonuçlar elde etmiştir.

Bu aşamada denetleyici içerisinde hem ileri (ω_{ileri}) ve hem de geri (ω_{geri}) kompanzatör bileşenleri iliştilirilmiş olup sistemin tam transfer fonksiyonu Eşitlik 4.1' de verildiği gibi elde edilmiştir.

$$G_q = \omega_{geri} G_{0q} \omega_{ileri} \quad (4.1)$$

EDS için tasarlanacak olan reaktif güç denetleyicisi kararlılık ve gürbüzlük şartları altında tasarlanmış ve K_q ile gösterilmiştir.

EDS için tasarlanacak olan aktif güç denetleyicisi kararlılık ve gürbüzlük şartları altında tasarlanmış ve K_p ile gösterilmiştir.

Yukarıdaki adımlar ile ifade edilen denetleyicilerin tasarım sonrasında elde edilen s -domeni ifadeleri Eşitlik 4.2 ve 4.3 de verildiği gibidir.

$$K_{p-ESS}(s) = \left[\frac{10.978s+3}{10s+3.33} \right] \left[\frac{5.048s+7}{0.1s+1} \right] \quad (4.2)$$

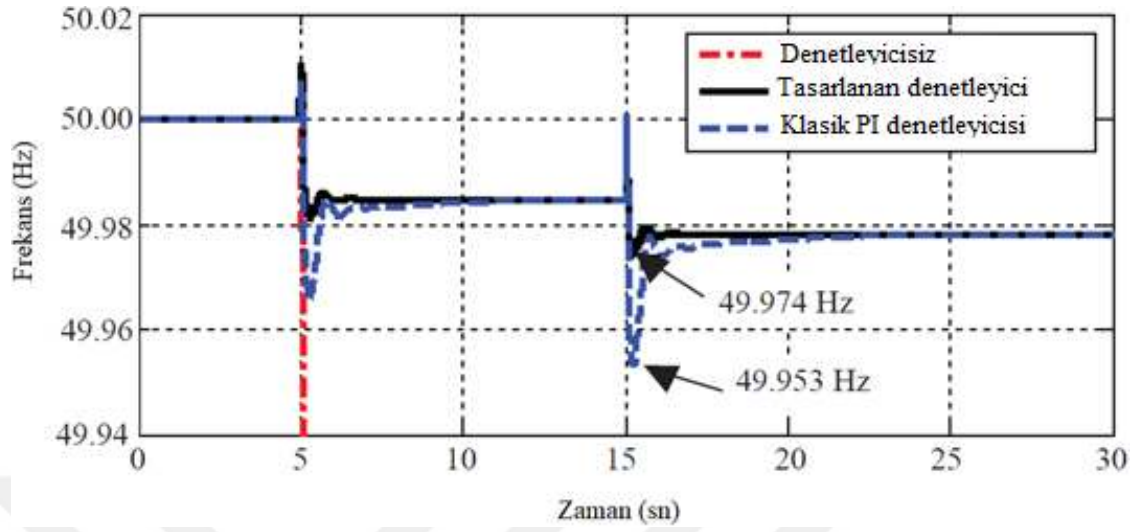
$$K_{q-ESS}(s) = \left[\frac{9.078s+1}{10s+3.33} \right] \left[\frac{3}{2.01s+1} \right] \quad (4.3)$$

Tasarlanan denetleyicinin performans analizini yapabilmek için mikro şebeke ada modda çalıştırılmıştır. Simülasyon 30 sn için denemiştir. Şebeke bağlantılı çalışan mikro şebeke 5. sn' de şebekeden ayrılmıştır. 15. sn' ye kadar bu durumda çalıştırılan sistemde bu andan itibaren hidro jeneratör devreden çıkarılmıştır. Tasarlanan denetleyicileri ile denetlenen mikro şebekenin frekans ve gerilim değişim eğrileri Şekil 4.3 ve 4.4' de verilmiştir. Göz önüne alınan bu bozucu etkilere karşı denetleyiciler frekansı en kötü durumda 49.974 Hz değerinde gerilimi ise 1.003 p.u. değerinde tutabilmeyi başarmıştır.

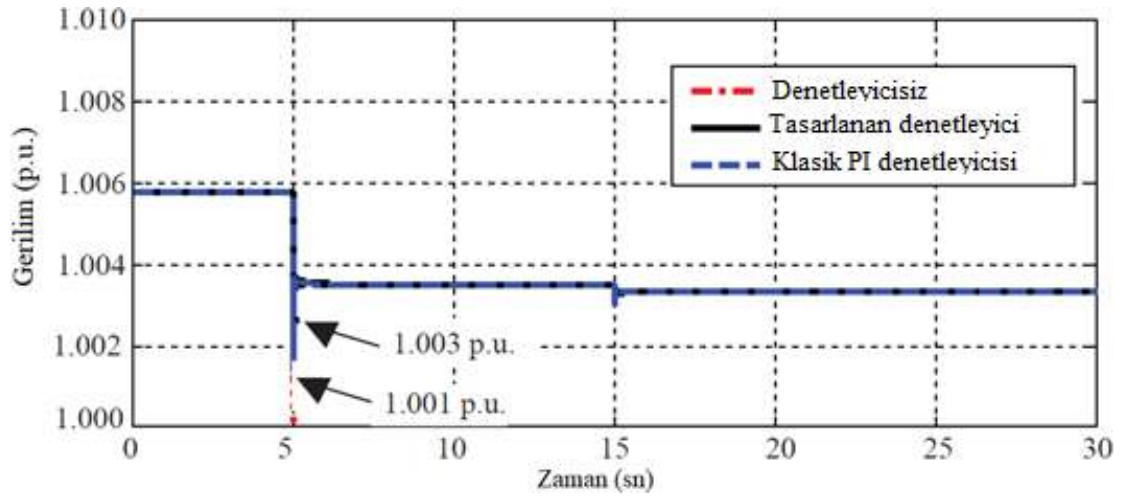
Ayrıca tasarlanan denetleyicinin performans analizi PV panel ve dizel jeneratörün devre dışı bırakıldığı durumlar için de test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Şekil 4.5 ve 4.6'da verilmiştir. PV panel ve dizel jeneratörün devre dışı bırakıldığı durumlara ait frekans değişimleri Şekil 4.5' de gerilim değişimleri ise değişimleri Şekil 4.6' da gösterilmiştir.

Bu son seneryoda mikro şebekenin ana şebeke ile bağlantısı 5. sn'de kesilmiş ve sistemin ada modunda çalışması sağlanmıştır. 15. sn'ye kadar sistem ada modunda çalışmasına devam etmiş ve 15-18 sn arasında PV panel devre dışı bırakılmıştır. 18-20.sn arası birinci yükün %50 oranında artırıldığı durum incelenmiştir. Son olarak 20. sn' de dizel jeneratör devre dışı bırakılarak sistem üzerindeki etkisi ve tasarlanan denetleyicinin performansı incelenmiştir. Bu işlem sonrasında denetleyici sayesinde frekans 49.974 Hz değerinde gerilimi ise 1.002 p.u. değerinde tutmayı başarmıştır.

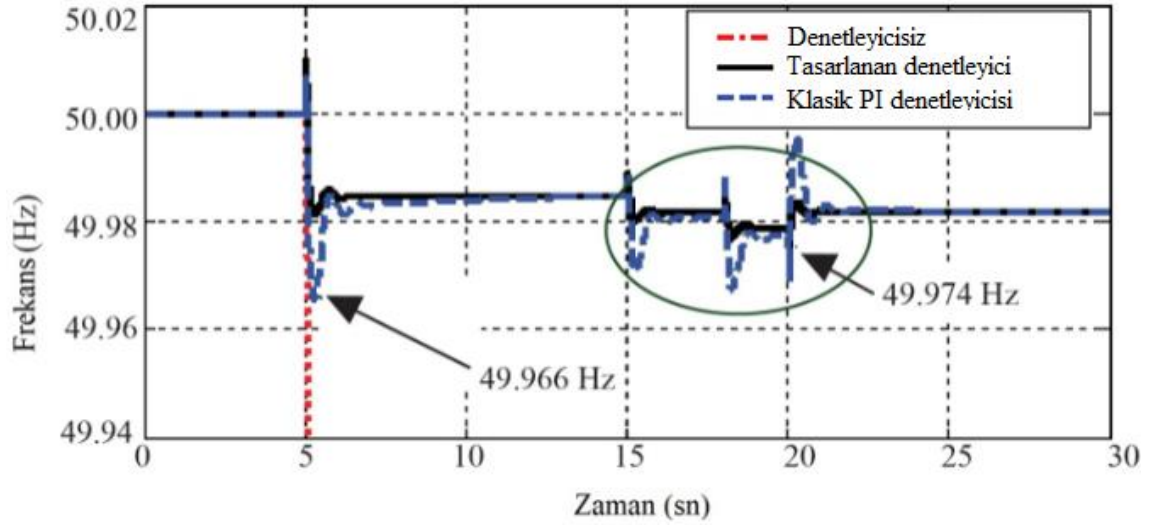
Sonuç olarak tasarlanan denetleyicinin uygulandığı mikro şebeke yapısının ana şebeke ile bağlanıp ayrılması durumlarında meydana gelebilecek gerilim ve frekans dengesizliklerine karşın hızlı ve kabul edilebilir aralıklarda sistemi koruduğu gösterilmiştir. İster hidro jeneratörler ister PV paneller isterse dizel jeneratörlerin devre dışına alınması olsun her durumda denetleyicinin iyi seviyede çalıştığı anlaşılmaktadır.



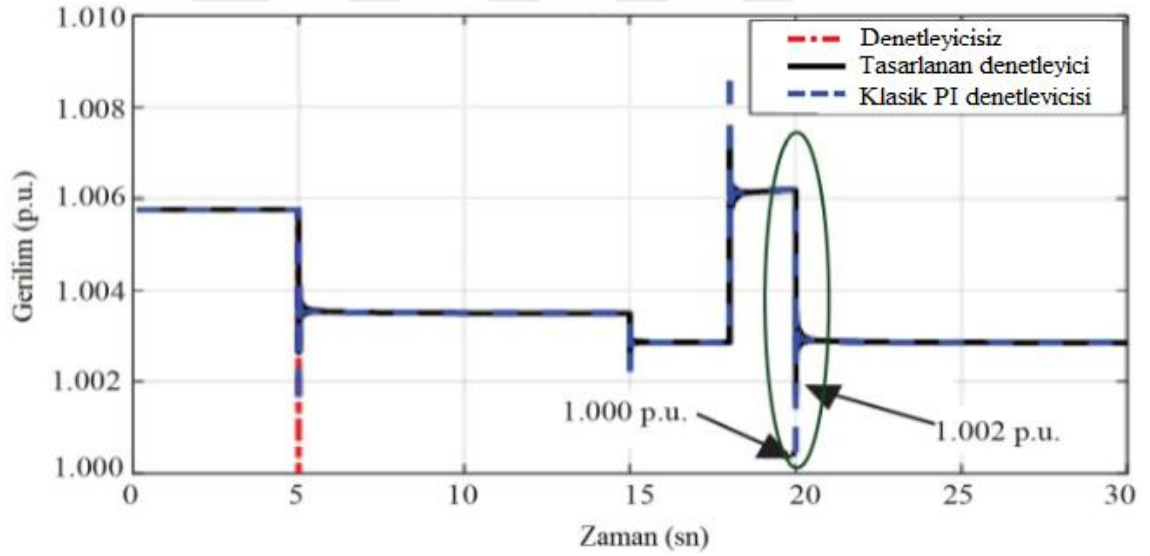
Şekil 4.3. Tasarlanan denetleyicinin hidro jeneratör devre dışı iken sistem frekansını denetlemeye etkisi.



Şekil 4.4. Tasarlanan denetleyicinin hidro jeneratör devre dışı iken sistem gerilimini denetlemeye etkisi.



Şekil 4.5. Tasarlanan denetleyicinin PV panel ve dizel jeneratör devre dışı iken sistem frekansını denetlemeye etkisi.



Şekil 4.6. Tasarlanan denetleyicinin PV panel ve dizel jeneratör devre dışı iken sistem gerilimini denetlemeye etkisi.

5. SONUÇ

Bu çalışmada elektrik şebekeleri detaylı olarak incelenmiş ve şebeke çeşitleri ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Gelişen teknoloji ile elektrik enerji üretiminde her geçen gün gittikçe daha da önem kazanan akıllı şebekelerin bir alt kolu olan mikro şebekeler ayrıca detaylı olarak incelenmiştir. Mikro şebekelerde var olan mevcut problemler ve çözüm yöntemleri literatür taraması ile araştırılmıştır. Önerilen çözüm yöntemleri içerisinde hiyerarşik denetimin oldukça etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Bu sebeple bu çalışma içerisinde bir mikro şebekenin hiyerarşik denetimine yönelik birincil ve ikincil kontrolü için bir gürbüz denetleyici tasarlanmış ve simüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlar tasarlanan denetleyicinin etkinliğini göstermiştir.

Denetleyicinin mikro şebekede devreye alınması ile sistemde oluşabilecek en kötü bozucu etkilere karşın sistem çıkışının kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalması sağlanmıştır.

İlerleyen çalışmalarda daha farklı senaryolar tasarlanacak ve tasarlanan denetleyicinin performans analizleri gerçekleştirilecektir.

KAYNAKLAR

1. Akçin M., Alagöz B.B., Keleş C., Karabiber A. ve Kaygusuz A. (2013) “Dağıtık Kontrol İle Akıllı Şebekelerde Geniş-Alan Yönetimi Ve Geleceğe Dönük Projeksiyonlar”, *SAÜ. Fen Bilimleri Dergisi* 17. Cilt, 3. Sayı, s. 457-470.
2. Bayındır R., Kabalci E., Hossain E. and Perez R. (2014) “A Comprehensive Study on Microgrid Technology”, *International Journal of Renewable Energy Research*.
3. Bidram A. and Davoudi A. (2012) “Hierarchical Structure of Microgrids Control System”, *IEEE Transactions On Smart Grid*, VOL. 3, NO. 4, DECEMBER.
4. Blaabjerg F., Teodorescu R., Liserre M. and Timbus A V. (2006) “Overview of Control and Grid Synchronization for Distributed Power Generation Systems”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 53, no. 5, pp.1-12.
5. Bishnu P. B., Iker Diaz de Cerio M., Kurt S.M., Birgitte B.J. and Sumit P. (2018) “Optimum Aggregation and Control of Spatially Distributed Flexible Resources in Smart Grid”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 5, pp. 5311-5322.
6. Ceylan, M., (2012) “Elektrik Enerji Santralleri ve Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımı”. *Seçkin Yayınları* No: 164, 439 s, Ankara.
7. Chandorkar M C., Divan D M. and Adapa R. (1993) “Control of Parallel Connected Inverters in Standalone ac Supply Systems”, *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 29, no.1.
8. Dou C., Zhang Z., Yue D. and Zheng Y. (2017) “MAS-Based Hierarchical Distributed CoordinateControl Strategy Of Virtual Power Source Voltage İn Low-Voltage Microgrid”, *IEEE Access*, vol.5, pp. 11381-11390.
9. De Brabandere K., Vanthournout K., Driesen J., Deconinck G. and Belmans R. (2007) “Control of Microgrids”, *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, pp.1-7
10. Dou C., Zhang Z., Yue D. and Song M. (2017) “Improved Droop Control Based On Virtualimpedance and Virtual Power Source İnlow-Voltage Microgrid”, *IET Generation Transmission & Distribution*, vol. 11, pp. 1046–1054.
11. Elrayyah A., Sozer Y. ve Elbuluk M E. (2014) “Modeling and Control Design of Microgrid-Connected PV-Based Sources”, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 2, no. 4.
12. Gibran A.T., Nelson Leonardo Diaz A., Adriana Carolina L., Juan S.R., Nancy V.C., Josep M.G. and Juan C.V. (2019) “Extended-Optimal-Power-Flow-Based Hierarchical Control for Islanded AC Microgrids”, *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 1, pp. 840-848.

13. Hans C. A., Braun P., Raisch J., Grüne L. and Reincke C.C. (2019) “Hierarchical Distributed Model Predictive Control of Interconnected Microgrids”, *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol. 10, no. 1, pp. 407-416.
14. He C. and Guoqiang H. (2018) “Distributed Nonlinear Hierarchical Control of AC Microgrid via Unreliable Communication”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 2429-2441.
15. İTÜ elektrik mühendisliği Kulübü. “Elektrik Dağıtım Şebekeleri”, <http://emhk.itu.edu.tr/elektrik-dagitim-sebekeleri/> 30.01.2019.
16. Jian H., Jie D., Hao M. and Mo-Yuen C. (2018) “Distributed Adaptive Droop Control for Optimal Power Dispatch in DC Microgrid”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 65, no. 1, pp. 778-789.
17. Katiraei, F. and Iravani, M. R. (2006) “Power management strategies for a microgrid with multiple distributed generation units”, *IEEE Transactions Power Syst.*, C-21(4), pp. 1821-1831.
18. Kaveh D. and Hashem N. (2019) “An Agent-Based Hierarchical Bargaining Framework for Power Management of Multiple Cooperative Microgrids”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 10, no. 1, pp. 514-522.
19. Lehn, P.W., Katiraei, F. and Iravani, M.R. (2005) “Micro-grid autonomous operation during and sunsequent to islanding process”, *IEEE Transactions Power Delivery*, C-20(1), pp. 248-257.
20. Lingyu R. and Peng Z. (2018) “Generalized Microgrid Power Flow”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 4, pp. 3911-3913.
21. Mehmet H. C., Tarek Y. and Osama A. M. (2018) “Development and Application of a Real-Time Testbed for Multiagent System Interoperability: A Case Study on Hierarchical Microgrid Control”, *IEEE Transactions on Smart Grid*, vol. 9, no. 3, pp. 1759-1768.
22. Meng L., Savaghebi M., Andrade F., Vasquez J C., Guerrero J. M. and Graells M. (2015) “Microgrid Central Controller Development and Hierarchical Control Implementation in the Intelligent MicroGrid Lab of Aalborg University”, *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC)*, pp. 2585 – 2592.
23. Meng L., Shafiee Q., Trecate G F., Karimi H., Fulwani D., Lu X. and Guerrero J M. (2017) “Review on Control of DC Microgrids and Multiple Microgrid Clusters”, *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics In Power Electronics*, vol. 5, no. 3.

24. Mojica-Nava E., Macana C A. and Quijano N.(2014) “Dynamic Population Games for Optimal Dispatch on Hierarchical Microgrid Control”, **IEEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics: Systems**, vol. 44, no. 3.
25. MEB. “ENERJİ İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKELERİ”, <https://hbogm.meb.gov.tr/MTAO/1EnerjiUretimiIletimiVeDagitimi/unite10.pdf>, 30.01.2019.
26. Mingsheng Z., Peilei F., Hesong W. and Pengcheng C.(2018) “Hierarchical Control Strategy for Microgrid”, **IEEE Advanced Information Management,Communicates,Electronic and Automation Control Conference**, pp.1528-1532
27. Özdemir M T.,Yıldırım B., Gülan H.,Gencoğlu M T. ve Cebeci M. (2017) “İzole Bir AA Mikroşebekede Lig Şampiyonası Algoritması İle Optimum Otomatik Üretim Kontrolü”, **Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilim Dergisi 29 (1)**, pp.109-120.
28. Palizban O. and Kauhaniemi K. (2015) “Hierarchical control structure in microgrids with distributed generation: Island and grid-connected mode”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 44, pp. 797-813.
29. Patil C., Thale S., Muchande S. and Kadam A.H.(2017) “A Novel Protection Scheme for DC Microgrid with Hierarchical Control”, **5th IEEE International Conference on Smart Energy Grid Engineering**.
30. Rocabert J., Luna A., Blaabjerg F. and Rodriguez P. (2012) “Control of Power Converters in AC Microgrids”, **IEEE Transactions on Power Electronics**, vol. 27, no. 11.
31. Tang F., Guerrero J.M., Vasquez J.C., Wu D. and Meng L. (2015) “Distributed Active Synchronization Strategy for Microgrid Seamless Reconnection to the Grid Under Unbalance and Harmonic Distortion” **IEEE Transactions on Smart Grid**, vol. 6, no. 6, pp. 2757-2769.
32. Vandoorn T L., Vasquez J C.,Kooning J., Guerrero J M. and Vandevelde L. (2013) “Hierarchical Control and an Overview of the Control and Reserve Management Strategies”, **IEEE Industrial Electronics Magazine**.
33. Zhongwen L., Chuanzhi Z., Peng Z., Haibin Y. and Shuhui L. (2018) ‘Fully Distributed Hierarchical Control of Parallel Grid-Supporting Inverters in Islanded AC Microgrids’, **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, vol. 14, no. 2, pp. 679-690.
34. Wei F., Kai S., Yajuan G., Josep M.G. and Xi X. (2018) “Active Power Quality Improvement Strategy for Grid-Connected Microgrid Based on Hierarchical Control”, **IEEE Transactions On Smart Grid**, vol. 9, no. 4, pp. 3486-3495.

35. Xiangyu W., Laijun C., Chen S., Yin X., Jinghan H. and Chen F. (2018) “Distributed Optimal Operation of Hierarchically Controlled Microgrids”, ***IET Generation, Transmission & Distribution***.
36. Zhou X., Guo T. and Ma Y. (2016) “An Overview on Operation and Control of Microgrid”, ***International Conference on Manufacturing Construction and Energy Engineering***, pp.223-229.



ÖZGEÇMİŞ

1992’de Erzurum’da doğdu. İlköğrenimini ve ortaöğrenimini Erzurum’da tamamladı. 2011 yılında başladığı Erzurum Atatürk Üniversitesi Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümünden 2016’da mezun oldu. 2016’da Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında lisansüstü eğitim için hak kazandı ve halen devam etmektedir.

