



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

**DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİNİN
ŞEBEKEYE ENTEGRASYONUNUN ÖNÜNDEKİ
ENGELLER VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI**

Nezir YEŞİLYURT

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Şubat-2021

BATMAN

Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Nezir YEŞİLYURT tarafından hazırlanan “**Dağıtık Üretim Tesislerinin Şebekeye Entegrasyonunun Önündeki Engeller ve Çözüm Yaklaşımları**” adlı tez çalışması **15/02/2021** tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yenilenebilir Enerji Sistemleri Ana Bilim Dalı’nda “YÜKSEK LİSANS TEZİ” olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ

.....

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU

.....

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Reşat ÇELİKEL

.....

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Şahnaz TİĞREK

FBE MÜDÜRÜ

TEZ BİLDİRİMİ

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

DECLARATION PAGE

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

İmza

Nezir YEŞİLYURT

15.02.2021

ÖZET

YÜKSEK LİSANS

DAĞITIK ÜRETİM TESİSLERİNİN ŞEBEKEYE ENTEGRASYONUNUN ÖNÜNDEKİ ENGELLER VE ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Nezir YEŞİLYURT

Batman Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yenilenebilir Enerji Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU

2021, 61 Sayfa

Jüri

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet ÜSTÜNDAĞ

Dr. Öğr. Üyesi Reşat ÇELİKEL

Güneş enerjisine dayalı ve dağıtım sistemine gömülü enerji üretim tesisleri, son yıllarda artan bir ivmeyle yaygınlaşmakta ve bu durum teknik, ticari kısıtları veya problemleri de beraberinde getirmektedir. Özellikle, tüketim-üretim dengesinin bozulduğu noktalarda gün içerisinde aşırı gerilim problemlerinin yaşanması söz konusu olmaktadır. Regülasyon değişiklikleri ve teknolojinin gelişimi dikkate alındığında bu problemlerin önümüzdeki yıllarda daha fazla hissedileceği öngörülmektedir. Bu tez çalışması kapsamında hızla yaygınlaşan dağıtık üretimlerden kaynaklı problemler ve çözüm yaklaşımlarına dair kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Dağıtık Üretim, Yenilenebilir Enerji, Fotovoltaik Enerji, Şebeke Entegrasyonu

ABSTRACT

MS THESIS

**OBSTACLES AND SOLUTION APPROACHES
TO THE COMMON GRID INTEGRATION
OF DISTRIBUTED GENERATION FACILITIES**

Nezir YEŞİLYURT

**THE GRADUATE SCHOOL OF
NATURAL AND APPLIED SCIENCE OF
BATMAN UNIVERSITY**

RENEWABLE ENERGY SYSTEMS DEPARTMENT

Advisor: Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU

2021, 61 Pages

Jury

Advisor Asst. Prof. Dr. Ahmet GÜNDOĞDU

Asst. Prof. Dr. Mehmet ÜSTÜNDAĞ

Asst. Prof. Dr. Reşat ÇELİKEL

Power generation facilities based on solar energy and embedded in the distribution system have become widespread in recent years with an increasing momentum and this situation brings technical and commercial constraints or problems. Especially at points where the consumption-production balance is disturbed, excessive voltage problems occur during the day. Considering the regulation changes and the development of technology, it is predicted that these problems will be felt more in the coming years. Within the scope of this thesis, a comprehensive literature review has been carried out on the problems and solution approaches arising from the rapidly spreading distributed generation.

Keywords: Distributed Generation, Renewable Energy, Photovoltaic Energy, Grid Integration.

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans eğitimimin her safhasında yardımlarını eksik etmeyen ve tez proje konusunun belirlenmesinde olduğu gibi diğer aşamalar da yardımını esirgemeyen, değerli danışman hocam **Dr. Öğr. Üyesi Ahmet GÜNDOĞDU**' ya teşekkür ederim.

Çalışmalarında manevi desteğini ve hoşgörüsünü benden esirgemeyen eşime ve çocuklarıma teşekkür ederim.

Nezir YEŞİLYURT
BATMAN-2021

İÇİNDEKİLER

ÖZET	IV
ABSTRACT.....	V
ÖNSÖZ	VI
1. GİRİŞ.....	1
2. ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN GELİŞİMİ.....	3
2.1 Geleneksel Şebeke Sistemleri.....	3
2.2 Dağıtık Şebeke Sistemleri.....	5
2.2.1. Dağıtık Üretim Kaynakları.....	6
3. DAĞITIK ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ.....	7
3.1 Fotovoltaik Sistemler	7
3.1.1 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensibi	7
3.2 Rüzgâr Türbinleri.....	9
3.2.1 Rüzgâr Türbinlerinin ve Sınıflandırılması	10
3.3 Yakıt Hücreleri	11
4. DAĞITIK ÜRETİMİN ÖNÜNDEKİ ENGELLER.....	16
4.1 Sistem Güvenilirliği	16
4.2 Güç Kalitesi	18
4.3 Veri Yönetimi	20
4.4 Enerji Depolama	20
4.5 Elektrikli Araçlar-EA.....	21
4.6 Çatı ve Bina Tipi Fotovoltaik Sistemler.....	22
4.7. Akıllı Sayaçlar	22

4.8 Enerji Verimliliği	23
4.9 İmar Mevzuatı.....	23
5. YENİLİKÇİ ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI	24
5.1 Akıllı Şebekeler	24
5.1.1 Akıllı Şebeke Teknolojisi ve Bileşenleri.....	25
5.2 Akıllı Şebeke Yapısı	28
5.3 Mikro Şebeke.....	30
5.4 Mikro Şebeke Yapıları	31
5.5 Mikro Şebeke Tasarımı	33
5.6 Sanal Güç Konsepti	34
5.7 Sanal Elektrik Güç Konsepti Modeli	34
5.8 Verilerin Saha Koşullarına Aktarılması.....	35
6. DÜNYA VE TÜRKİYE UYGULAMA ÖRNEKLERİ	37
6.1 FREEDM Projesi	37
6.2 Dijital Şebeke Projesi.....	39
6.3 E-Enerji Projesi.....	40
6.4 Pan Energy Net / Global Energy Internet Projeleri	40
6.5 Türkiye Akıllı Şebeke Politikası	42
7. SONUÇ	42
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	53

1. GİRİŞ

Enerji kaynaklarını olumsuz etkileyen ana problemler ilk olarak artan enerji talebi ve krizleri, ikinci olarak artan karbon emisyonları ve küresel ısınmadır. Bu sorunlara karşı yapılacak en uygulanabilir yöntem geleneksel şebekeleri; dağıtık üretim kaynaklarına ve depolama birimlerine uygun hale getirmektir. Buradaki en önemli problem çok sayıdaki dağıtık üretim teknolojisinin kontrol ve düzenlemelerinin geleneksel şebekeye entegrasyonundaki zorluktur. Ayrıca güvenilirlik, güvenlik ve güç kalitesi gibi farklı problemler de mevcuttur (Qing,2014). Bu problemler enerji sektörünün verimliliğini doğrudan etkileyen faktörlerdir. Mevcut ulusal şebeke sistemimiz ile dağıtık üretim teknolojilerinin getirmiş olduğu yeni konsept enerji anlayışını hayata geçirmek zordur. Bu bakımdan dağıtık üretim kaynaklarını, enerji internet konsepti ve akıllı şebeke teknolojileri kullanarak web bağlantısıyla birbirine bağlamak bir çözüm olarak sunulabilir. 2011 yılında Jersey Rifkin yeni bir konsept olarak bu çözüm yaklaşımını “*3.Sanayi Devrimi*” adlı kitabında anlatmış ve yaygın olarak kabul görmüştür (Rifkin,2011). Rifkin’in çözüm önerileri şu faydaları sağlamaktadır:

- Yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlara göre verimli kullanımı,
- Merkezi olmayan enerji üretimi, iletimi ve dağıtımı,
- Modern bilgi teknolojileri ile enerji dağıtım hatlarının entegrasyonun sağlanması,
- Çift yönlü veri akışı

Yeni nesil dağıtık üretim enerji kaynaklarının entegrasyonu ile akıllı dağıtım şebekeleri yaygınlık kazanmıştır. Günümüzde enerji internet konsepti sayesinde güç elektroniği ve haberleşme teknolojileri birlikte kullanılarak dağıtık üretim kaynaklarında çift yönlü veri alışverişi sağlanmış geleneksel şebekelere entegrasyonu gerçekleştirilmiştir (Wang,2018; Cao ve Yang,2013). Dağıtık üretim teknolojilerinin entegrasyonunda enerji yönlendiriciler (Routers) ve güç elektroniği ekipmanları yaygın olarak kullanılmaktadır (Wang ve ark.,2017). Böylece fosil tabanlı yakıtlardan yenilenebilir enerji kaynaklarına dönüşüm sağlanmış olur (Wang,2018). Yeni nesil akıllı şebeke teknolojileri sayesinde mevcut şebekelerin güvenilirliği ve verimliliği artmış olur (Qing,2014). Mevcut enerji sistemlerinin geçmişi, bugünü ve geleceği şekil 1’de temsili olarak gösterilmiştir.



Şekil 1 Enerji Sistemlerinin geçmişi, bugünü ve geleceği

Artan enerji talebini karşılamak için enerji sektöründe her zaman iyileştirmelere gidilmektedir. Son yüzyılda, güç sistemleri büyük bir değişime uğrayarak geleneksel sistemlerden akıllı şebekelere evrilmiş ve gelecekte de enerji internet konseptine geçiş yapması beklenmektedir. Geleneksel şebeke ile dağıtık üretimin şebekeye entegrasyonunu kolaylaştıracak olan enerji internet konseptinin özellikleri ve farklılıkları aşağıda özetlenmiştir (Shaukat, 2018; Yuan ve ark. 2014).

Geleneksel Şebeke

- Elektromekanik
- Tek yönlü haberleşme
- Merkezi üretim
- Hiyerarşik yapı
- Manuel onarım
- Sınırlı kontrol
- Az sayıda müşteri opsiyonu

Enerji İnternet Konsepti

- Digital
- Çift yönlü haberleşme
- Dağıtık üretim
- Network
- Kendi kendini onarım
- Yaygın kontrol ağı
- Çok sayıda müşteri opsiyonu

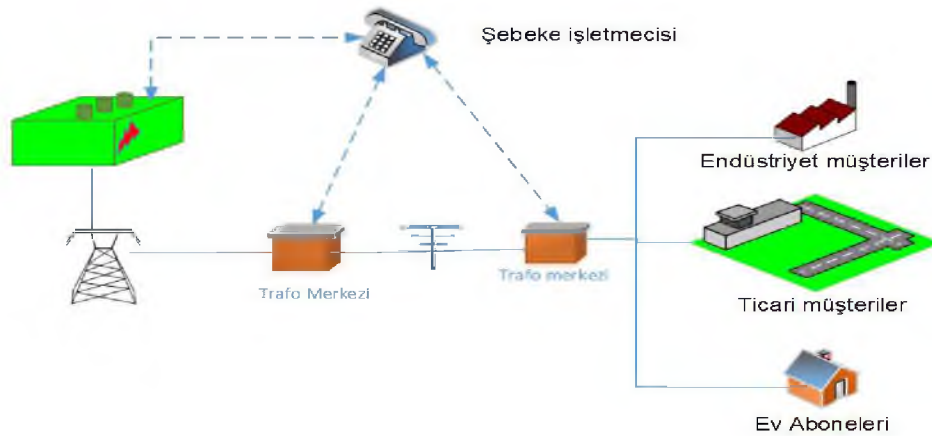
Yeni nesil enerji şebeke sistemine geçiş ile ilgili olarak ülkelerin yürüttükleri farklı pek çok proje vardır. Örnek olarak kaynak (Huang ve ark. 2011)'da, A.Q Huang Ulusal Bilim Kuruluşu tarafından Amerika adına yürütülen *FREEDM* projesini açıklamıştır. Kendisi akıllı bir şebeke ağı için gerekli olan teknolojileri açıklamıştır. Kaynak (Abe ve ark. 2011)'da Dr.R.Abe tarafından, Japonya için tasarlanmış diğer bir konsept olan *Dijital Şebeke* açıklanmıştır. Bu konsept dijital yönlendirici, dijital hücreler ve dijital kontrolcü gibi ana bileşenlerden oluşmaktadır. (Zhou ve ark. 2016)'de K.Zhou, enerji internet yönetimine 5 farklı ticari perspektiften yaklaşmış ve detaylarını açıklamıştır. Elektrikli araçların şebekeye bağlanması kablosuz ağ ile sağlanmış ve bu sayede elektrikli araç entegrasyonu gerçekleştirilmiştir (Yi ve ark.2012;Mahmud ve ark. 2018). (Öztürk,2013)'de şarj istasyonlarının yerleşim yerlerinin optimizasyonu için difüzyon yöntemi ve algoritmalarından oluşan 2 farklı çözüm yöntemi geliştirilmiştir.

2. ELEKTRİK ŞEBEKELERİNİN GELİŞİMİ

Şebeke terimi genellikle elektrik sistemleri için kullanılmaktadır. Geleneksel elektrik şebeke sistemleri üretim, iletim, dağıtım ve kontrol kısımlarından oluşur. Şebekenin öncelikli görevi elektriği üretim noktasında üretmek ve iletim hatlarını kullanarak ihtiyaç sahibi kullanıcılara dağıtım hatları aracılığıyla ulaştırmaktır (Fang,2012). Banerjee kaynak (Banerjee,2011)'de, geleneksel şebeke kavramını şu şekilde açıklamıştır: Geleneksel şebekeler kapsamlı miktarlarda elektrik üretimi, pasif yükler, merkezi ve tek yönlü kontrol üzerine inşa edilmiştir. Dünyada elektrik şebekelerinin ve güç sağlayıcı sistemlerinin büyük çoğunluğu elektrik maliyetleri göreceli olarak düştüğünde hayata geçirilmiştir. Şu anki elektrik şebekeleri bundan 100 sene evvelki şekliyle çalışmakta ve o günden bugüne iyileştirmeler yapılarak artan talebi karşılamaktadır. Kaynak (Hossain,2013)'da geleneksel şebeke sisteminin gelecekteki artan enerji talebine yeteri kadar cevap veremeyeceği bildirilmiştir. Geleneksel ve dağıtık şebeke sistemleri aşağıdaki alt başlıklarda ayrıca açıklanmıştır.

2.1 Geleneksel Şebeke Sistemleri

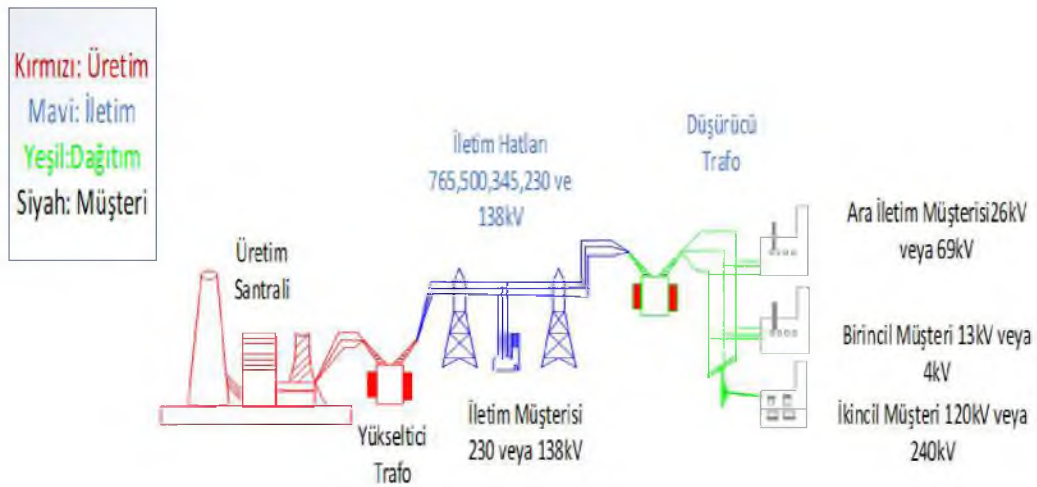
Banerjee (Farhangi,2010) ve diğer araştırmacılar tarafından, 2000'li yılların başında geleneksel şebekeleri kurmak ve şekillendirmek üzere çeşitli sistem tasarımları ve organizasyonel prensipler geliştirildi. Fakat geliştirilen bu şebekelerin dijital ekonomi, düşük karbon salınımı ve çevre dostu üretim için yeniden yapılandırılması gerekmektedir. Geleneksel şebeke sistemi; büyük ölçekli üretim, pasif yükler, sınırlı enerji depolama kapasitesi, sınırlı geri-bildirim bilgisi ve uzak bölgelerde ikamet eden kullanıcılardan oluşmaktadır. Geleneksel bir elektrik şebeke yapısı şekil 2.1'de gösterilmiştir (Banerjee,2011).



Şekil 2.1 Geleneksel bir elektrik şebeke sistemi.

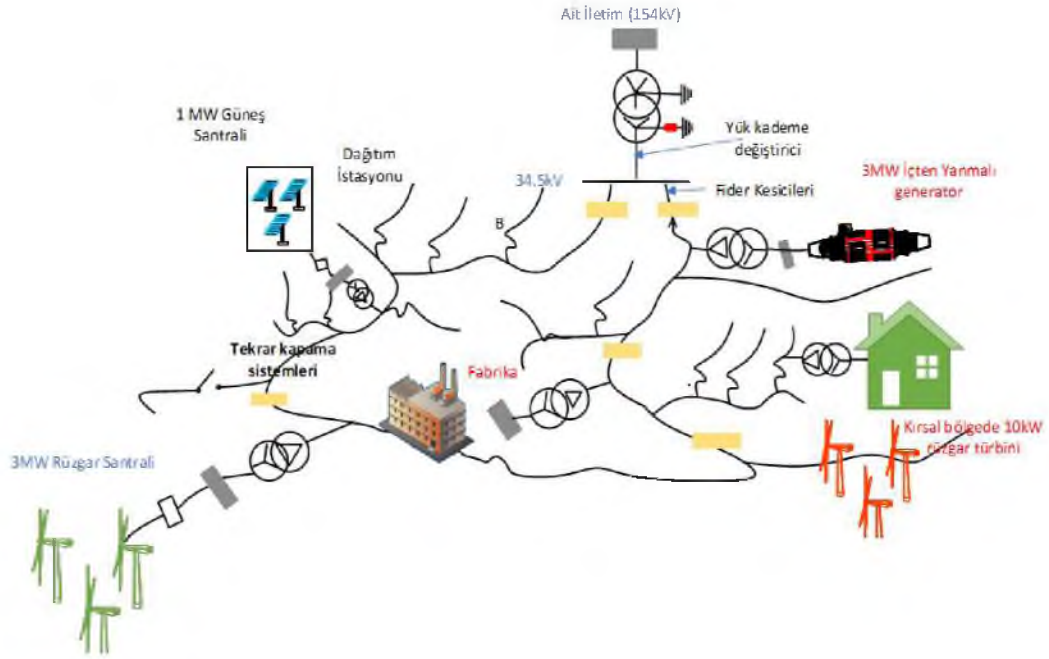
Yapılan son çalışmalar akıllı şebeke sistemlerinin tamamıyla esnek ve hızlı çalışma prensibine sahip olduklarını göstermektedir. Şöyle ki enerji kaynakları ve şebeke yöneticileri, akıllı şebeke sistemi içerisinde eş zamanlı olarak çalışabilmektedir. Bu akıllı şebeke sayesinde iletim hattında meydana gelen problemler hızlı bir şekilde saptanıp çözüme kavuşturulabilmekte ve ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonu sağlanabilmektedir. Ayrıca akıllı şebeke sistemleri siber güvenliğin sağlanmasında ve fiziksel tehditlerin azaltılmasında önemli rol oynayabilir, müşteri ihtiyaçlarına ve talebe göre şebekeyi yönetebilir (Banerjee,2011).

Geleneksel şebeke sistemleri karakteristiklerine göre farklı şekillerde analiz edilmiştir. Şekil 2.2’de gösterildiği gibi, geleneksel şebeke sistemleri hiyerarşik sıralı bir üretim, iletim ve dağıtım alt birimlerine sahiptir (Banerjee,2011). Bu sisteme göre merkezi enerji üretimi, elektrik üretim sürecinin en merkezinde yer alırken, enerjinin son kullanıcı olan müşterilere ulaştırılması bu hiyerarşik düzenin son aşamasında yer alır [Farhangi,2010]. Geleneksel şebeke sistemleri doğaları gereği iki yönlü haberleşme değil tek yönlü haberleşme kanalına sahiptirler. Elektrik kesintisi gibi acil durumlarda kaynak tarafının anlık bilgisi olmamaktadır. Ayrıca eğer şebeke tahmin edilen yükten fazlasına maruz kalırsa bu fazla yükü taşıyamaz. Bu nedenden dolayı geleneksel şebeke sistemleri bütünsel olarak etkisiz sistemlerdir. Etkisiz altyapı sorunundan ve talep tarafındaki ciddi artıştan dolayı bu sistemler yetersiz kalmakta ve şebekenin kararlı olamamasına neden olmaktadır. Ayrıca olarak dağıtım şebekesindeki gerilim seviyesindeki dalgalanmalar sebebiyle şebekede meydana gelen arıza ve problemler, dağıtım sisteminin etkisiz kalmasına ve büyük ölçekli enerji kesintilerine neden olabilmektedir.



2.2 Dağıtık Şebeke Sistemleri

Dağıtık üretim, isminden de anlaşılacağı üzere dağıtılmış ya da karıştırılmış üretim şekli olarak da adlandırılır. Dağıtık üretimde kullanılan üretim kaynakları, genelde doğrudan iletim hattına bağlanmayıp üretilen enerji dağıtım seviyesinden şebekeye yollanmaktadır (anonymous,2012). Dağıtık üretim kaynaklarına rüzgâr türbinleri, fotovoltaik paneller, dizel ve doğal gaz jeneratörleri, enerji depolama birimleri, yakıt pilleri ve mikrotirbünler örnek olarak verilebilir (IEEE,2008). Bu dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye entegrasyonu şekil 2.3 de gösterilmiştir (Uzun,2015).



Şekil 2.3 Dağıtık üretim kaynakları ve şebekeye entegrasyonu

Dağıtık üretimde kombine gaz çevrim türbinleri göze ilk çarpan üretim kaynağıdır. Elektriksel güç ve kombine ısı yapısında olan bu gaz türbinleri genelde endüstriyel tesislerde kullanılmaktadır (anonymous,2012). Fosil kaynaklı yakıtların bir gün biteceği tahmin edildiğinden yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi hızla artmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynağı açısından da anlaşılacağı üzere kendi kendini yenileyen ve dünya var oldukça kendini koruyacak bir enerji kaynağıdır. Yani sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır. Bu avantajlarından dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan dağıtık üretim santralleri de hızla yaygınlaşmaktadır. Dağıtık üretim sistemlerinin çoğalmasının bir diğer başlıca sebebi de minimum seviyede iletim ve dağıtım kayıplarına sahip olmasıdır. Bu avantajlarından dolayı dağıtık üretim sistemleri iletim maliyetlerini ciddi anlamda düşürmektedir (Anonymous,2012).

2.2.1. Dağıtık Üretim Kaynakları

Dağıtık üretim kaynakları, yenilenebilir tabanlı enerji ve fosil tabanlı enerji kaynakları olmak üzere 2 farklı şekilde incelenebilir. Fosil tabanlı enerji kaynaklarını kullanan dağıtık üretim kaynakları sırayla gaz türbinleri ve yakıt türbinleridir. Yenilenebilir tabanlı üretim kaynakları kullanan dağıtık üretim sistemleri ise biyoyakıt, hidroelektrik, rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi teknolojileri ve jeotermal enerji kaynakları olarak gösterilebilir.

Yukarıda sıralanmış olan yenilenebilir enerji kaynaklarından jeotermal ve biyoyakıt türlerinin günümüzde kullanılmasının yanı sıra gelecekte de kullanılacağı çok açıktır. Hem ülkemizde hem de dünyada enerji talebinin büyük bir çoğunluğu hidroelektrik enerji kullanılarak karşılanmaktadır.

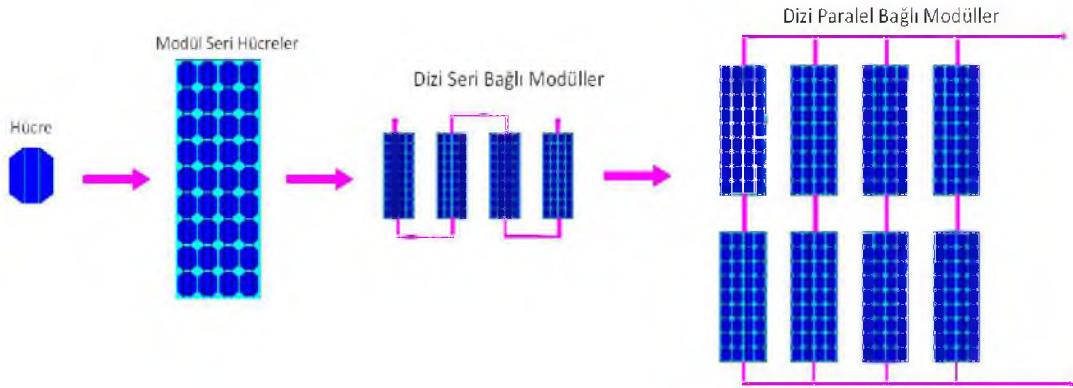
Diğer taraftan yarı iletken malzeme alanındaki gelişmeler neticesinde fotovoltaik güneş teknolojileri ilerleme kaydetmiş ve pv panellerinde dağıtık üretim türleri arasında yerini almıştır. PV panellerin yanı sıra yenilenebilir enerji kaynakları arasında apayrı bir yere ve parlak bir geleceğe sahip olan rüzgâr enerjisi ise önemini gün geçtikçe daha da artırmış ve dağıtık üretim sistemlerinin en önemli kaynağı haline gelmiştir.

3. DAĞITIK ÜRETİM TEKNOLOJİLERİ

Son yıllarda geleneksel elektrik şebekelerine büyük miktarda yenilenebilir enerji kaynaklı tesisler entegre edilmiştir (Jenkins,2010). Bu elektrik üretim tesislerinden bazıları hali hazırda mevcut olan rüzgâr, fotovoltaik panel, hidroelektrik ve kojenerasyon üretim teknolojilerini kullanmaktadır. Bundan başka çok daha yeni teknolojiler olan yakıt pilleri, solar termal, mikrotirbünler ve biokütle üretim kaynakları da ayrıca kullanılmaktadır. Öte yandan volan, batarya ve süper kapasitörler gibi yeni enerji depolama teknolojileri de geliştirilmeye devam etmektedir.

3.1 Fotovoltaik Sistemler

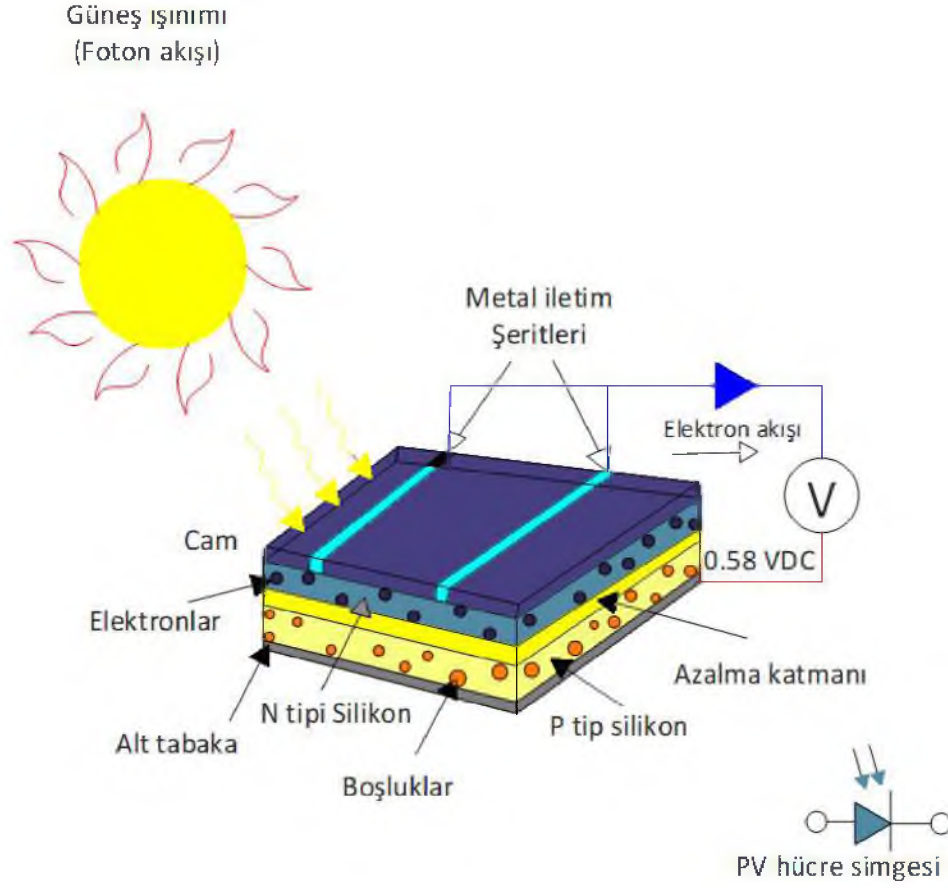
Fotovoltaik sistemler güneşten gelen ışınları doğrudan elektrik enerjisine çevirebilen, hareket eden herhangi bir parçası olmayan, bakımı kolay ve uzun ömürlü sistemlerdir. Yarı iletken teknolojisine sahip olan bu fotovoltaik hücreler güneş enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Şekil 3.1’de gösterildiği gibi hücreler modülleri, modüller panelleri, paneller ise dizileri oluşturmaktadır (Dündar, 2018).



Şekil 3.1 Pv hücre yapısı modül bağlantısı ve dizi tasarımları [20]

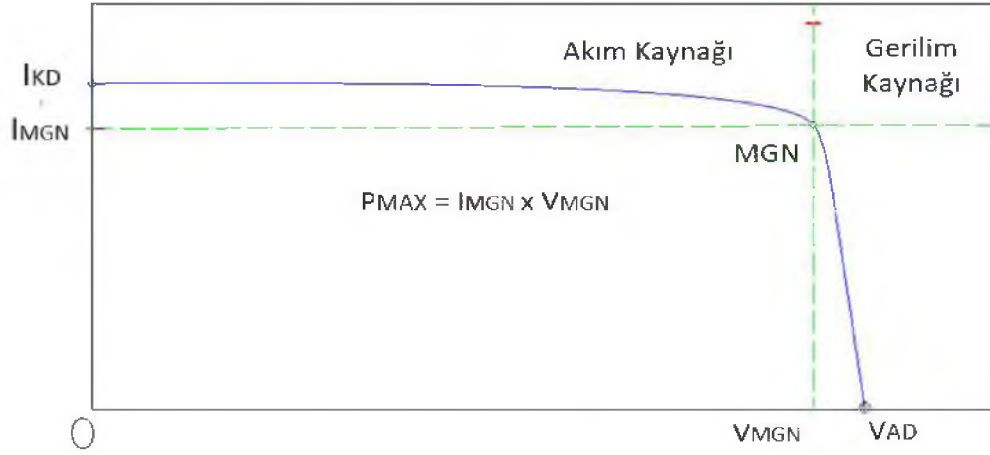
3.1.1 Fotovoltaik Hücrelerin Yapısı ve Çalışma Prensibi

Fotovoltaik hücre, bir yarı iletken diyot olarak çalışmakta ve güneşten gelen fotonları şekil 3.2’de gösterildiği gibi fotoelektrik reaksiyona sokarak doğrudan elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Fotovoltaik hücrelerinin yapısına bağlı olarak bir güneş paneli %5 ila %20 arasında bir verime sahiptir. Fotovoltaik hücrelerin yüzey yapıları genelde dikdörtgen, kare ya da daire şeklindedir. Alan olarak ortalama 100 cm² dir. Kalınlık olarak da 0.2-0.4 mm aralığındadır. Yüksek güç çıkışı elde etmek amacıyla birçok fotovoltaik hücre paralel veya seri bağlanarak uygun bir zemin üzerine monte edilir. Bu şekilde paneller elde edilir.



Şekil 3.2 Fotovoltaik hücrenin çalışma prensibi

Güneş ışınımı fotonların akışı olarak ifade edilebilir. Bu fotonlar farklı dalga boylarına sahip değişik miktarlarda enerji içerirler. Bu fotonlar yüzeye çarptığında bir kısmı fotovoltaik hücre tarafından soğurulur ve bir kısmı da yansıtılır. Fotovoltaik hücrelerin soğurduğu bu fotonlar elektrik enerjisi üretirler. Şekil 3.2’de görüldüğü gibi güneşten gelen fotonların fotovoltaik hücredeki silikon gibi yarı iletken malzemeye çarpıp atomlarındaki elektronları serbest bırakmasıyla elektrik enerjisi üretilir. Fotovoltaik hücreler 1839 yılında ilk kez Becquerel tarafından araştırılmıştır (Öztürk, 2008; Öztürk ve Kaya, 2013). Fotovoltaik hücrenin enerji üretimi güneş ışınımına, sıcaklığa, yüzey alanına ve güneş ışınlarının geliş açısı olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Şekil 3.3’te bir fotovoltaik hücrenin akım-gerilim eğrisi verilmiştir.



Şekil 3.3 Fotovoltaik hücrenin I-V ile P-V eğrileri.

Şekil 3.3'te, V_{AD} hücrenin açık devre gerilimini, I_{KD} kısa devre akımını, V_{MGN} ile I_{MGN} maksimum güç noktasındaki gerilimi ve akımı, MGN ise maksimum güç noktasını ifade etmektedir (Arora ve Hauser, 1982).

3.2 Rüzgâr Türbinleri

Popüler bir enerji kaynağı olması ve bol bulunması nedeniyle rüzgâr enerjisi, enerji üretimi noktasında büyük fırsatlar sunmaktadır. Rüzgâr türbinleri döner kanatları sayesinde rüzgârın dönme kuvvetini kullanarak mekanik enerjiyi kinetik enerjiye çevirir ve elektrik enerjisi üretirler. İlk rüzgâr değirmenleri milattan önce 200'lü yıllarda İran'da kullanıldı. Kullanılan bu değirmenin adı Sistan idi. Amerika'da 1930'lu yıllarda bu rüzgâr değirmenleri tarım sektöründe topraktan su çıkarmak ve tarım arazilerini sulamak için kullanılıyordu. 1951 yılında ilk şebeke bağlantılı rüzgâr türbini John Brown tarafından tasarlandı. 2014 yılı sonlarına kadar toplam rüzgâr enerjisi kapasitesi yaklaşık olarak 369 GW değerindeydi. Büyük çaptaki rüzgâr türbinleri ile yenilenebilir enerji üretimi için en verimli ve uygulanabilir uygulama yöntemi dağıtık üretim şeklidir. Küçük çaptaki rüzgâr türbinleri ise büyük türbinlerin aksine daha düşük güçte üretim yaparlar. 10 kW'a kadar evsel ihtiyaçlar karşılanabilmektedir. Son yıllarda rüzgâr enerjisi üzerine sayısız çalışmalar yapılmıştır. Bu enerjinin avantajları olduğu kadar dezavantajları da vardır. Örneğin, yüksek kurulum maliyeti, kurulum için uygun arazi etüdü, rüzgârın hızının ve yönünün sürekli değişmesi gibi.

3.2.1 Rüzgâr Türbinlerinin ve Sınıflandırılması

Rüzgâr türbinleri rüzgârdan aldıkları kinetik enerjiyi sırasıyla önce mekanik enerjiye daha sonra da elektrik enerjisine dönüştüren sistemlerdir (El- Khattam,2004). Bir rüzgâr türbini tipik olarak bir kuleden, jeneratörden, dişli kutusundan, elektronik ekipmanlardan ve pervanelerden meydana gelmektedir. Rüzgârdan elde edilen kinetik enerji rotor kısmında mekanik enerjiye çevrilir. Rotor millerinin devri artırılarak jeneratöre aktarılır. Jeneratörün ürettiği elektrik enerjisi ya depolanarak saklanır ya da doğrudan kullanıcılara ulaştırılır (El-Khattam,2004). Türbinler kanat sayılarına, devirlerine, dönme eksenlerine, dişli etkisine ve konumlandırıldıkları yere göre sınıflandırılırlar. Rüzgâr türbinleri dönme eksenlerine göre yatay eksenli, dikey eksenli ve eğik eksenli olmak üzere 3 ana başlıkta toplanırlar. Şekil 3.4'te rüzgâr türbinlerine ait sınıflandırma tablosu verilmiştir (Elibüyük ve Üçgöl, 2014).



Şekil 3.4 Rüzgâr türbinlerinin sınıflandırılması.

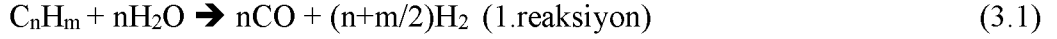
Yatay eksenli türbinlerde dönme açısı rüzgârın esiş yönüne paralel olup kanatlar rüzgârın yönüne dik yöndedir (anonim, 2011). Bu çeşit türbinlerde rotorun kanat sayısı azaldıkça rotor hızı artmaktadır. Yaklaşık verimleri %45 dir. Tipik olarak yer seviyesinden 20-30 m ve çevresel engellerden 10 m yüksekte olacak şekilde konumlandırılmalıdır. Rüzgâr hızının, kanadın ucundaki hızına oranı λ ile ifade edilir ve bu λ oranına göre rotor kanat sayısı belirlenir. Bu oran 1-5 arasındaysa çok kanatlı rotor, 6-8 arasındaysa üç kanatlı rotor ve 9-15 arasındaysa iki kanatlı rotor seçimi yapılır.

Düşey eksenli türbinler, yatay eksendeki pervane görüntüsüne sahip değildir. Çünkü mili düşey yapıdadır. Ticari amaçtan ziyade teorik uygulamalarda tercih edilirler. Zemine yerleştirilebildikleri için kule sistemine gerek kalmamakta, rüzgârın yönüne göre hareket edebildikleri için dümen ihtiyacı olmamaktadır ve ayrıca verimlerinin düşük olduğu bilinmektedir. Darrieus (Özkılınç,2014;anonymous,2014) tip ve Savonius (Kısar,2009;Umut Telekom,2014;Karbonkale,2014) tip olmak üzere farklı çeşitleri bulunmaktadır. Eğik eksenli türbinleri, dönme eksenleri düşey yönle rüzgâr yönünde açı yapan türbinlerdir. Bu türbinlerin kanatları ile dönüş eksenleri arasında belirli açı bulunur (Metaldünyası,2014).

3.3 Yakıt Hücreleri

Doğada atom yapısı olarak en basit şekle sahip olan ve ağırlık başına en yüksek enerjiye sahip olan hidrojen, evrende en çok bulunan element olup bütün gezegen ve yıldızların temel yapı taşı oluşturmaktadır. Hidrojen yakıt olarak kullanılırsa açığa su ya da su buharı çıkarttığından enerji taşıyan bir madde olarak kullanılmasına sıcak bakılmıştır. Hidrojen elementi sayesinde enerjinin farklı noktalara taşınması güvenli bir şekilde yapılabilmektedir. Enerji taşınmasında tercih sebebi olmasının bir diğer nedeni ise yüksek miktarda enerjiye sahip olmasıdır. Sanayi alanında da enerji ihtiyacının hızla artması, bilim insanlarını farklı alternatiflere yöneltmiş ve yakıt pilleri üzerine çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Hidrojen bu ihtiyacı çözebilecek önemli ve temiz bir enerji taşıma yöntemidir. Saf hidrojen normal bir bataryadan 236 kat daha fazla enerji yoğunluğuna sahiptir. Yakıt pilleri hidrojeni %50 verimle elektrokimyasal olarak elektrik enerjisine dönüştüren teknolojilerdir. İlk yakıt pili William Grove tarafından 1838 yılında icat edilmiştir. NASA, 1958 yılında uzay programlarını yürüttüğü sırada Apollo, Gemini, Space Shuttle uzay araçlarının yakıtı olarak da yakıt pillerini kullanmıştır. Günümüzde büyük bir öneme sahip olan yakıt pilleri için hidrojen üretimi ayrı bir önem kazanmıştır. Metanın buhara tabi tutularak hidrojen elde etme yöntemi, günümüzde en yaygın hidrojen üretme yöntemidir. Bu üretim şekli iki aşamalıdır. Birinci aşamada doğal gaz 392⁰C’de buhara maruz bırakılır ve sırayla hidrojen, karbondiosit ve karbonmonoksit elde edilir. İkinci aşamada ise elde edilen karbonmonoksit tekrar buhara maruz bırakılarak ek hidrojen ve karbondioksit açığa çıkar.

Hidrojen üretiminde %70-%90 ile en yüksek verim alınan yöntem olup uygulanan prosesin kimyasal formülü aşağıdaki gibidir.



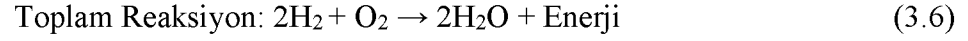
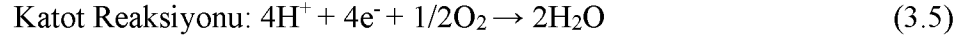
Birinci reaksiyonda metan buharla reformasyona girmiştir. Bu reaksiyon, ısı alan ve tersinir bir reaksiyondur. Bu reaksiyonda yüksek hidrojen dönüşümü sağlamak için yüksek sıcaklık ve düşük basınç gerekmektedir. Metanın genel reaksiyonu ise aşağıdaki gibidir.



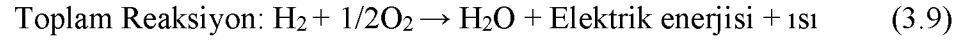
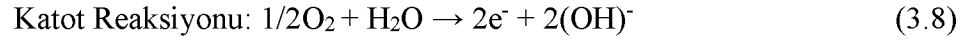
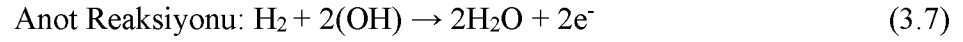
Hidrojen genel olarak hidrokarbonlar ve sudan elde edilir. Hidrokarbonların bu üretime katkısı %95 civarında olup üretim sonucunda CO₂ de çıkmakta ve atmosfere zararlı olduğu bilinen sera gazlarını yaymaktadır. Hidrokarbonlar sınırlı olduğu için ilerleyen zamanlarda hidrojen eldesi sudan olacak olup üretim teknolojilerinin bu doğrultuda geliştirilmesi gerekmektedir. Yakıt pili teknolojisi askeri, uzay, sabit ve taşınabilir güç ve ulaşım uygulamalarında kullanılabilir. Tüm yakıt pili tipleri yakıt olarak saf hidrojen gerektirmektedir. Hidrojen ise birçok farklı yoldan ve yakıt kaynağından üretilmektedir. Bunların başında suyun elektrolizi ile doğal gaz veya alkol gibi hidrokarbon yakıtlardan yakıt işleme yöntemi gelmektedir. Birtakım yakıt pilleri halen geliştirilmektedir. Bunlar genellikle kullanılan elektrolit tipine göre sınıflandırılmaktadır. Başlıca yakıt pili türleri Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC), Alkali Yakıt Pili (AFC), Erimiş Karbonat Yakıt Pili (MCFC), Polimer Elektrolit Yakıt Pili ve Katı Oksitli Yakıt Pili (SOFC)'dir (Avcı, 2012).

Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC): Bu yakıt pilinde fosforik asit elektrolit olarak kullanılırken platinyum genelde katalizör olarak kullanılır. PAFC okul, hastane, otel gibi birçok alanda kullanılmakta olup %40 verime ve 400°C çalışma sıcaklığına sahiptirler. Fosforik asit yakıt pilinin prensibi şekil 3.5-a'da verilmiştir (Kavas, 2008). Bu yakıt pilinin güç yoğunluğu diğerlerine göre daha azdır. Bunun sonucu olarak daha ağır olup daha fazla yer kaplarlar. PAFC'nin anot ve katodunda meydana gelen reaksiyonlar şu şekildedir.





Alkali Yakıt Pili (AFC): İlk geliştirilen yakıt pili olup NASA uzay programları kapsamında uzay araçlarında kullanılmıştır. Yakıt hücresi içinde elektrolit yerine alkalik potasyum hidroksit kullanılmıştır. AFC'nin çalışma sıcaklığı 80°C olup verimleri %70'lere kadar çıkmaktadır. Alkali yakıt pilinin prensibi şekil 3.5-b'de verilmiştir (Kavas, 2008). AFC'nin anot kısmında Ni ve katotta katalizör olarak Ag kullanılmaktadır. Bu yakıt pilinin dezavantajı düşük güç üretimine sahip olmasıdır. AFC'nin gövdesindeki maddelerin oksitleyici özelliğinden dolayı yakıttaki CO₂'ye karşı biraz duyarlıdır. Çünkü CO₂ kimyasal özelliğinden dolayı elektrolitte mevcut olan potasyum hidroksit ile birleşerek kimyevi tepkimeye girer ayrıca akımın geçtiği elektrotları fazlaca olumsuz etkiler (Okur, 2012). AFC'nin anot ve katot kısmında meydana gelen tepkimeler aşağıdaki gibidir (Kurtaran, 2016).

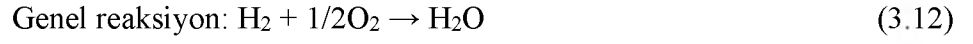
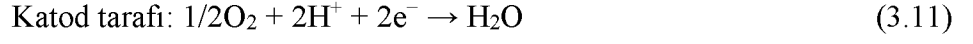


Yakıt hücresi teknolojisi maliyetli olduğundan alkali yakıt pili alanında çok yol alınamamıştır. Elektrotlarda kullanılacak katalizörler diğer tip yakıt hücrelerine göre daha ucuzdur. Katalizör olarak nikel, gümüş, soy metaller ve metal oksitler kullanılır (Megha, 2019).

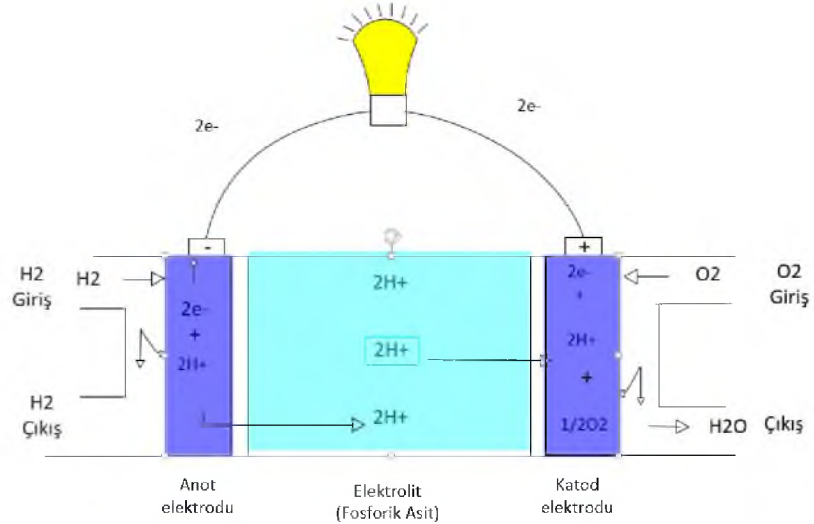
Erimiş Karbonat Yakıt Pili (MCFC): Erimiş karbonat yakıt pilinde elektrolit olarak alkali metal karbonat kullanılır. Bu malzemenin elektrolit olarak çalışması için sıvı halde olması şarttır. MCFC'lerin çalışma sıcaklıkları 700°C ye kadar çıkabilmektedir. Erimiş karbonat yakıt pilinin prensibi şekil 3.5-c'de verilmiştir (Okur, 2012). MCFC'lerde sıcaklık ne kadar artarsa verimde o kadar artmaktadır. Fakat artan sıcaklık kullanılan malzemelerin ömürlerinde azalmalar meydana getirmektedir.

Polimer Elektrolit Yakıt Pili: Polimer elektrolit yakıt pilinde elektrolit malzeme olarak asit polimer kullanılmakta ve çalışma sıcaklığı 100°C'nin altındadır. Saf hidrojen yakıt olarak kullanılmaktadır. Bu yakıt pili katalizör, zarlar, elektrot ve contalar, akım toplayıcılar ve diğer ünitelerden oluşur. Katot bölgesine oksidan verilirken anoda yakıt

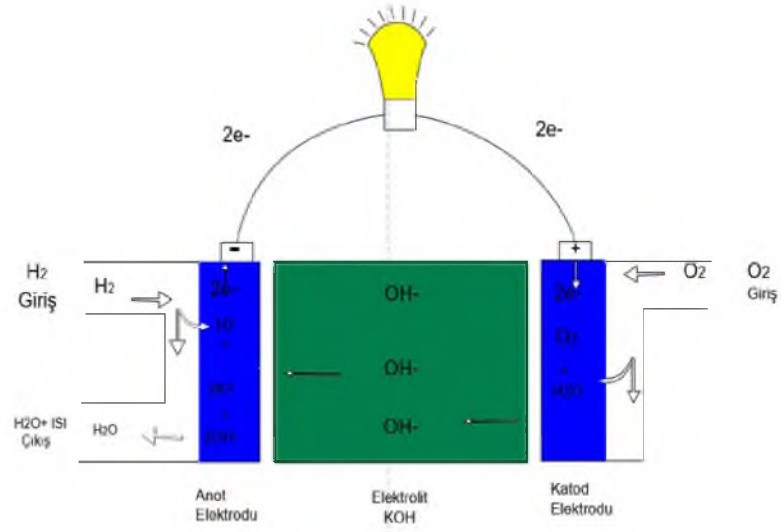
verilir. Farklı kombinasyonlarda yakıt ve oksitleyici karışımları bulunabilir. Pek çok durumda, hidrojen ve su reaksiyonundan su açığa çıkar ve bu tepkime iki elektrokimyasal tepkimeye bölünür. Yakıt hücresinde gerçekleşen tepkime şu şekildedir:



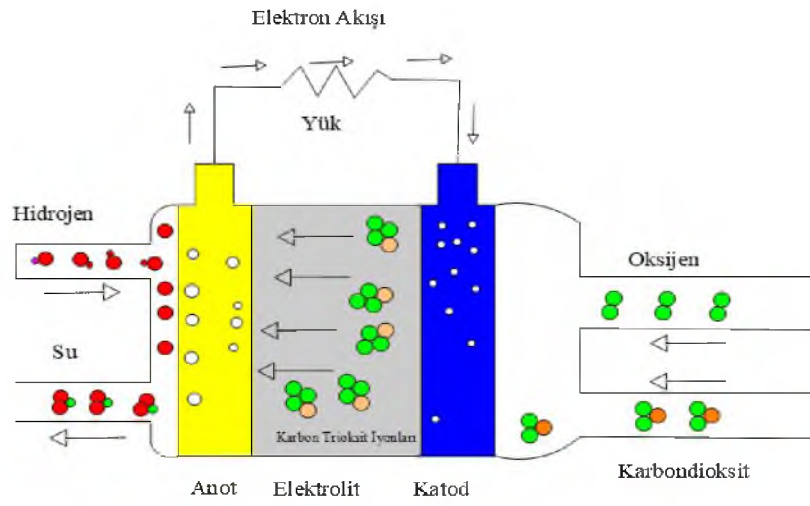
Katı Oksitli Yakıt Pili (SOFC): Katı oksit elektrolitin bazı yararlı özellikleri nedeniyle endüstri için ilgi çekici olmaktadır. 1000°C gibi çok yüksek sıcaklık değerlerine çıkabildiğinden düşük sıcaklıkta ki uygulamalar gibi pahalı katalizörlere ihtiyaç yoktur. SOFC'ler açık devrede %96 oranında açık devre teorik voltajını verebilirler. SOFC yakıt pilinin prensibi şekil 3.5-d'de verilmiştir (Kavas, 2008). SOFC'de negatif yükler anottan katoda doğru iletilirler. Hücrede meydana gelen tepkimeler aşağıda verilmiştir. Yüksek sıcaklık ve yakıtlardan gelen safsızlıklara karşı tolerans göstermesi SOFC'leri daha da çekici hale getirmektedir. Yakıt pilinden elde edilen enerji kömür gazlaştırma veya hidrokarbonun hidrojen dönüştürmesi için kullanılır.



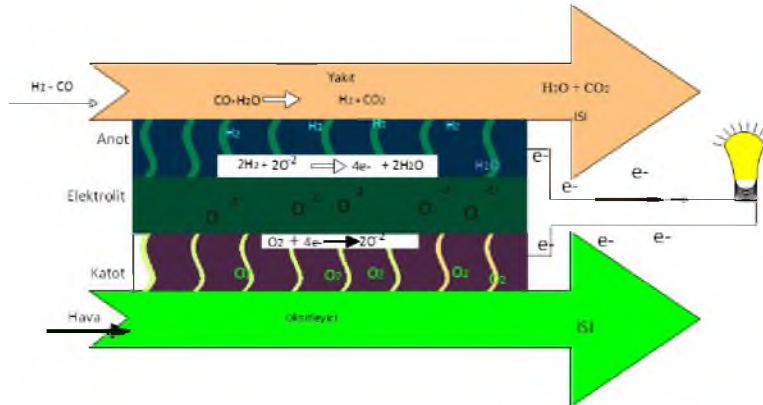
Şekil 3.5-a Fosforik Asit Yakıt Pili (PAFC)



Şekil 3.5-b Alkali yakıt pili



Şekil 3.5-c Erimiş karbonat yakıt pili



Şekil 3.5-d Katu Oksitli Yakıt Pili

4. DAĞITIK ÜRETİMİN ÖNÜNDEKİ ENGELLER

Bu bölümde dağıtık üretimin önündeki Teknolojik ve Mevzuatsal engeller tartışılmıştır. Teknolojik engeller, “*sistem güvenilirliği*” ve “*güç kalitesi*” olmak üzere iki alt başlık altında incelenmiştir. Mevzuatsal engeller ise *veri yönetimi, enerji depolama, şarj alt yapısı, akıllı sayaçlar, enerji verimliliği* ve *imar mevzuatı* alt başlıklarında incelenmiştir. Sistem güvenilirliği bölümünde, dağıtık üretim teknolojilerinin şebekeye bağlanmasıyla sistem güvenilirliğinin ne gibi değişimler yaşayacağı incelenmiştir. Ayrıca tek yönlü enerji akışına göre dizayn edilmiş olan enerji şebekesinin dağıtık üretim teknolojileriyle birlikte ne tür sorunlar yaşayabileceği konusu irdelenmiştir. Güç kalitesi bölümünde, dağıtık üretimin şebekeye entegre edilmesiyle birlikte ortaya çıkabilecek güç kalitesi değişimleri (şebeke kararlılığı, gerilim dengesi vs.) ele alınmıştır. Şebeke kararlılığı gerilim ve frekans ayarlarının sürekli olarak kontrol edilip uygun seviyelerde tutulmasıyla başarılabilir. Fakat merkezi olmayan enerji kaynaklarının şebekeye bağlanmasıyla gerilim ve frekans değerleri bu durumdan etkilenmektedir.

4.1 Sistem Güvenilirliği

Elektrik şebekelerinde, süreklilik açısından önem arz eden *güvenlik ve yeterlilik* olmak üzere iki önemli konu vardır. Geleneksel şebeke sistemlerinde iletim tek yönlüken dağıtık üretimin dâhil olduğu şebeke sisteminde çift yönlü bir enerji akışı mevcuttur ve bu temel farklılık şebeke güvenliğini etkilemektedir. Temel olarak bir enerjinin iletim şekli şu şekildedir. Üretim noktasında üretilen enerji iletim hattına verilmeden önce iletim trafosuna gönderilir ve burada yüksek gerilim seviyelerine çıkarılır. Yükseltilemiş gerilim seviyesindeki elektrik enerjisi iletim hattına verilir ve yerleşim yerlerine ulaştırılır. Yerleşim yerine gelmeden önce dağıtım trafolarına girerek alçaltılan gerilim seviyesindeki enerji dağıtım hattından son kullanıcıya iletilir.

Dağıtık üretim sisteme entegre edildiğinde, üretilen enerji önce dağıtım hattına ve oradan da trafo ile yükseltildikten sonra iletim hattına verilir. Bu nedenle geleneksel şebeke sistemlerinde enerji akışı tek yönlüken dağıtık üretim ile entegre enerji akışı çift yönlüdür (Kurtaran, 2016). Çift yönlü enerji iletimi konusunda en önemli konulardan biri farklı gerilim seviyelerindeki koruma düzenidir. Bu koruma düzenlerinin amacı şebekede meydana gelen kısa devre, elektrik kesintisi vb. hataları engellemektir. Koruma sistemlerinin çalışma prensibi genel olarak probleme neden olan kısımları şebekeden izole edip genel durumu kararlı halde tutmaya yöneliktir. Tipik olarak şebeke koruma

sistemleri, trafo, röle, kesici, batarya ve haberleşme üniteleri olmak üzere 5 kısımdan oluşur (Megha,2019). Dağıtım şebekeleri sistem bozulmalarına karşı empedans röleleri tarafından korunurlar. Bu cihazlar devamlı olarak sistemi kontrol ederler ve sistemdeki gerilim-akım değerlerindeki sapmaları tespit ederek koruma sağlarlar. Bu koruma rölelerine kurulum aşamasında bir gerilim sınır aralığı tanımlanır. Bu tanımlanan gerilim aralığı bir sebeple aşılsa röle devreye girer ve hatalı kısım sistemden izole edilir. Dağıtık üretim bu koruma şeklini etkilemektedir. Dağıtık üretim teknolojileri, koruma düzenlerini şu şekillerde etkiler (anonymous,2019):

- Mesafe koruma rölelerinin sayısı dağıtık üretimin şebekeyi beslemesinden dolayı azaltılabilir.
- Enerji üretim noktalarının bağlantılarının şebekede meydana gelen hatalardan dolayı izole edilmesiyle, dağıtık üretim kaynakları değişken ve sabit olmayan gerilim ve frekansta şebekeye güç pompalamaya devam ederler. Bu değişken frekans ve gerilim örneğin, şebekeye bakım ve tamir için gelen personele ciddi zararlar verebilir.

Şebekede yeterlilik kavramı istenilen zaman ve miktarda gerekli miktarlarda ve güvenilir bir şekilde üretilen enerjinin son kullanıcıya ulaştırılmasıdır. Bu enerji iletimi esnasında planlı ya da ansızın meydana gelen sistem hataları da ayrıca göz önünde bulundurulmalıdır. Sistemin yeterliliği şebekedeki frekansa göre ölçülebilir. Üretim ve tüketim noktalarındaki frekans uyumsuzluğu ne kadar fazlaysa şebeke yeterliliği o kadar düşüktür. Üretim ve tüketim noktaları arasındaki frekans farkının düşük ya da yüksek olması sisteminin dengesizliğini gösterir. Sistemde dengesizlik meydana geldiğinde, frekans değeri nominal seviyeden saptmaya başlar. Geleneksel şebekelerde bu sapma çeşitli kontrol mekanizmalarıyla çözülür. Bu kontrol mekanizmalarıyla frekans dalgalanmaları jeneratörler kullanılarak engellenir ve olması gereken kararlı seviyelere çekilir. Dağıtık enerji üreteçleri tak çalıştır yöntemiyle şebekeye bağlandıklarında şebekeyi balans durumunda tutamazlar. Bu dengeleme yalnızca geleneksel üreteçler kullanılarak yapılabilir. Fakat dağıtık üretimin şebekeye bağlanma oranları arttıkça eski geleneksel yöntemler yetersiz kalmakta ve dağıtık üretimin de bir şekilde balans yönetimine katılması gerekli olmaktadır (ETH,2005).

4.2 Güç Kalitesi

Elektrik enerjisi, her ürün gibi müşteriye satılan ve belirli bir kaliteye sahip olması gereken bir üründür. Evlerimizde ve ticarethanelerimizde kullandığımız her ürünün belirli bir kaliteye sahip olması gerekir. Güç kalitesi de dağıtık üretimin düşük ve orta gerilim seviyesinde şebekeye bağlanmasından etkilenebilir. Güç kalitesi, herhangi bir dalgalanma olmadan temiz bir şekilde ve nominal gerilim-akım değerlerinde sinyali iletebilme kabiliyeti olarak tanımlanabilir (Kapetanovic,2009). Gerilim, akım ve frekans değerlerinde sapmalar ve bozulmalar meydana geldiğinde, arıza ve problemler meydana gelerek güç kalitesinde düşüşler görülür. Gerilimin şebekedeki ideal karakteristiği sinüs formunda olup frekans ve genlik değeri uluslararası standartlarla da belirlenmiştir. Gerçekte gerçek güç kaynağı ya da güç şebekesi ideal gerilim formuna sahip değildir. Avrupa EN50160 standardı, kamusal enerji dağıtım sistemleri tarafından üretilen elektriğin gerilim karakteristiğini şöyle açıklar: Bu standartta belirli istatistiksel sınırlar hesaplanır ve bu sınırların yalnızca çok küçük miktarlarda aşılmasına izin verilir. EN20160 standardına göre, gerilim kalite parametreleri aşağıdaki gibi 3 alt başlığa bölünmüştür.

- Sınırlayıcı değerli parametreler
- Gösterge değerlere sahip parametreler
- Herhangi bir değere sahip olmayan parametreler

Temiz bir sinyal kaynağı belirli bir değere kadar aşağıdaki etmenlerden dolayı kararlı olma özelliğini kaybedebilir. Bu probleme neden olan etmenler şunlardır:

- Yavaş voltaj değişimleri
- Hızlı voltaj değişimleri
- Flickerlar(Titremeler)
- Harmonikler

Tipik olarak bir dağıtım şebekesinde nominal gerilim değeri \pm %5 sınırları içerisinde dalgalanma yapabilir. Dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye entegre edilmesi üretim tesisleri ve yük arasındaki balansı bozabilir ve sonuç olarak yukarıda belirtilen %5 sapma oranı aşılabılır. Yavaş gerilim değişimlerinin aksine, hızlı gerilim değişimleri 10

milisaneye ile birkaç saniye arasında meydana gelir. Bu hızlı gerilim değişimlerinin birkaç nedeni olabilir. Birincisi, dağıtık üretim kaynaklarındaki anahtarlama tekniklerinden kaynaklanabilir. İkinci sebep ise dağıtık üretim kaynaklarının sahip olduğu güneş tarlaları ya da rüzgâr türbinleri gibi değişken çıkış gücüne sahip enerji tesislerinden kaynaklanabilmektedir (Dugan, 2004). Şebeke nominal gerilim değerinin %10'un üstüne çıkması durumunda "swelling-gerilim şişmesi", %10'un altında kalması durumunda "sagging-gerilim sarkması" olarak adlandırılır. Hızlı ve devamlı gerilim değişimleri "flicker-titre" olarak isimlendirilir. Özellikle rüzgâr türbinlerinde rüzgârın değişkenliğinden dolayı hızlı gerilim değişimleri, flicker ile sonuçlanabilir. Dağıtık üretim teknolojilerinin şebekeye bağlanmasıyla çift yönlü enerji akışı ve karmaşık reaktif güç akışı için yeterli kontrol teknikleri uygulanmazsa şebekenin kararlılığı bozabilir (Papathanassiou, 2007). Dağıtım ve iletim şebekelerindeki gerilim kontrolü, reaktif gücün sisteme gerektiğinde verilip gerektiğinde çekilmesiyle sağlanır. Reaktif güç kontrolüyle kontrol işlemi senkron kapasitörler, statik kondansatörler, şönt reaktörleri ve kapasitörler kullanılarak gerçekleştirilir. İletim operatörleri büyük çaplı güç üreteçlerini kullanarak reaktif güç kontrolü sağlarken orta ve küçük ölçekli dağıtık üretim birimleri genel olarak indüksiyon üreteçleri olarak da bilinen asenkron üreteçleri kullanılırlar (Hird, 2004). Çünkü asenkron üreteçler senkron üreteçlere oranla çok daha ucuzdur. Bu asenkron üreteçler reaktif güç sağlayamazlar ve ilk çalışma aşamasında şebekeden reaktif güç çekmeye ihtiyaç duyarlar. Artan sayıdaki dağıtık üretim kaynaklarından dolayı şebekedeki sistem operatörlerine verilen gerilim desteği azalmaktadır (anonymous,2009). Sistem operatörlerinin yaşadığı bu sorunu çözmek için güç elektroniği dönüştürücüleri kullanılarak farklı teknikler uygulanmaktadır. Güç elektroniği, sistemin reaktif güç kontrol kapasitesine katkıda bulunabilir. Teknik bir problem olan gerilim dengesizliği üstesinden gelinebilecek bir problem türü olsa da reaktif güç ile ilgili sorunlar hala devam etmektedir. İlk olarak reaktif güç kontrolünün nasıl yapılması gerektiği bilinmelidir. İkinci olarak dağıtık üretim operatörlerine reaktif güç kaynakları için finansal ve yasal teşvikler verilmelidir. Tekli jeneratörler reaktif güç pazarına katılmak için yeterince büyük ölçekte değillerdir. Dağıtık üretimin artmasıyla ortaya çıkacak bir diğer muhtemel etki "*harmoniklerdir*". Harmonikler mevcut şebekedeki çekilen akım seviyesini yükseltirler ve akım- gerilim sinyallerinin dalga formlarında bozulmalara neden olurlar. Ayrıca interharmonik olarak adlandırılan ve besleme frekansının tamsayı olmayan katlarına sahip olan harmonik çeşidi de vardır.

Fotovoltaik ve yakıt hücreleri gibi dağıtık üretim teknolojileri doğru akım enerjisi üretirler. Bu enerjinin şebekeye doğrudan verilebilmesi için DC-AC dönüştürücülere ihtiyaç vardır. Fakat bu dönüştürücüler daha yüksek harmoniklere neden olabilmektedir. Değişken AC gerilim üreten kaynaklar için özel teknolojiler gerekmektedir. Benzer problemler değişken güç üreten rüzgâr türbinleri içinde geçerlidir [Ackermann,2007]. Dağıtık üretimden kaynaklı harmonikler, dağıtık üretim teknolojisinin şebekeye entegrasyonu üzerinde bir engel teşkil etmektedir (DTE, 2005). Fazla sayıda dağıtık üretim noktaları dağıtım hattına bağlandığında gerilim değerlerinde yasal mevzuatın izin verdiği sınırların dışına çıkarak gerilim dengesizliklerine neden olabilir. Çünkü şebekeye verilen bu fazla güç, sistem fazları arasında eşit bir şekilde dağılamayabilir ve sistemin gerilim dengesini bozabilir. Güç kalitesinin etkileri farklı çeşit ve büyüklüktedir. Harmonik etkileri, güç kaynağının güvenilirliği, gerilim düşmeleri ve elektromanyetik uygunluk Avrupa'da en önemli güç kalitesi konularının başında gelmektedir (Bhattacharyya, 2007).

Elektrik dağıtım sektöründeki yasal mevzuat ve düzenlemeler, akıllı şebeke ve dağıtık üretim uygulamalarındaki stratejilerin belirlenmesinde doğrudan etkilidir. Akıllı şebekeye geçiş sürecinde, mevzuatsal düzenlemeler dağıtım şirketlerini bu alana yatırım yapma noktasında destekler nitelikte olmalıdır. Bu nedenle aşağıdaki mevzuat gerektiren başlıklarda öneriler sunulmuştur.

4.3 Veri Yönetimi

Elektrik dağıtım şirketlerinin (EDAŞ) akıllı şebeke, yenilenebilir enerji kaynakları ve elektrikli ulaşım sektöründe şebekeye entegrasyonları için ilk yapmaları gereken iyileştirme, kendi veri sistemleri üzerinde olmalıdır. Elektrik dağıtım şirketleri ile ulusal enerji varlık sahibi kuruluşlar arasında verilerin açık şekilde paylaşılması, sürdürülebilirlik açısından önemli bir adım olarak görülebilir.

4.4 Enerji Depolama

Enerji depolama alanında yatırımların desteklenmesi için bu alandaki gelişmelerin yasal ilkelerinin belirlenmesi şarttır. Bu alana yapılacak yatırımlar sübvansiyondan ziyade piyasa gelirlerine dayandırılmalı ayrıca öngörülebilirlik ilkesiyle devam ettirilmelidir. Depolama teknolojilerinin hem enerji kaynağı hem de enerji tüketim aracı olarak kullanılması, çift yönlü sayaçlar, faturalandırma işlemleri yasal mevzuat açısından

hala net olmayan konular arasında yer almaktadır. Enerji depolanması 3 şekilde incelenebilir.

- *EDAŞ Seviyesi:*

İlk etapta orta seviye gerilim daha sonra elektrikli araçların çoğalmasıyla alçak gerilim seviyesinde depolama tesislerinin ortaya çıkmasıyla enerji yatırımlarında tasarrufa gidilmesi, enerji arzının esneklik kazanması ve enerji kalitesinin artırılması sağlanmış olacaktır.

- *Piyasa Katılımı:*

Gün içerisinde puant kaydırmanın sağlayacağı marjinal kazancın depolama maliyetlerini karşılayacak seviyeye gelmesiyle birlikte piyasa katılımcıları için yasal mevzuatın altyapısı hazırlanmalıdır.

- *Hem Üretici Hem Tüketici Seviyesi:*

Mesken boyutta hem güneş panellerinin hem de elektrikli araçların şarj üniteleriyle beraber depolama sistemlerinin de desteklenmesi halinde, en uç noktadan başlayarak şebeke esnekliği sağlanmış olacaktır. Türkiye açısından hızla şebekeye dahil edilecek pompalı depolama sistemleri için uygun mevzuatın çıkması, EDAŞ'ların bu konuda yatırım yapmak isteyen yatırımcılarına duyurular yapması, şebeke ihtiyaçlarını belirlemeleri, teknik kabiliyetlerini artıracak ve önemli kazanımlar getirecektir.

4.5 Elektrikli Araçlar-EA

Elektrikli araç sayısında 2025'e kadar beklenen ciddi artış nedeniyle, dağıtım firmalarının ve sistem operatörlerinin hem şebeke noktasında hem de yasal mevzuat noktasında altyapı güçlendirme çalışmaları önem arz etmektedir. Mesken ve ticarethanelere ait elektrikli araçların şarj ünitelerinin belli bir alçak gerilim hattına ya da trafoya aynı anda yüklenme riskine karşın; araçlarını şarj etmek isteyen bütün kişilerin, sistemin toplam gücünü eşit ve adil şekilde kullanabilmeleri için güçlü IoT tabanlı haberleşme unsurlarının yaygın bir şekilde kullanılması gerekir. Böylece şarj zamanının adilce paylaşılması sağlanmış olur. Akıllı sayaçlar ve şarj ünitelerinin kendi aralarında bulut tabanlı IoT teknolojileri kullanarak haberleşmeleri de önem kazanacaktır. Öncelikle EA'ların şarj ünitelerine ait usul ve esasların daha sonra da EA'ların yaygınlaşmasıyla gerekli diğer mevzuatların hazırlanması gerekmektedir.

4.6 Çatı ve Bina Tipi Fotovoltaik Sistemler

Konut ve sanayi çatıları ile bunların dış yüzeylerinde fotovoltaik sistemlerin kullanımlarının yaygınlaşması amacıyla aşağıdaki maddelerin uygulanması yararlı olacaktır.

- Güneş enerjisi sektörü yatırımları için yasal düzenlemenin, imar ve yapı ruhsat izinlerinin de dahil edilerek çıkarılması.
- Çatı tipi yatırımlarda son tüketici noktasında vergi desteği sağlanması.

4.7. Akıllı Sayaçlar

Türkiye’de 2017 Ekim sonu verilerine göre, 42 milyondan fazla kullanıcının %3’ünden daha azının akıllı sayaç altyapısının; nitelik, nicelik, haberleşme altyapısı, veri yönetimi konularında yeterli seviyede değildir. Söz konusu akıllı sayaç altyapısının yeterli seviyeye erişebilmesi için elden geldiğince hızlı ve verimli bir şekilde modernize edilmesi gerekir. Bu nedenle her elektrik dağıtım operatörünün akıllı sayaçlar konusunda özgün yöntemlerle yaygınlaştırma yoluna gitmesi ve fiyat/performans uygunluğunu yakalaması gerekir. Bu yaygınlaştırma sürecinin hızlı ve uzun vadeli yapılması amacıyla elektrik dağıtım operatörlerine ek bütçe verilerek gerekli pilot ve test çalışmalarına bir an önce başlamaları sağlanmalıdır. Yaygınlaştırma ve senaryo aşamalarında dağıtım operatörleri ortak bir zeminde de çalışabilmeli ve tecrübe paylaşımında bulunabilmelidirler. Bunun gerçekleştirilmesi için satın alma yasal mevzuatlarında gereken düzenlemelerin yapılması önemlidir. Diğer yapılması gereken görevler arasında, modem ve sayaç maliyeti ile haberleşme maliyetlerinin azaltılması, GSM ve gr ortamından uzaklaştırılması, şirket içi bilgi teknolojileri alt yapısı ile entegre bir sayaç yönetiminin oluşturulması ve büyük verinin (big data) işlenebilmesi için veri işletim merkezine sahip olunması sayılabilir. Ek olarak, dağıtım şebekelerinde siber güvenlik faaliyetlerinin artırılması ve kontrolü amacıyla ek mevzuatın detaylandırılması ve dağıtım operatörlerinin veri güvenliğinin sağlanabildiği ve ortak olarak kullanabilecekleri sınırları Türkiye’de bulunan bir veri merkezinin kurulması da çok önemli bir uygulama olacaktır. Bir diğer seçenek olarak tıpkı Avrupa’da olduğu gibi akıllı sayaçların 10 yıllık kiralması da bir diğer seçenek olarak değerlendirilebilir.

4.8 Enerji Verimliliği

Elektrik dağıtım operatörleri görevleri gereği bölgede bulunan tüm kullanıcıların tüketim alışkanlıklarını bilirler ve bu verilere göre tüketicilere enerji tasarrufu noktasında gerekli önerilerde bulunabilirler. Sistem dağıtım operatörleri enerji verimliliği konusunda gerekli lisanslara ve izinlere sahip olmalı ve müşterilerine enerji verimliliği hususunda danışmanlık yapmaları karşılığında ek gelir elde etmelerine yönelik yasal mevzuat hazırlanması enerji verimliliğini artıran bir uygulama olacaktır.

4.9 İmar Mevzuatı

İmar kanunu ve kat mülkiyeti hususunda yapılacak gerekli değişiklerle tıpkı merkezi doğal gaz ve asansör koyma zorunluluğu gibi kullanıcıların binalarına ait trafo tesis etme zorunluluğu getirilmelidir. Trafo çıkışına bağlanacak çift yönlü sayaç bütün tüketicilerin enerji tüketim bilgilerini toplayacak ve modem aracılığıyla sayaç okuma sistemi ile haberleşmesi sağlanacaktır. Bu sayede,

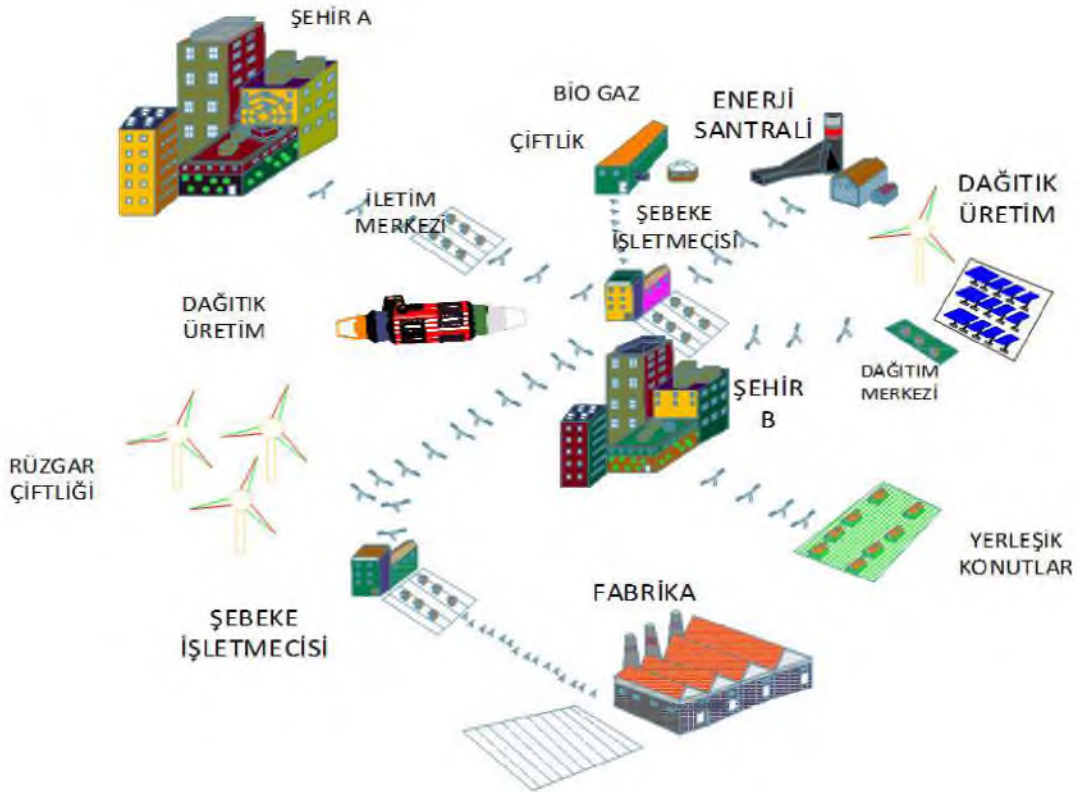
- Alçak gerilim kayıplarının azaltılması,
- Binaların çatı ve güney cephelerine enerji üretimi için güneş panellerinin bina yönetimi tüzel kişi kimliğiyle kurulması,
- Ortak enerji depolama biriminin kurulabilmesi,
- Tüm bina sakinlerinin tüketimlerinin ortak bir sayaçtan okunması ve ucuz elektriğin tüm dairelere verilmesi mümkün olacaktır.

5. YENİLİKÇİ ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Bu bölümde dağıtık üretim sistemlerin şebekeye entegrasyonu için geliştirilen çözüm önerileri örneklenmiştir. Akıllı şebekeler, bileşenleri, alt yapıları ve teknolojileri, mikro şebekeler, sanal güç konsepti ve sanal güç santralleri incelenmiştir.

5.1 Akıllı Şebekeler

Günümüzdeki mevcut geleneksel şebekelere, bilgisayar ve veri aktarım sistemleri entegre edilerek ortaya çıkan şebekelere “Akıllı Şebeke-Smart Grid” denilmektedir. Araştırma ve geliştirmeye açık bir alandır. Akıllı şebekeler temel olarak, haberleşme ve bilgi teknolojilerinin harmanlanmasıyla ortaya çıkmış yeni bir elektrik dağıtım şebekesidir. Akıllı şebekeler, elektriğin üretildiği ilk andan tüketimine kadarki her seviyede gerçek zamanlı çift yönlü veri aktarımı sağlayarak sürdürülebilir, enerji verimliliği yüksek ve güvenli bir enerji ağı sunmaktadır. Şekil 5.1’de bir akıllı şebeke modeli verilmiştir (Yenilmez, 2016).



Şekil 5.1 Akıllı şebeke modeli,

5.1.1 Akıllı Şebeke Teknolojisi ve Bileşenleri

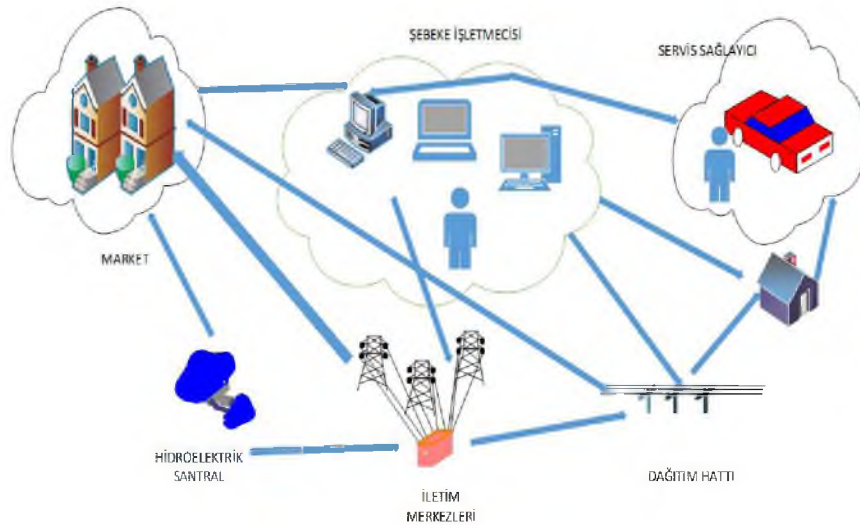
Akıllı şebeke sistemleri, dağıtık üretim kaynaklarının hızlı gelişimi ile beraber ve enerji sektöründe yaşanan gelişmeler ışığında güç şebekelerinde yeni nesil bir çözüm olarak ortaya çıkmıştır (Zobaa, 2020). Akıllı şebeke teknolojisi, sabit ve sabit olmayan enerji depolama alanlarında ve ayrıca dağıtık yenilenebilir enerji kaynaklarında etkin rol oynamaktadır. Tüm dünyada hükümetler ve otoriteler güç şebekelerinin önemini farkına varmışlardır. Akıllı şebeke sistemine karar verildiğinde bu sisteme hızlı bir geçiş yapmak çok zor olmaktadır. Tam anlamıyla bir geçişten söz edebilmek için 20-30 yıllık bir süreye ihtiyaç duyulabilmektedir (Yenilmez, 2016). Akıllı şebeke sistemlerine geçişi sağlamak için gerekli yasal mevzuatın hazırlanması ve teknik standartların belirlenmesi ayrıca sosyal yapının da buna hazırlanması gerekir. Akıllı şebekeler, IP temelli bir iletişim ağı için dağıtık veri altyapısına ihtiyaç duyarlar. Gerekli yazılımlar ile altyapı uygunluğu sağlanır. Ekonomik, sosyal ve teknik gereklilikler yerine getirilirse akıllı şebeke sistemleri verimli bir çalışma düzenine sahip olurlar. Amerikan Enerji Departmanına göre çift yönlü haberleşme ve ileri kontrol metotları ile donatılmış akıllı şebekeler aşağıdaki alt bileşenleri içermektedir.

- Akıllı Üretim
- Akıllı Dağıtım
- Akıllı Sayaçlar

Akıllı Üretim: Akıllı üretimin temel amacı şebekenin belirli noktalarından alınan geri bildirimlerle gerilim, frekans ve güç faktörünün otomatik olarak ayarlanarak enerjinin optimum bir şekilde üretilmesini sağlamaktır. Günümüz enerji üretim yöntemlerinde verimliliğin geleneksel yollarla artırılması yeteri kadar sağlanamayıp buna ilaveten rekabetçi ortamdan daha fazla geri kalmak istemeyen işletmeler teknolojik yatırımlarına yönelerek verimlilik stratejilerini yeniden gözden geçirmeye ve şebeke entegrasyonlarını dijital teknolojilere ve bunların sunduğu çözümlere kaydırmaya başlamışlardır. Akıllı üretim bu çözümlerin başında gelmektedir. Akıllı üretimin sağladığı avantajlar pek çoktur. Akıllı üretim, bir üretim zincirinde anlık bilgi akışı sağlayan ve mantıksal sebep sonuç ilişkisi yürütebilen, planlama ve koordinasyon aracı olarak kullanılabilen IoT tabanlı bir veri ve bilgi entegrasyonu olarak tanımlanabilir. Akıllı sensörlerden gelen verilerin gerçek zamanlı olarak işlenmesi ve analiz edilmesi konusunda kolaylık sağlar. İhtiyaç duyulan her anda işlenmiş bu veriler en uygun formda ulaşılabilir olmaktadır. Bu veriler sayesinde mevcut işleyen sürecin daha etkin ve verimli kullanılması sağlanmakla

beraber sistem devamlılığı için ek eleman istihdamına ihtiyaç duyulmamaktadır. Yöneticilerin analiz ve raporlara ulaşma zamanlarını önemli ölçüde kısaltarak bilgiye erişim çabaları minimum seviyede tutulmuş olur. Bu durum tüm çalışanlarda ek bir performans artışına neden olmaktadır. Şebekedeki cihaz performansları anlık olarak takip edilebildiği için gerek duyulmayan ya da arıza belirtisi gösteren cihazların önü kesilmekte ve bu durum ekonomik açıdan fayda sağlamaktadır. Bu bakımdan önleyici tedbirleri almak çok daha hızlı ve basit olmaktadır. Sistem operatörlerinin performansları karşılaştırılmalı olarak görülebildiğinden gerekli eğitimlerin ve ikazların yapılmasıyla sistem iyileştirilmesi çok daha hızlı yapılabilmektedir.

Akıllı Dağıtım: Enerji dağıtım hatlarına entegre edilen ve birbirleriyle iletişim halinde olan akıllı cihazlar ve bu cihazlardan toplanan verilerin karmaşık algoritmalarla işlenmesiyle dağıtım şebekeleri optimize edilebilir. Dağıtım Yönetim Sistemleri-DYS sayesinde şebeke hattından toplanan veriler karmaşık yazılımlar kullanılarak sistem operatörüne analiz, kontrol ve verimliliği artırmak amacıyla sunulur. Bu sistemler güvenlik, verimlilik ve sürdürülebilirliğin yanında maliyetlerin azaltılmasında da önemli roller üstlenmektedir. Aşağıda görüleceği üzere şebekede eş zamanlı gerçek veriler SCADA adı verilen haberleşme sistemi ile toplanır ve DYS algoritmaları kullanılarak kontrol, analiz ve izleme işlemleri gerçekleştirilir. İlaveten DYS otomatik sayaç okuma sistemleri, coğrafi bilgi sistemleri ve kesinti yönetim sistemleri ile entegre şekilde çalışmaktadır. DYS'ler şebeke ile ilgili fiber, trafo, gerilim ve frekans seviyeleri gibi bilgileri sistem operatörüne bildirerek sistem operatörünün farkındalığını arttırmaktadır. Şekil 5.2'de akıllı dağıtım modeli verilmiştir (Yenilmez,2016).



Şekil 5.2 Akıllı dağıtım modeli.

Akıllı Sayaçlar: Güçlü bir hesaplama ve ölçüm aracı şebeke ve sistemdeki hataları önlemek ve sürdürülebilirliği artırmak için çok önemli olmaktadır (Megha, 2019). Akıllı sayaçlar tüketimi saatte bir ya da daha kısa aralıklarla kontrol ederler. Akıllı sayaçlar yaptıkları ölçümleri ve topladıkları bilgileri gelişmiş haberleşme teknolojileri ile merkezi bilgi sistemine uzaktan rapor edebilirler. Akıllı sayaçlar çalışma prensipleri itibariyle günümüz geleneksel şebeke sisteminin de çalışmasını değiştirecektir (Barai,2015). Bu sayaçlara benzer şekilde çalışan sayaçlar bulunmakla birlikte akıllı sayaçlar anlık veri akışı sağlayarak güç kalitesi kontrolü ve elektrik kesintisi gibi bilgileri operatörlere raporlarlar. Akıllı sayaçlar kendilerine alternatif olarak belli zaman periyotlarında ölçüm yapan geleneksel sayaçlara kıyasla daha ucuzdur. Bu nedenle akıllı sayaç kullanımının artması beklenmektedir (Barai,2015). Akıllı sayaçlar her ne kadar akıllı şebekenin bir parçası olsa da sadece bu sayaçların kullanılması akıllı şebeke ortamını oluşturmamız için yeterli değildir. Akıllı sayaçların özelliği birim zamanda daha fazla bilgi toplamalarıdır. Son kullanıcılar kendi mobil ve PC ekranlarından anlık tüketim bilgilerine, gerilim, frekans bilgilerine ve enerji durumlarını takip edip kayıt altına alabilmektedirler. Bu özellik sayesinde anlık enerji takibi yapılabildiği için fazla tüketim söz konusu olduğunda tüketim değerleri düşürülebilmektedir. Ekonomik açıdan değerlendirdiğimizde eski usul okumalarda personele ihtiyaç duyulurken akıllı sayaçlarda personel ihtiyacı ortadan kalkmakta ve maliyet açısından avantajlı hale gelmektedir. Ticari işletmelere açısından bakıldığında faturalandırma sürecinin çok daha hızlı olması bir avantaj olmaktadır. Ek olarak akıllı sayaçlar sayesinde üretim talebi ve yük talebi dengesi sağlanır. Şebeke kapasitesi bilindiğinden gereksiz enerjinin doğru noktalara ulaştırılması sağlanarak enerjide verimlilik artırılmış olur. Akıllı sayaçların en önemli problemi haberleşme problemidir. Her bir akıllı sayaç belli veri merkezlerinde topladıkları bu verileri eksiksiz ve hatasız bir şekilde ulaştırma özelliğine sahip olmalıdır. Değişen çevresel faktörler ve sayaçların buldukları konumları göz önünde bulundurulduğunda iletişim problemi daha iyi anlaşılacaktır. İletişim problemlerinin çözümlerine yönelik yapılan öneriler şunlardır (Yenilmez,2016).

- Mobil ağların kullanılması
- Uydu lisanslı radyo sinyalleri
- Hem lisanslı hem lisanssız radyo sinyallerinin kombine edilmesi
- İletim hattı üzerinden haberleşmenin sağlanması

Haberleşme amacı ile kullanılan ağ çeşitleri çok önemlidir. Bu ağ çeşitleri sabit kablosuz ağlar, WiFi ağlardır. WiFi tabanlı iletişimde şehirlere oranla kırsal ve dağlık alanlarda veya altyapının yetersiz olduğu bölgelerde iletişim sorunları daha çok oluşmaktadır. Sayaçlardan toplanan veriler ilgili firmaların ağ yapılarını kullanarak son kullanıcılara, tedarikçilere ve servis sağlayıcılarına gönderilir. Tüketiciler sistem tarafından sağlanan bu bilgileri kullanarak piyasa enerji fiyatlandırmasını görebilir ve düşük fiyatlı enerjiye ulaşım sağlayabilirler. Bu fiyatlandırma tüketim tepe değerinin kontrol edilmesi için önemlidir. Talep arttıkça fiyatlandırmalar da artırılabilir. Akıllı sayaçlar ile geleneksel sayaçlar arasında ki farklardan biri de haberleşmenin akış yönüdür. Akıllı sayaçlar çift yönlü haberleşme alt yapısına sahipken geleneksel sayaçlarda bu akış tek yönlüdür. Akıllı sayaçların yaygınlık kazanması için büyük çapta pilot bölgeler belirlenmeli ve bu sistemin kullanımı sağlanmalı. Bu pilot bölgelerden edinilen tecrübelerle birlikte gelecek dönemler için gerekli hazırlıklar tamamlanmalıdır [Anonim,2023].



Şekil 5.3 Akıllı sayaç modeli.

5.2 Akıllı Şebeke Yapısı

Akıllı şebekelerin temel amacı büyük çapta ve gerçek zamanlı olarak kaliteli veri toplanmasını sağlamaktır. Bu toplanan veriler bilgisayarların da yardımıyla operatörlerin hızlı karar almalarına ve gelecek zamanlar için analizler yapmalarına olanak sağlamaktadır. Bu sayede olması muhtemel istenmeyen durumlar önlenilmekte ve sistem kendini onarabilmektedir. Tüm bunların yapılması ise gelişmiş bir şebeke

altyapısına ve sayaç sistemine sahip olmakla mümkündür. Akıllı şebekeler aşağıdaki faydaları da beraberinde getirmektedir.

- Talep yönetimi
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonu
- Kaynakların daha verimli kullanımı
- Enerji tasarrufu ve maliyet avantajı
- Sistem balansı

Akıllı şebeke sistemleri eş zamanlı haberleşme altyapısı sayesinde şebeke durumunu sürekli kontrol ederek aşırı yüklenmeleri tespit edip enerji akışını kontrol eder ve yenilenebilir enerji kaynak kullanımlarını daha verimli hale sokarak enerji maliyetlerinin aşağı çekilmesini sağlar. Akıllı şebeke sisteminin geleneksel şebeke sistemine olan avantajları aşağıdaki gibi özetlenmiştir (Yenilmez,2016).

Geleneksel Şebeke	Akıllı Şebekeler
Kritik şebeke olaylarında operatör müdahalesi	> Durum analizi ve otomatik ölçüm sistemleri sayesinde enerji kesintisini önleme
Primer teçhizat durumu çok iyi bilinmiyor	> Arıza durumu aşırı yük kontrolü, şebeke güvenilirliğinin sürekli izlenmesi
Karışık mühendislik, test ve imalat yapıları	> Akıllı şalt merkezi otomasyonu yardımı ile tak-çıkart sistemler
Merkezi üretim, merkezi olmayan tüketiciler	> Sanala enerji santralleri yardımı ile dağıtılmış üretim ve depolama imkanlarının birleştirilmesi
Yönetilemeyen, izlenemeyen tüketim	> Akıllı sayaç okuma ve yük yönetimi

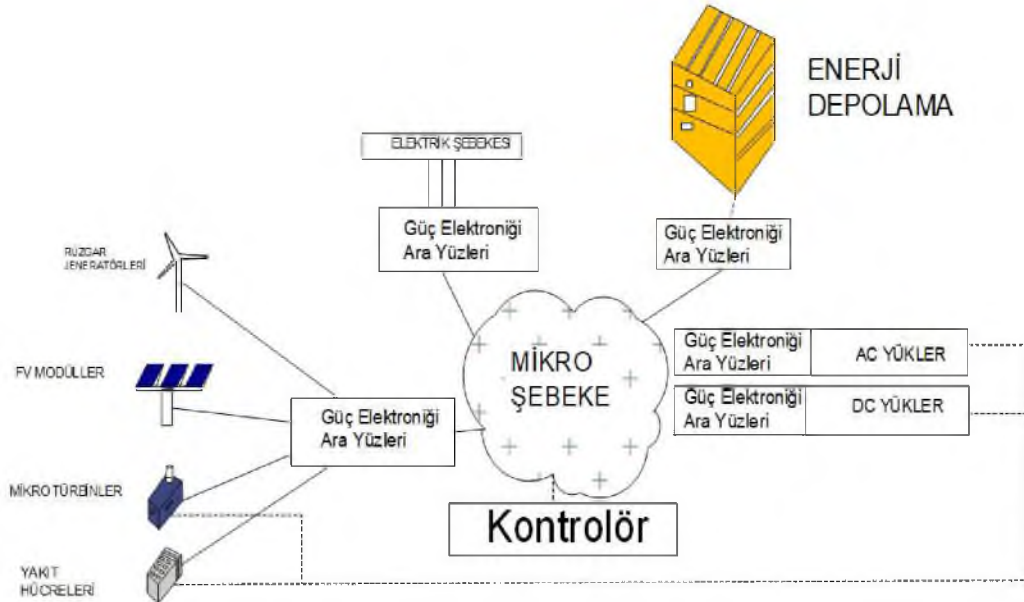
Şekil 5.4 Mevcut geleneksel şebekeler ve akıllı şebekelerin karşılaştırılması.

Dünya çapında artan enerji talebi ve fosil tabanlı enerji kaynaklarının yeterli olmaması sebebiyle çevre dostu ve ileri teknolojik yapılarıyla akıllı şebekeler geleneksel şebekelere tercih edilmektedirler. Rüzgâr, biokütle, güneş vb. yenilenebilir enerji kaynaklarının şebekeye entegrasyonunu verimli bir şekilde yerine getirirler (Öztürk, 2008). Gelişmiş şebeke kontrol sistemleri kullanarak elektriğin iletim ve dağıtım hattındaki kayıplarını azaltır. Şebekeyi sürekli kontrol ederek kullanıcıların tüketim

alışkanlıklarını belirler ve arz-talep dengesini sağlayarak üreticilerin yüksek enerji üretim maliyetlerini kontrol altına almasını sağlar. Gelişmiş haberleşme altyapısı sayesinde insan kaynaklı ya da doğal afetler sonucu şebekenin kesintiye uğraması durumlarında en az zararlar sistemin izole edilmesini ve kayıpların minimumda kalmasını sağlar. Akıllı sayaçların çift yönlü iletimi sayesinde veriler üretilir ve enerji izleme programları sayesinde kullanıcılar evdeki bilgisayarlarından kontrol sağlayabilirler. Bu sayede son kullanıcı ekonomik anlamda rahatlar, tedarik firmaları gereksiz enerji üretme yükünden kurtulmuş olacaktır. İlerleyen yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının artmasıyla şebekeye entegrasyonları konusu daha çok gündemde olacaktır. Tüm bu sistemlerin sorunsuz bir şekilde uyum içinde çalışması ise akıllı şebeke teknolojilerinin hayatımıza girmesiyle mümkün olacaktır.

5.3 Mikro Şebeke

Mikro şebekeler şebeke bağlantısız veya şebeke bağlantılı olarak çalışabilen, kendi enerji kaynaklarına, üretimlerine ve yüklerine sahip olan belli güç aralığındaki ölçekli enerji şebekeleridir (Aselsan,2016;Kocaman,2016). Bir mikro şebeke, birbirine bağlanmış dağıtık yenilenebilir enerji üretim tesislerinden oluşur. Şekil 5.5’de bir mikro şebeke modeli verilmiştir (Turkay,2017).



Şekil 5.5 Mikro şebeke modeli

Dağıtık üretim kaynakları, düşük seviyedeki tüketici enerji ihtiyacının karşılanması amacıyla şebekeye bağlanır. Dağıtık üretim kaynaklarına örnek olarak fotovoltaiik, rüzgâr küçük ölçekli hidro, dizel ve kombine santraller verilebilir. Dağıtık üretim kaynaklarının küçük boyutlarda olması dağıtım ve tüketim noktalarına yakın yerleştirilme imkânı sağlamış olur. Günümüz geleneksel şebeke yapılarında oluşan arızalarda sistemde insan kaynaklı, doğa olayları sonucu ya da enerji üretim santrallerinden birinde kaynaklanan sorunlar nedeniyle uzun süreli elektrik kesintileri oluşabilmektedir. Bu uzun süreli elektrik kesintileri sonucunda çok sayıda tüketici enerjisiz kalabilmektedir. Günümüzde yük talep noktasındaki sürekli değişimler ve kullanıcıların gittikçe artan teknoloji bağımlılığının bir sonucu olarak hem güvenilir hem arızalara daha dayanıklı bir şebeke sisteminin varlığına olan ihtiyaç artmıştır. Mevcut şebekenin teknolojik alt yapısı hazırlandıktan sonra dağıtık üretim teknolojilerinin de katılımıyla sistem güvenilirliği yükseltilip, verilen hizmetin kalitesi yükseltilebilir. Şekil 5.5’de görüleceği üzere mikro şebekeler güç elektroniği teknolojilerini kullanarak şebekeye bağlanırlar. Güç elektroniği dönüştürme aygıtlarının sisteme entegre edilmesi şebeke sisteminin güç kalitesini etkiler ve yeni kontrol düzenlemelerini ortaya çıkarır (Basa ve Perdahçı, 2010). Geleneksel üretim ve dağıtım modelinde elektrik enerjisi dağıtım şebekeleri kullanılarak müşterilere ulaştırılmaktadır. Bu geleneksel yapıda trafo merkezinden alınan enerji son kullanıcılara neredeyse aynı güç kalitesi ile ulaştırılır. Sistemin süreklilik ve denge durumunu muhafaza etmek için az sayıda dağıtık üretim kaynağı şebekeye entegre edilmektedir. Dağıtık üretim teknolojilerinin sayıca az olmalarından dolayı mevcut şebekeye gerekli gerilim ayarı, reaktif güç ayarı ve şebekenin kararlılığı noktasında istenilen destekleri verememektedirler. Dağıtık enerji kaynaklarının geleneksel elektrik şebekelerine entegrasyonlarında kısıtlamaya gidilmesinin temel nedenlerinden biri güç üretimlerinin belirsiz ve çok değişken olmasıdır.

5.4 Mikro Şebeke Yapıları

Bir mikro şebeke bir ya da daha fazla dağıtık enerji kaynağını bünyesinde bulundurabilir. Her ne kadar fiziksel olarak şebekeye bağlı olsa da çalışma ve kontrol moduna bağlı olarak şebekeye bağımlı ya da şebekeden bağımsız mod olarak faaliyet gösterebilir. Şebekeler mikro şebekeye evirildiği takdirde büyük güçlü dağıtık enerji kaynakları şebekeye bağlanabilir. Mikro şebekeler, Tablo’4 de gösterildiği gibi Hizmet

mikro şebekeleri, Endüstriyel mikro şebekeler ve Uzak mikro şebekeler olmak üzere 3 farklı grupta sınıflandırılmıştır (Bai ve ark. 2015).

Tablo 4. Mikro şebekelerin sınıflandırılması.					
	Hizmet Mikro Şebekeleri		End. Ticari Mikro Şebekeler		Uzak Mikro Şebekeler
	Şehir Şebekesi	Kırsal besleyici hatlar	Çoklu Tesis	Tek Tesis	
Temel Etmenler (Main Drivers)	Kesinti yönetimi, YEK entegrasyonu		Enerji kalitesi iyileştirilmesi, güvenilirlik ve enerji verimliliği		Uzak bölgelerin elektrikleşmesi ve yakıt tüketiminin azaltılması
Faydalar	<ul style="list-style-type: none"> • Sera gazının azaltılması • Tedarik karışımı • Kısıt yönetimi • Yükseltme gecikimi • Bağlı hizmetler 		<ul style="list-style-type: none"> • Yüksek güç kalitesi • Hizmet farklılaştırılması (güvenilirlik seviyeleri) • Birleşik ısı ve güç entegrasyonu • Talep karşılama yönetimi 		<ul style="list-style-type: none"> • Tedarik mevcudiyeti • YEK entegrasyonu • Sera gazı azaltılması • Talep karşılama yönetimi
Çalışma yöntemleri: Şebekeye bağımlı (ŞB), Şebekeden bağımsız ve otonom işleviş (ŞBS), izole şebeke (İŞ)	ŞB, ŞBS, İŞ		ŞB, ŞBS, İŞ		İŞ
	Rastlantısal	Arızalar (bitişik besleyici hatlarda veya trafo merkezlerinde)	Ana şebeke arızası, güç kalitesi konuları		-
	Planlı	Bakım	Enerji ücreti (en yoğun saatlerde), hizmet bakımı (utility maintenance)		-

Hizmet Mikro Şebekeler: Çok sayıda dağıtık üretim kaynağının yük merkezine konumlandırılmasıyla hatlardaki şişme ve sıkışma önenebilir. Küçük çaptaki hidro santraller, mini rüzgâr türbinleri, fotovoltaiik santraller ve gaz kullanan üretim tesisleri diğer enerji üretim tesislerindedir. Yüksek gerilim hatlarında ve transformatör noktalarında yapılan planlı bakımlar nedeniyle hizmet şebekesi ve ana şebeke arasındaki bağlantıda planlı kesintiler yapılabilir. Bu oluşan planlı ya da plansız kesintiler oluşturulan mikro şebeke istasyonları sayesinde engellenebilir. Hizmet şebekeler ile birlikte son kullanıcılara hem kaliteli enerji sağlanır hem de reaktif güç ihtiyaçları karşılanır.

Endüstriyel Mikro Şebekeler: Sanayide endüstriyel yüklerin yüksek kaliteli elektrik enerjisine ihtiyacı vardır. Oluşturulan bir mikro tesis üniversite kampüsü ve endüstri tesisi gibi yapılara enerji kaynağı sağlamak üzere tasarlanabilir. Kontrol ve otomasyon desteği ile bir mikro şebeke tesisi enerji kesintilerini önler ve yük talebini azaltarak şebekedeki

enerji kalitesini artırır. Ayrıca bir mikro şebeke ünitesi sayesinde çok sayıda evin ve kentsel/kırsal bölgelerde küçük ölçekli güçlerdeki tüketicilerin enerji ihtiyacı karşılanabilir.

Uzak Mikro Şebekeler: Geçmişte dağıtık üretim kaynaklarının uzaktan enerji üretmeleri ve hassas yükler için yedeklenmiş üretim kaynağı olmaları planlanmaktaydı. Seçilecek enerji kaynağı o bölgenin coğrafi koşullarına göre değişkenlik göstermekle beraber fotovoltaik modül, mini rüzgâr türbini ve benzeri kaynaklardan en uygunu tercih edilebilir.

Mikro şebekelerde kaliteli enerji sağlanması için; i) Dağıtık enerji kaynakları arasındaki yük değişimlerini karşılamak için gelişmiş yük paylaşımının yapılması, ii) Yeterli miktarlarda depolama birimlerinin kullanılması ve iii) Yüklerin beslenmesi öncelik sırasına göre yapılmalıdır.

5.5 Mikro Şebeke Tasarımı

Dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye uygun bir şekilde konumlandırılmasıyla enerji verimliliği ve güç kalite konularında gelişme sağlamak mümkündür. Temel bir mikro şebeke tasarımında ilk olarak dağıtık üretimin özellikleri belirlenmelidir. Bunlar; i) Uygun enerji kaynağın belirlenmesi, ii) Toplam kurulu gücün bilinmesi, iii) Dağıtık üretim birimlerinin nereye konulacağını belirlenmesi.

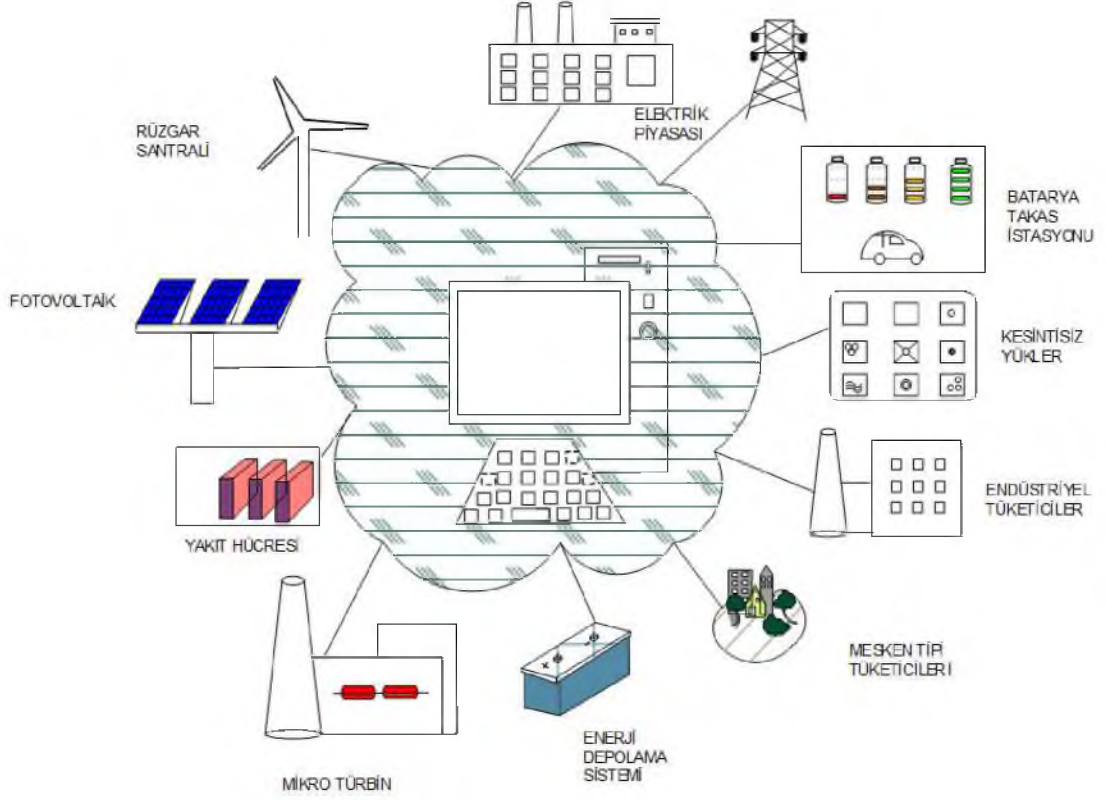
İkinci olarak şebekeye bağımlı ya da bağımsız olarak işletme konuları belirlenmelidir. Şebekenin hassas yapısı nedeniyle en ufak durumda problemler oluşabileceğinden çok sayıda kısıt ve amaç bulunmaktadır. Bu kısıtlar, i) Sistem kayıpları, ii) Gerilim kararlılığı, iii) İşletme koşullarındaki dengesizlik ve diğer güç kalitesi sorunları olarak sayılabilir. Bu teknik kısıtlamalara ek olarak yatırımlar, gelirler, yükteki kayıp olasılıklar ve bakım ve operasyon maliyetleri gibi ekonomik unsurların da değerlendirilmesi gerekmektedir. Enerji şebeke hattına dağıtık enerji üniteleri ve depolama birimlerinin entegre edilmesiyle birlikte besleme hattı gerilim karakteristiklerinde değişimler gözlenir. Enerji kaynak sayısında artışlarla birlikte arıza bölgesi çift taraftan besleneceği için kısa devre akımında artış meydana gelir. Enerji kalitesi ve güvenilirliğini sağlamak için mevcut şebeke ve dağıtık enerji kaynaklarının karakteristiklerin aynı olması önemlidir. Ana şebeke de koruma sistemi bulunduğu üzere arızaya en yakın noktadaki koruma cihazının devreye girmesi ve problemlili kısmı şebekeden izole etmesi esasına dayanır. Ana koruma sistemi devreye girmez ya da çalışması uzun sürerse ikincil koruma denen yedek koruma devreye girer.

5.6 Sanal Güç Konsepti

Sanal Enerji Santrali, rüzgâr çiftlikleri, güneş tarlaları ve kombine ısı birimleri gibi merkezi olmayan orta ölçekli enerji üretim birimleri ile esnek enerji tüketici ve depolama ünitelerinden oluşan ve tüm bu birimleri birbirine bağlayan gelişmiş bir ağıdır (Pudjonto ve ark., 2007). Birbirine bağlı olan bu üniteler, merkezi kontrol odası kullanılarak yönetilir. Yüksek talep anlarında farklı güç üniteleri tarafından üretilen elektriğin akıllı ve verimli bir şekilde dağıtılması ya da depolanması, sanal güç konseptinin genel amacıdır. Böylece şebeke yükü hafiflemiş olur. Ayrıca sanal güç konsepti ortamında üretilen enerji, pazara sunularak satılabilir ve şebekede ki kullanıcılara ticari gelir elde etme olanağı sunabilir.

5.7 Sanal Elektrik Güç Konsepti Modeli

Sanal güç konsepti kullanıcıları, sanal güç merkezine uzaktan erişim sistemi aracılığıyla bağlanır. Bu uzaktan erişim sayesinde sanal güç konseptinde bulunan tüm varlıklar verimli bir şekilde kontrol edilebilir ve izlenebilir. Böylelikle sistemde bir problem saptandığında anında uzaktan müdahaleyle sorunun büyümesi engellenebilir. Bu uzaktan erişim, güvenli şifreleme protokolleri kullanılarak yapıldığı için diğer veri trafiklerinden etkilenmezler. Sanal güç konsepti içerisinde bulunan her varlığın optimize edilmiş bir program aracılığıyla çalıştırılmasına ek olarak sanal güç merkezi kontrol sistemi, büyük geleneksel eski tip enerji santrallerinin yaptığı gibi, sistem operatörlerinden gelen talimatları dengede tutmak için özel bir algoritma kullanır. Bireysel güç sağlayıcıları ile sanal güç konsepti arasındaki iki hatlı veri alışverişi yalnızca kontrol komutlarının iletilmesine olanak sağlamaz. Ek olarak ağda mevcut bulunan diğer varlıkların kapasiteleri ve mevcut durumları hakkında anlık bilgi paylaşımı da sağlar. Örnek vermek gerekirse, fotovoltaik ve rüzgâr santrallerinin üretim değerleri, tüketim değerleri ve enerji depolaması için gereken ücret miktarı, üretim yapan enerji kaynaklarının elektrik piyasasına enerji satması, bu ücretin tespit edilmesi ve gelecek dönemler için enerji üretim tahminleri oluşturmak için kullanılabilir. Şekil 5.6'da sanal güç konsepti modeli verilmiştir (Pudjianto ve ark., 2007). Modelde görüleceği üzere uzaktan kontrol ünitesi ile sanal güç konsepti elektrikli araç şarj istasyonlarını, depolama birimlerini ve tüm dağıtık üretim enerji kaynaklarını birbirine bağlar ve tek bir kaynak gibi yönetir (Mashhour ve Mogaddas, 2009).



Şekil 5.6 Sanal güç konsepti modeli

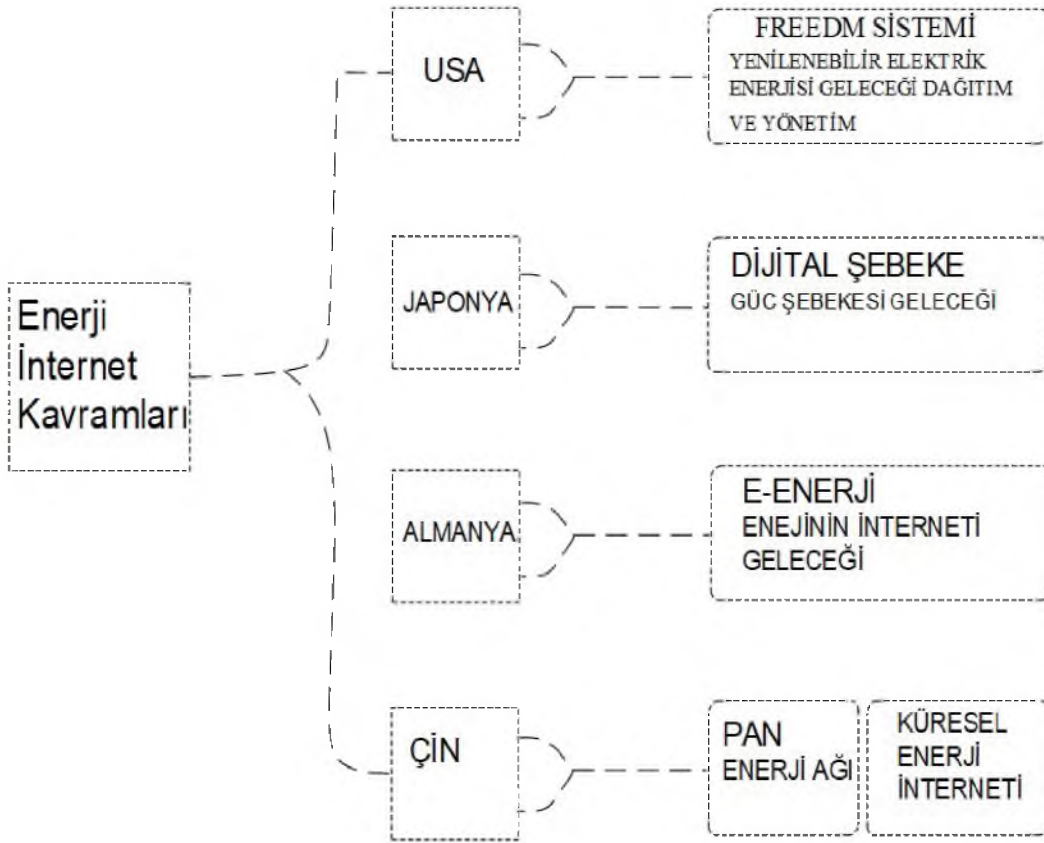
5.8 Verilerin Saha Koşullarına Aktarılması

Şekil 5.6'da modeli verilen sanal güç santralinin komuta kontrol merkezi, büyük çapta veri işleme yapar. Bu veriler anlık ve gelecek hava tahminleri, anlık şebeke bilgileri, elektrik piyasasındaki mevcut enerji fiyatlandırması ve sanal güç merkezine bağlı tüm enerji istasyonlarının bilgilerini içerir. Hava durumu verileri ve sistemdeki fotovoltaik modüllerin eğim açıları da beraber kullanılarak gelecek üretim verileri tahmin edilebilir. Üretim tahminleri anlık hava tahminlerinin devamlı şekilde kontrol edilmesiyle güncellenebilir. Böylece üretim tahminlerinin iyileştirilmesi sağlanır ve sapmaların önüne geçilir. Akıllı ve gelişmiş yazılımlar kullanan kontrol merkezi, üretim ve tüketim tesisleri için kişisel program ve takvimler oluşturabilir. Bu programlar sayesinde gereksiz enerji üretimi önlenerek maliyetler düşer ve üretim, yük talebini daha rahat karşılar. Esnek enerji tüketicileri elektrik enerjisinin ucuz ve talebin düşük olduğu durumlarda elektriği daha uygun fiyatlı almış olacaklardır. Bu şebeke fiyat kontrol sistemi sayesinde, merkezî kontrol ünitelerinin kullanılmasına gerek bile kalmadan bir dereceye kadar şebeke kendi kendine dengelemiş olacaktır. Çünkü enerji fiyatları arttığında talep otomatik olarak düşecek ve balans sağlanmış olacaktır. Elektrik şebekesinde bir dengesizlik durumu meydana gelirse, sistem sağlayıcılarından gelen sinyaller enerji

kontrol merkezinde değerlendirilir ve müdahale birimleri için kontrol talimatlarına dönüştürülür. Bu kontrol talimatları sayesinde, frekans ayarlaması, gerilim dengelemesi gibi işlemler yapılarak sistem Şebekesinin denge halinin korunmasına yardımcı olunmuŐ olur. Üretim beklenenden çok daha yüksek seviyelerde olması halinde, saniyeler içinde tüm besleme varlıkları kapatılabilir ve ciddi problemlerin oluŐması engellenebilir. Sanal g konsepti sayesinde bireysel enerji üreticileri enerji piyasasında varlık gösterip ticaret yapabilirken, sistem operatörleri tüm kapasiteyi verimli ve etkili bir Şekilde kullanma imknına sahip olduklarından Şebeke işletme verimlerini ciddi oranda artırma Őansı elde ederler (Saboori ve ark. 2011).

6. DÜNYA VE TÜRKİYE UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Şebekenin akıllı hale getirilmek istenmesi ve buna paralel akıllı şebeke konseptiyle birlikte farklı ülkeler farklı proje ve yaklaşımlar geliştirmişlerdir [Huang ve ark. 2014]. Örnek olarak Amerikan enerji internet projesi Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) gösterilebilir. Japonya'nın yeni nesil enerji şebekesi projesi "Digital Grid" olarak geçmektedir. Almanya enerji internet projesi E-Energy olup daha verimli bir enerji aktarımı için başlayan bir projedir. Çin Halk Cumhuriyeti Pan Energy Net (PEN) ve Global Energy Internet (GEI) olmak üzere 2 proje başlatmıştır (Karady ve ark. 2012). Şekil 6.1'de bazı ülkelerin yürüttüğü akıllı şebeke tabanlı çeşitli enerji internet projeleri gösterilmiştir.



Şekil 6.1 Bazı ülkelerin akıllı şebeke tabanlı enerji internet projeleri.

6.1 FREEDM Projesi

Amerikan Bilgi İdaresi başkanlığına göre enerjide belirsizliğe neden olan 3 faktör vardır. Bunlar enerji kaynaklarındaki krizler, enerji güvensizliği ve çevreye verilen zararlardır (Huang,2010). Bu problem dağıtık enerji kaynaklarının ve depolama birimlerinin şebekeye entegrasyonu ile çözülebilir. Fakat bu noktada yenilenebilir enerji

kaynaklarının üretim şekillerindeki belirsizlikler, bunların kontrol edilmesi ve depolama birimlerin yerleştirilmesi konuları çözüme kavuşturulmalıdır. 2008’de Amerika’da “Ulusal Bilim Kurulu-National Science Foundation”, FREEDM projesi için merkezler kurmuştur (Gao ve ark. 2011). FREEDM projesinin temel amacı dağıtık üretim kaynaklarının şebekeye sorunsuz şekilde entegrasyonunu sağlayarak, dağıtım hatlarındaki enerjinin daha verimli, güvenli ve az maliyetli bir şekilde son kullanıcıya ulaştırılmasını sağlamaktır (Huang ve Baliga,2009;Liang ve ark. 2011). Bu sistem Amerika’ da ve yenilenebilir enerji kaynakları ve depolama birimlerini kullanan tesislerin karşılaşmış olduğu problemleri çözecektir [Crow ve ark. 2010;Huang ve ark. 2014]. FREEDM teknolojisi 5 temel birimden oluşmaktadır. Bu birimler, tak çalıştır arayüzü, enerji yönlendirici, arıza izolasyon cihazı, FREEDM sistem kontrolü ve dağıtık şebeke teknolojisi (Huang ve ark.2010;She ve ark. 2011).

Tak Çalıştır Arayüzü: Bu network arayüzü bilgisayarların USB portuyla aynı prensipte çalışır. Bu yöntemle istenilen yer ve zamanda şebeke bağlantılı dağıtık enerji ve depolama birimlerinin izlenmesi ve kontrol edilmesi sağlanabilir.

Enerji Yönlendirici: Büyük çaptaki yük, depolama birimi ve üretim ünitelerine erişim için ve diğer alt birim aygıtlara arayüz olarak erişim sağlamada enerji yönlendiriciler kullanılır. Katı hal trafoları da bir çeşit enerji yönlendiriciler olarak kullanılırlar (Wakiyama ve Kuriyama 2018). Katı hal trafoları cihazlara arayüz oluşturmak için farklı gerilim, frekans ve güçlerde çalışabilir (Kawajiri ve ark. 2019).

Arıza İzolasyon Cihazı: Bu cihaz FREEDM projesinin bir enerji internet projesi olması için hızlı ve güvenilir bir koruma sistemi sağlayacaktır. Bu cihazın en önemli özelliği istemdeki bir arıza durumunda problemlili cihazı sistemden izole etmesi ve arıza onarıldıktan sonra tekrar devreye sokmasıdır.

FREEDM Sistem Kontrolü: Bu kontrol yönetimi; i) Akıllı Enerji Yönetim Kontrolü ve ii) Akıllı Arıza Yönetim Kontrolü olmak üzere iki ayrı kısımda incelenebilir (Huang, 2010;She ve ark. 2011).

*Akıllı Enerji Yönetim Kontrolü, zamana dayalı enerjinin koordinasyon ve kontrolüyle ilgilidir. Bu, dağıtık üretim kaynakları ve depolama birimlerinin birleştirilmesi anlamına gelmektedir.

*Akıllı Arıza Yönetim Kontrolünün ise 2 ana amacı vardır. İlk olarak hataya neden olan kısmın yerinin tespit edilmesi, ikinci olarak hatanın giderilmesi esnasında ilgili kısmın izole edilmesi ve onarım gerçekleştirildikten sonra tekrar şebekeye tekrar entegre edilmesi.

Dağıtık Şebeke: FREEDM sisteminin en temel çekirdeğini oluşturur. Kullanıcı yüklerine olan ihtiyacı karşılamak için tüm alt sistemlerin enerji akışını kontrol edip düzenler.

6.2 Dijital Şebeke Projesi

Japonya'daki enerji krizini çözmek için yenilenebilir enerji kaynaklarını geleneksel şebekeye entegre etmek suretiyle kapasite artırma yoluna gidilmiştir (Abe,2016). Şebekedeki yedek kapasite artışı sayesinde sistemin güvenilirliği artmakla beraber arıza riski de artmaktadır. Ancak şebekede meydana gelen en ufak arızada senkron bağlantıdan dolayı kademeli kesintiler olabilmektedir. Bu sorunun çözümü olarak Dr. Rikiya tarafından önerilen “Dijital Şebeke-Digital Grid” konsepti ortaya çıkmıştır (Abe ve ark. 2019). Bu konsept hali hazırdaki senkron bağlantı çeşidini kademeli asenkron bağlantıya çevirir. Dağıtım şebekesine çok daha fazla sayıda yenilenebilir enerji kaynağı entegrasyonunu sağlamak için “Maksimum kapasitede yenilenebilir enerji kaynağı kullanımıyla yeni akıllı üretim şebekesi (anonymous,2019)” isimli konsept üç ana başlıkta incelenmiştir (Staudt ve ark. 2018). İlk olarak, geleneksel elektrik şebekeleri çok daha küçük birimlere ayrılmış ve bu birimlere “Hücre-Cell” denilmiştir (Abe, 2016). Yenilenebilir enerji kaynaklarının değişken üretim şekilleri bu hücreler tarafından kontrol edilebilir. Bu hücreler gerilim, faz ve frekans seviyeleri açısından asenkron olarak bağlanmışlardır. Bu sayede kademeli kesintilerin önüne geçilmiş olacak ve üretim talebi, şebekeye ters yönde enerji akışı da engellenerek sağlanmış olacaktır. Bu hücreler “Dijital Şebeke Yönlendiricileri-Digital Grid Routers” tarafından bağlanmışlardır (Anonymous,2019). Dijital şebeke yönlendiricisi asenkron çok girişli bir eviricidir. Bu eviricinin çalışma prensibi kaynak (Staudt ve ark 2018)'de anlatılmıştır. İkinci olarak, zamana dayalı senkronizasyon yöntemi hücrelerin içindeki gücün kontrol edilmesi için geliştirilmiştir (Anonymous,2019). Üçüncü olarak da şebeke içerisindeki bütün enerji akışının ve tüm cihazların takip edilmesi amacıyla dijital şebeke kontrolörleri IP adreslerine göre tanımlanmışlardır. Bu sayede tüm elektrik akışı kolayca izlenebilecektir. Enerjinin ve verilerin haberleşme süreçleri içinse iletim hatları boyunca PLC kullanılır. Yapay zekâ sayesinde dijital şebeke kontrolörleri şebekedeki üretim ve tüketim bilgilerine ulaşma imkânı elde eder (staudt ve ark. 2018). Yapay zekâ enerji piyasasının daha akıllı, verimli ve otonom hale gelmesini sağlar (Staudt ve ark. 2018).

6.3 E-Enerji Projesi

Almanya'ya ait olan bu enerji internet projesinde ana amaç bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanarak yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını artırmak ve şebekeye entegrasyonunu sağlamaktır. E-Enerji projesi, Almanya'nın "Green IT Pioneer Germany" ve "Germany Digital 2015" projelerinin bir parçasıdır (Hong ve ark., 2018). Bu proje aşağıda belirtilen üç ana konuya odaklanmıştır.

- i. Enerji alım satım için bir pazar oluşturmak ve merkezi olmayan enerji kaynaklarının kontrolünü sağlamak (Zhu ve ark., 2017)
- ii. Kendi kendine yeten otomasyon sistemi kurulması ve varlıkların dijital ağ ile yönetimi,
- iii. Mümkün olduğunca fazla sayıda yenilenebilir enerji kaynağı kullanımı.

6.4 Pan Energy Net / Global Energy Internet Projeleri

Çin'in enerji internet bağlamında oluşan çekirdek fikri "Internet Plus Smart Energy" projesinden gelmektedir (Huang ve ark. 2014). Yeni bir perspektif olarak enerji sektörüne giren enerji internet kavramı IoT ile güçlü bir ilişkiye sahiptir. Bu konsept akıllı cihazları, çoklu enerji dönüşümünü, dağıtık depolamayı, yeşil enerji üretimini ve enerji pazarını birleştirir ve tek bir çatı altında toplar (Kawajiri ve ark. 2019; Abe, 2016). Enerji internet konseptinin geliştirilmesi Çin'deki potansiyel enerji sektörünün hızlanmasını sağlamaktadır (Yenilmez, 2016). Çin'de iki büyük enerji internet projesi yürütülmektedir. Birincisi "Pan Energy Net" projesi, ikincisi "Global Energy Internet" (Hong ve ark. 2018). Pan Energy Net projesini, şebeke verimini artırmak ve çoklu enerji ağını oluşturmak için Çin Enerji Firması ENN kurmuştur (anonymous,2019,Staudt ve ark. 2018). Bu projedeki temel amaç yaşanabilecek enerji krizlerini engellemek ve geleneksel fosil tabanlı enerji kaynaklarının çevreye vermiş olduğu zararları minimize etmektir. Modern akıllı şebeke konseptinin hayata geçmesi aşamasında Pan Energy Net projesi etkili bir başlangıç olmuştur. Bu konsept üretim tarafından tüketim tarafına kadar internet ve güç şebekesini birbirine internet bağlantısıyla bağlayan akıllı bir enerji ağı olarak tanımlanabilir. Sonuç olarak enerji üretimi, temini ve ticari pazarın oluşturulması için aralarında uyumlu bir iş birliği gerçekleşmektedir. Böylelikle enerji kaynaklarının verimli kullanımı sağlanırken gereksiz enerji üretimi azaltılır ve şebeke güvenilirliği artırılmış olur. Pan Energy Net projesinin temel amacı çok enerjili şebekenin dönüşümü, depolanması, iletimi ve uygulamasını sağlamaktır (Wakiyama ve Kuriyama 2018).

Global Energy Internet projesi, emisyon salınımını önlemek ve olası enerji krizlerini önüne geçmek için Çin devleti tarafından geliştirmiştir (anonymous,2019). Bu projenin temel amacı yenilenebilir enerji kaynaklarının sayısını artırmak ve ürettikleri enerjiyi şebekeyle uyumlu hale getirebilmektir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürekli değişen enerji üretim karakteristiklerinden dolayı şebekenin gücü ve kararlılığı etkilenmektedir. Bu projeye beraber yenilenebilir enerji üretim kapasitesi de olabildiği en yüksek seviyeye ulaşmış olacaktır (Dündar, 2018). Global Energy Internet projesi küresel ölçekte güçlü ve uzun mesafelere ulaşabilen bir ortak enerji ağı konseptiyle hayata geçirilmiştir (Zhu ve ark. 2017). Yenilikçi bir yaklaşım olan ultra yüksek gerilime sahip iletim hatlarının inşa edilmesiyle, akıllı şebeke ve küresel çapta birbiriyle bağlantılı enerji ağları kurmak mümkün hale gelecektir ([Liu ve ark. 2019). Şekil 6.1’de verilen ülkelerin enerji internet konseptleri Tablo 5’de karşılaştırmalı olarak verilmiştir (Megha,2019).

	ÜLKE	YIL	Proje Fonlayıcısı	Amaç	Süreç
FREEDM	Amerika	2008	Ulusal Bilim Vakfı	Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Enerji Kaynakları ve Elektrik Enerjisi Akışının Kontrolü	Enerji internet Teknolojisi Dağıtık Üretim ve Dağıtık Depolama Birimlerinin PnP Ara yüzlerini İçerir.
E-Enerji	Almanya	2008	Almanya Enerji Bakanlığı	Şebeke Dengesinin Sağlanması Amacıyla İot Teknolojisi ve Tüketicinin Entegrasyonu	Üretimden Sonraki Enerji İletim Ağıının Optimizasyonu
Dijital Şebeke	Japonya	2011	-	Kademeli Kesintilerin Önlenmesi ve Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Dahil Edilmesi	IP Teknolojisinin Kullanılması ve Asenkron Şebekenin Birbirleriyle Bağlantısı. Dağıtık Enerji Kaynaklarının Entegrasyonu
Pan Enerji Net	Çin	2014	ENN Enerji	Farklı Kaynaklardan Elde Edilen Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Eş Zamanlı Şebeke Takibi	Şebeke Güç sisteminin Her Aşamasında Bilginin ve Enerjinin Birleştirilmesi
Global Enerji İnternet	Çin	2015	Çin Devlet Şebeke İşletmesi	Temiz Enerjinin Uzak Mesafelere Ulaştırılması	Global Çapta Birbirine Bağlı Ultra Yüksek Voltaj Değerlerini İçeren Akıllı Güç Şebekesi Teknolojisi.

Tablo 5. Ülkelerin enerji internet konseptlerinin karşılaştırılması.

6.5 Türkiye Akıllı Şebeke Politikası

Türkiye önümüzdeki yıllarda fosil tabanlı enerji üretim modelinden yenilenebilir, nükleer ve yerli linyit kaynaklı enerji üretim modeline geçecek ve enerji tedarik yöntemini temelden değiştirecektir. Enerjinin verimli kullanılmasıyla beraber rekabetçi bir piyasa oluşacak ve buna bağlı olarak tüketici memnuniyeti ile toplumsal refah seviyesi istenen seviyelere ulaşacaktır. Millî enerji iletim ve dağıtım hatlarımızı zorlu ama bir o kadar da fırsatlarla dolu bir gelecek beklemektedir. Her sene yapılan milyarlarca lira yatırımın en önemli hedefi yeni taleplere karşılık vermek olsa da sürdürülebilir bir ekonomi için akıllı şebekelere yatırım yapmak şarttır. 2035’li yıllarda, tüketici seviyelerinde enerji üretiminin ulusal üretimin yarısı seviyesinde olacağı öngörülürse akıllı şebeke yatırımlarının önemi daha iyi anlaşılacaktır. 2035 yılında Türkiye üretim altyapısının çevreci, sürdürülebilir ve verimli olmasının yanı sıra çok sayıda artış gösteren yenilenebilir enerji kaynaklarının da şebekeye dahil edilmesinin sağlanması için TAŞ 2023 (Türkiye Akıllı Şebekeler 2023 Vizyon ve Strateji Belirleme Projesi) grubunun akıllı şebeke vizyon önerisi:

“Güvenli bir gelecek için;

Çevresel sürdürülebilirliği ve enerji kaynaklarının verimli bir şekilde değerlendirilmesini dikkate alarak, ekonomik büyüme için gerekli olan düşük maliyetli elektrik enerjisini yüzde yüz yerli kaynaklardan karşılayıp, yenilenebilir enerji üretimini de azamiye çıkararak karbon ayak izini asgari seviyeye çekmek amacıyla, 2020 yılı ve sonrasında akıllı şebeke yatırımları ile elektrik iletimi ve dağıtımını en uygun şekilde yönetip, katılımcı, rekabetçi ve düşük maliyetli bir elektrik piyasası ile ülke refahına en yüksek katkıyı sağlamak” [anonim,2016] şeklinde kamuoyu ile paylaşılmıştır.

Türkiye 2035 akıllı şebeke vizyonunu hayata geçirebilmek için yasa koyucuların, otoritelerin, enerji üreticilerinin, dağıtım firmalarının, ARGE kuruluşlarının ve finans sektörünün son kullanıcıların taleplerini dinleyerek birlikte çalışmaları gerekmektedir. Akıllı şebekelerin ön görülen zaman diliminde ve istenilen yetkinlikte gerçekleşmesi için tutarlı, uzun vadeli ve şeffaf politikaların oluşturulması ve gerekli yenilikçi yatırımların desteklenerek kamuoyunun desteği alınmalıdır. Ayrıca sürecin daha hızlı ve verimli olması amacıyla tüm paydaşlara gerekli eğitim ve bilinçlendirme organizasyonları yapmak büyük önem arz etmektedir. Çünkü enerji altyapısı ekonomik refahın olmazsa olmaz bir parçasıdır. Teknolojik gelişmelerle her geçen gün birbirine daha fazla bağlanan

toplumsal yaşam ve büyüyen çevre bilinci, gelecekteki enerji sisteminin temelden değişmesini zorunlu kılmaktadır. Akıllı şebekeler güvenli, başarılı, sürdürülebilir, çevre dostu ve rekabetçi bir ekonomik gelecek için en önemli etmenlerden biridir. Ulusal elektrik iletim ve dağıtım şebekemizin önünde zorlu, ama aynı ölçüde fırsatların da olduğu bir gelecek bulunmaktadır. Her yıl milyarlarca lira yatırım yapılan şebekenin en önemli önceliği, yeni bağlantı taleplerini karşılamak ve yaşanan kısımları yenilemek olsa da sürdürülebilir bir ekonomik büyüme için akıllı şebekeye de yatırım yapmak gerekecektir.

TAŞ 2023 projesindeki çalışmalarda, akıllı şebekelere ilişkin konular aşağıda sıralanmıştır.

- Gelişmiş şebeke izleme, kontrol ve yönetim sistemleri
- BT altyapıları ve veri analitiği
- Kurumsal uygulama entegrasyonu
- Dağıtık üretim entegrasyonu ve depolama
- Varlık yönetimi ve CBS
- Elektrikli araçlar
- Akıllı sayaç altyapıları ve müşteriler
- Haberleşme altyapıları
- Siber güvenlik

Akıllı, modern ve tam olarak bütünleşik elektrik şebekesi kayıpların azaltılmasının sağlanmasında en büyük rolü oynayacaktır. Akıllı şebeke uygulamaları ile şebeke teknik kayıpları da asgari seviyeye çekilebilecektir.

Bütünleşik yük yönetimi ile sunulan enerjinin teknik kalite ve süreklilik standartları yükselecektir. Manuel süreçlerin asgari seviyeye indirilmesini sağlayarak dağıtım hizmetlerinin maliyetlerini azaltacak ve tüm süreçleri dijitalleşecektir. Böylelikle elde edilen verimlilik ve işlem hızı tüketicilere düşük tarife yoluyla yansıtılabilecektir. Kullanıcıların gerçek zamanlı tüketim bilgilerine erişimleri ve piyasaya katılımlarının sağlanması, piyasanın şeffaflığını ve rekabetçiliğini azamiseviyeye getirecektir. Entegre varlık yönetimi ile doğru ve zamanında yapılacak yatırımlar toplam yatırım ve işletme maliyetini düşürecektir. Dinamik tarife uygulamaları ile tüketicilerin enerji maliyetlerini düşürerek hem milli gelir üzerinde pozitif etki yaratacak hem de enerji tasarrufuna katkıda

bulunarak ulusal karbon ayak izinin düşürülmesine katkı sağlayacaktır. Üretim tesislerinin verimliliğini gerçek zamanlı talep takibi yapmak suretiyle arttıracak, gerektiğinde reaktif enerjiyi kontrol ederek tüm sistemin güvenli aralıklarda çalışmasına katkıda bulunacaktır. Gelişmiş talep tarafı yönetimine olanak sağlanması, puant talebindüşürülmesi ve kaynak verimliliğinin artırılmasını beraberinde getirecektir. Gelecekte yaygınlaşacak yeni hizmetler için teknolojik altyapı platformunun sağlanması; elektrikli araçların, çatı tipi güneş panelleri ve depolama sistemlerinin yaygınlaştırılmasını destekleyerek uzun vadede “Yerli ve Yenilenebilir Enerji” stratejik hedefine erişmemizi sağlayacaktır. Kullanılacak teknolojilerde yerli tasarım ve üretim ile akıllı şebeke için gereken yatırımların büyük ölçüde milli kaynaklar kullanılarak yapılması, ülkemizin ileri ülkeler seviyesine erişmesi için önemli bir katkı sağlayacaktır.

Yukarıdaki faydaları elde edebilmek amacıyla elektrik dağıtım sektörü için önerilen somut hedefler aşağıda özetlenmiştir:

Dağıtık Üretim: Küçük ölçekli dağıtık ve yenilenebilir kaynaklı üretimin büyük oranda yaygınlaşmasının desteklendiği bir dağıtım şebeke altyapısının geliştirilmesi. Özellikle çatı tipi güneş santrallerin 40GW kurulu güce ulaşmasını ve şebekeye entegrasyonunu destekleyecek alt yapının oluşturulması.

- Akıllı Sayaç Yaygınlaştırma: Tüketici sayısının en az %80’ini kapsayan gelişmiş ölçüm altyapılarının tesisi. Yerli ve ulusal çapta kullanılan bir sayaç haberleşme protokolünün oluşturulması.
- Talep Tarafı Katılımı: Müşterilerin büyük oranda piyasa katılımına dâhil edilmesi
- Şebeke İzlenebilirlik/Kontrol Edilebilirlik: Şebeke altyapılarında izlenebilirlik, uzaktan kontrol edilebilirlik ve kendi kendine onarma işlevselliklerinin büyük oranda yaygınlaştırılması
- Esneklik Yönetimi: Entegre esneklik yönetiminin aktif ve optimizasyona dayalı bir şekilde uygulanması ve büyük kapasitede esneklik kaynaklarının hayata geçirilmesi.
- Şebeke Dayanıklılığı: Akıllı şebekelerin elektrik altyapılarına gerçekleştirilebilecek saldırılar ya da doğal afetler karşısında dayanıklılığının sağlanması
- Veri ve Analitik Odaklı İşletmecilik: İş süreçlerinin veri ve analitik esaslı yürütülmesi ve entegre sistemlerin kurulması.
- Elektrikli Araçlar: Milyonlarca (2035 için tahmini ~15 milyon) elektrikli araç ve gerekli

şarj istasyonunun şebeke entegrasyonu ve kapasite kullanım yönetimi için alt yapılarının oluşturulması

- Mikro/Nano Şebeke Uygulamaları: Yeni binalarda mikro-şebeke işletme moduna izin verecek şekilde düzenleme yapılması
- Piyasa Yapısı ve Mevzuat: Piyasa yapısı ve düzenleyici çerçevenin, sektördeki dönüşümü ve yeni iş modellerini tetikler ve destekler nitelikte oluşturulması
- Teknoloji Geliştirme ve İhracat: Teknoloji geliştirme ve ihracat için hedef alanların (depolama, IoT, veri analitiği, şebeke yönetim yazılımları, akıllı sayaçlar, güneş paneli, vb.) desteklenmesi

Akıllı şebeke vizyonuna erişebilmek için tüm paydaşlara görevler düşmektedir ve bu kapsamda Ar-Ge çalışmaları da önem arz etmektedir. Akıllı Şebeke başlığı altında planlanmış bazı Ar-Ge projeleri tablo-6 da verilmiştir.(anonim, 2016)

PROJE ADI	DAĞITIM ŞİRKETİ
Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu Projesi(PV)	MEDAŞ, ÇEDAŞ
Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu Projesi(Yük yönetimi)	MEDAŞ, BAŞKENT
Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu Projesi(Dünya Uygulamaları)	ARAS, DEDAŞ
Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu Projesi (Elektrikli Araçlar)	BAŞKENT, BEDAŞ
Dağıtım Gömülü Sistemlerin Etki Analizi ve Optimizasyonu Projesi (HES)	ARAS
Smart Energy Aware System (Akıllı Şebeke Farkındalık Projesi)(ITEA 3 Projesi)	ENERJİSA
Hibrit Haberleşme Altyapısı Pilot Akıllı Sayaç Uygulaması, Fizibilitesi ve Yaygınlaştırma Yol haritası Belirleme Projesi	BOĞAZIÇI, ULUDAĞ, AKDENİZ, ÇAMLİBEL
Dağıtım hatları üzerinden geniş bant haberleşme projesi	KCETAŞ
Akıllı Şebekeler İçin Yerli Sayaç Prototip Geliştirme Projesi	AYEDAŞ
Talep Tarafı Katılımının Dağıtım Şirketlerine Etkilerinin Araştırılması ve Dağıtım Şirketlerinin Yeni Piyasa Kurgusundaki Konumlanmasının Belirlenmesi	BAŞKENT
Akıllı Sayaç Sistemleri Fayda Maliyet Analizi Metodolojisinin geliştirilmesi ADM ve GDZ EDAŞ Bölgesi için Yaygınlaştırma Yol haritasının çıkarılması	GDZ, ADM
Elektronik Sayaçların Optik Port aracılığı ile Haberleşmeli Sayaçlara Dönüştürülerek Uzaktan Okunmasının Sağlanması	SAKARYA
Akıllı Şehirlerde Kritik Altyapı Yönetimi için entegre akıllı şebeke platformu geliştirilmesi ve Pilot uygulaması (KRITA)	TOROSLAR
Akıllı şebekede siber güvenlik standardizasyonu	YEŞİLİRMAK

Tablo-6 Türkiye’de Akıllı Şebeke Sistemine Geçiş için yapılan Ar-Ge Çalışmaları

7. SONUÇ

Bu yüksek lisans tezinde, enerji sektörünün yaygın olarak karşılaştığı enerji krizleri, küresel emisyon problemleri ve güç kalitesi gibi sorunlara değinilmiştir. Bu sorunların çözümü için geleneksel şebeke sistemlerine dağıtık üretim kaynaklarının ve teknolojilerinin entegre edilmesinin önemi ortaya atılmıştır. Bu konseptin hayata geçirilebilmesi ve dolayısıyla bahsi geçen sorunları çözebilmesi ve yeni nesil üretim kaynaklarının şebekeye dahil edilebilmesi için “Enerji İnternet” konseptinin uygulamaya geçmesinin gerekliliği belirtilmiştir. Enerji internet konsepti sayesinde güç kalitesi ve miktarı yeni nesil şebekelere uygun hale gelmiş olacaktır. Son gelişmeler ile birlikte enerji internet konseptinin faydaları görülmüş olup gelecek dönemlerde enerji şebekelerine getireceği fırsatlar ele alınmıştır. Bu tezde enerji şebekelerinin sırasıyla ilk geleneksel hali, şu anki mevcut hali ve gelecek dönemlerdeki enerji internet konseptiyle akıllı şebeke hali incelenmiştir. Bu yeni nesil konseptteki mikro şebekeler, akıllı şebekeler, sanal güç santralleri, enerji yönlendiriciler ve elektrikli araçların şarj alt yapıları şebeke entegrasyonu açısından önemli rollere sahiptir. Enerji yönlendiriciler yeni nesil şebekelerin ana bileşenini oluşturmaktadır. Ayrıca yeni nesil enerji şebekelerinin günümüze nasıl uygun hale getirileceği, karşılaşılan sorunların neler olabileceği ve ne tür yaklaşımlara ihtiyaç duyulacağı açıklanmıştır. Bu yaklaşımlar açıklanırken gerekli alt yapıya ihtiyaç duyulacağı ve bu alt yapının yenilenebilir enerji kaynakları, depolama birimleri, haberleşme teknolojileri ve pazar yönetimi gibi konuları da içermesi gerektiği vurgulanmıştır. Tüketiciler için problem olacak başlıca sorunlar; enerjiye kararlı ve kesintisiz bir şekilde ulaşım ve bilgi güvenliği olacaktır. Bu bakımdan gelecek dönem üzerinde durulması gereken başlıca meseleler bunlar olacaktır.

KAYNAKLAR

- (Last Accessed On: 02-04-2019). *E-Energy, Federal Ministry of Economics and Energy of Germany* [Online]. Available: <http://www.e-energy.de/en/index.php>.
- “10 jaar landelijk beheer, TenneT in stroomversnelling”, TenneT annual report, 2009
- “*Distributed Generation and Virtual Power Plants: Barriers and Solutions*” Master Thesis Sustainable Development – Energy and Resources
- Abe R., "Digital grid - New grid architecture for renewable energy era," presented at the International Conference on Power and Energy Engineering, 2016.
- Abe R., H. Taoka, and D. McQuilkin, "Digital Grid: Communicative Electrical Grids of the Future," IEEE Transactions on Smart Grid, vol. 2, no. 2, pp. 399-410, 2011.
- Abe R., K. Tanaka, and N. V. Triet, "Digital Grid in Japan," in *The Energy Internet: An Open Energy Platform to Transform Legacy Power Systems into Open Innovation and Global Economic Engines*, 2019, pp. 241-264.
- Academic, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014 http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/3_02855
- Ackermann et al. (2007): Ackermann T, Andersson G, Söder L.: “*Distributed generation: a definition*”, Electr Power Syst Res 2001; Vol. 57, No. 3, pp. 195–204
- Arora, N. D., Hauser, J.R., 1982. *Temperature dependence of silicon solar cell characteristics. Sol. Energy Mater.*, 6, pp. 151–158.
- Avcı, B., 2012. *Rüzgar Türbini Kanat Tasarımı ve Analizi. Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Bitirme Ödevi*, 41s, İzmir
- Bai, H., Miao, S., Ran, X., & Ye, C. (2015). “*Optimal Dispatch Strategy of a Virtual Power Plant Containing Battery Switch Stations in a Unified Electricity Market.*” Energies, 8(3), 2268–2289.
- Banerjee, S., et al. (2011) Report on the First Quadrennial Technology Review. US Department of Energy.
- Barai, G. R., Krishnan, S., & Venkatesh, B. (2015). “*Smart metering and functionalities of smart meters in smart grid - a review*”. 2015 IEEE Electrical Power and Energy Conference (EPEC).
- Basa Arsoy A., Perdahçı C., 2010. Elektrik Dağıtım Sistemlerinde Dağıtılmış Üretim, Uluslararası Enerji ve Çevre Fuarı ve Konferansı (ICCI), 13 Mayıs 2010, İstanbul.
- Bhattacharyya S., J. M. A. Myrzik, and W. L. Kling, “*Consequences of Poor Power Quality- An Overview*”, 42nd Universities Power Engineering Conference, UPEC 2007

- Cao, J. and MINGBO Y., "Energy Internet -- Towards Smart Grid 2.0," presented at the 2013 Fourth International Conference on Networking and Distributed Computing, 2013.
- Crow M. L. B. McMillin, W. Wang, and S. Bhattacharyya, "*Intelligent Energy Management of the FREEDM system*," presented at the IEEE PES General Meeting, 2010.
- DTE (2005): Retrieved from the world wide web: <http://www.facility-network.nl/law/127.pdf> Last accessed: October 2010
- Dugan et al. (2004): R.C. Dugan, M.F. McGranahan, S. Santoso, H.W. Beaty: "*Electrical Power Systems Quality*", 2nd Edition McGraw–Hill. ISBN 0-07-138622-X, 2002
- Dündar, C., *Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyelleri. TÜBA-Rüzgâr Enerjisi Teknolojileri Çalıştayı ve Paneli*, Sunum Dokümanları, 15 Sayfa, 8 Mart 2018, Ankara.
- ELİBÜYÜK,U. ÜÇGÜL İ., (2014) *Rüzgâr Türbinleri, Çeşitleri Ve Rüzgâr Enerjisi Depolama Yöntemleri*
- ETH, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, EEH Power Systems Laboratory (2005) "*Protection of power systems with distributed generation*"
- Fang, X., et al. (2012) Smart Grid—The New and Improved Power Grid: A Survey. IEEE Communications Surveys&Tutorials, 14, 944-980.
- Farhangi, H. (2010) The Path of the Smart Grid. IEEE Power and Energy Magazine, 8, 18-28
- Gao L., Y. Sun, and H. Li, "*Research on Energy Micro Grid Control System Based on the Structure of FREEDM*," presented at the IEEE 8th International Power Electronics and Motion Control Conference (IPEMC-ECCE Asia), 2016
- Görsel Wikipedia [Internet]. <http://en.wikipedia.org/wiki/Wind_farm> [cited 16.11.11].
- Hird C. M., H. Leite, N. Jenkins and H. Li, "*Network voltage controller for distributed generation*," IEE Proc. , Gener. Transm. Distrib., Vol.151, pp. 150-156, March 2004
- Hong B. , W. Zhang, Y. Zhou, J. Chen, Y. Xiang, and Y. Mu, "Energy-Internet-oriented microgrid energy management system architecture and its application in China," Applied Energy, vol. 228, pp. 2153-2164, 2018.
- Hossain, M.R., Oo, A.M. and Ali, A.S. (2013) Smart Grid. In: Ali, A.B.M.S., Ed., Smart Grids : Opportunities , Developments and Trends , Springer, London, 23-44. https://doi.org/10.1007/978-1-4471-5210-1_2
- <https://www.akillisebekelerturkiye.org/hakkinda>

- Huang A. Q., X. Yu, X. She, M. A. Rezaei, and W. Yu, "*Autonomous Control, Operation, and Protection of the FREEDM System*," in IFAC Proceedings Volumes, Cape Town, South Africa, 2014, vol. 47, no. 3, pp. 969-974.
- Huang A. Q. and Baliga, J. "*FREEDM System: Role of power electronics and power semiconductors in developing an energy internet*," presented at the 21st International Symposium on Power Semiconductor Devices & IC's, 2009.
- Huang A. Q., M. L. Crow, G. T. Heydt, J. P. Zheng, and S. J. Dale, "*The Future Renewable Electric Energy Delivery and Management (FREEDM) System: The Energy Internet*," Proceedings of the IEEE, vol. 99, no. 1, pp. 133-148, 2011.
- Huang A., "*FREEDM system - a vision for the future grid*," presented at the IEEE PES General Meeting, 2010.
- IEEE**, IEEE Application Guide for IEEE Std 1547™, IEEE Standard for Interconnecting Distributed Resources with Electric Power Systems, *IEEE Std 1547.2™-2008*.
- Jenkins N, Ekanayake JB, Strbac G. *Distributed generation*. London, UK: The Institution of Engineering and Technology, IET; 2010.
- Kapetanovic et al. (2009): T. Kapetanovic, and B.M. Buchholz, and B. Buchholz, and V. Buehner, "*Provision of Ancillary Services by Dispersed Generation and Demand Side Response – Needs, Barriers and Solutions*," Cigré session 2008, Paris, France, 2008
- Karady G. G., A. Q. Huang, and M. Baran, "*FREEDM system: An electronic smart distribution grid for the Future*," presented at the PES T&D 2012, 2012
- KarbonKale, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <http://blog.karbonkale.com/uzerinderuzgar-turbini-olan-en-buyukbina.html>
- Kavas, S., (2008). *Doğalgaz Yakıtlı Katı Oksitli Yakıt Pili Sistemi İçin Sabit Sıcaklık Buharlı Yakıt Dönüştürücü Tasarımı*. Ege Üniversitesi. Fen Bilimleri Enstitüsü. Makine Mühendisliği. Yüksek Lisans Tezi.
- Kawajiri K., Y. Kondo, H. Aki, and A. Murata, "*Simplified method to estimate grid flexibility: Application to Japanese electrical grids*," Energy, vol. 167, pp. 26-34, 2019.
- KHALED. M., G. E. Town, S. Morsalin, and M. J. Hossain, "Integration of electric vehicles and management in the internet of energy," Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 82, pp. 4179-4203, 2018.
- Kısar, O.A., 2009. Rüzgardan Enerji Üretimi ve Rüzgar Türbinlerinin Evrimi. Erişim Tarihi: 26.09.2014. http://www.emo.org.tr/ekler/86f1c29518c700e_ek.pdf?dergi=571
- KOCAMAN, B. (2016) *Mikro Şebekeler için Örnek Bir Enerji Yönetimi Uygulaması*
- Kurtaran, A. ve Yılmaz, A., (2016). *Yakıt Hücrelerinin Taşıtlarda Uygulanması, International Engineering, Science and Education Conference*, Diyarbakır.

- Liang Z. , R. Guo, J. Li, and A. Q. Huang, "A High-Efficiency PV Module-Integrated DC/DC Converter for PV Energy Harvest in FREEDM Systems," *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, no. 3, pp. 897-909, 2011.
- Liu G. , L. Qu, R. Zeng, and F. Gao, "Energy Internet in China," in *The Energy Internet: An Open Energy Platform to Transform Legacy Power Systems into Open Innovation and Global Economic Engines*, 2019, pp. 265-282.
- Mashhour, E.; Moghaddas-Tafreshi, S. "A review on operation of micro grids and virtual power plants in the power markets". In *Proceedings of the 2nd International Conference on Adaptive Science & Technology (ICAST)*, Accra, Ghana, 14–16 January 2009; pp. 273–277
- Megha P.B (2019) "A Detailed Survey Of Energy Internet" ,Master Thesis
- METALdünyası, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014. <https://www.metaldunyasi.com.tr/haber/detay/565>
- Okur, O., (2012). *Doğrudan Sodyum Borhidrürlü Yakıt Pili Anot Ve Katot Elektrokatalizörünün Sentezi Ve Karakterizasyonu*. Hacettepe Üniversitesi. Kimya Ana Bilim Dalı. Doktora Tezi.
- OlofssonM., 'PowerqualityandEMCinsmartgrid', 10.In:Internationalon electric powerqualityandutilisationconference; September 12–172009 Lodz-Poland. p.1–6
- Online erişime açık <https://www.aselsan.com.tr/tr/cozumlerimiz/enerji-sistemleri/enerji-yonetimi-ve-akilli-sebeke-sistemleri/mikro-sebeke-sistemleri#tr> Mikro şebeke sistemleri
- ÖZKILINÇ,Hava H., 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014 <http://hilalhavvaozkilinc.tr.gg/11-Hafta-Hava-Grubu.htm>
- ÖZTÜRK H.Hüseyin, *Güneş Enerjisinden Fotovoltaik Yöntemle Elektrik Üretiminde Güç Dönüşüm Verimi Ve Etkili Etmenler*
- Öztürk, H.H., Kaya, D. 2013.*Güneş Enerjisinden Elektrik Üretimi Fotovoltaik Teknoloji, Umuttepe Yayınları, Yayın No:97, ISBN:978-605-5100-001.*
- Öztürk, H.H.2008. *Güneş Enerjisi ve Uygulamaları, BİRSEN Yayınevi, İSTANBUL, ISBN 978- 975-511-502-3.*
- Papathanassiou, S. A. (2007): "A technical evaluation framework for the connection of DG to the distribution network," *Electr. Power Syst. Res.*, Vol. 77, No. 1, pp. 24–34, Jan. 2007
- Pudjianto, D.; Ramsay, C.; Strbac, G. "Virtual power plant and system integration of distributed energy resources". *IET Renew. Power Gener.* 2007, 1, 10–16.
- Qing D., M. Chunyan, S. Wanxing, and S. Changkai, 2014, "Research on power quality control in distribution grid on energy router," presented at the International Conference on Power System Technology.

- Rifkin J, *The third industrial revolution: how lateral power is transforming energy, the economy, and the world*. New York: Palgrave MacMillan, 2011.
- RUONAN H. ,W.Wang, W. Ma, X. Wu, and F. Tang, "Application of Power Electronic to Energy Internet," presented at the 12th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2017.
- Saboori, H., Mohammadi, M., & Taghe, R. (2011). "Virtual Power Plant (VPP), Definition, Concept, Components and Types". 2011 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference.
- Shaukat N. *et al.*, "A survey on consumers empowerment, communication technologies, and renewable generation penetration within Smart Grid," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 81, pp. 1453-1475, 2018.
- She X. , S. Lukic, A. Q. Huang, S. Bhattacharya, and M. Baran, "Performance evaluation of solid state transformer based microgrid in FREEDM systems," presented at the Twenty-Sixth Annual IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2011.
- Staudt P. , M. Schmidt, J. Gärttner, and C. Weinhardt, "A decentralized approach towards resolving transmission grid congestion in Germany using vehicle-to-grid technology," *Applied Energy*, vol. 230, pp. 1435-1446, 2018.
- Strasser T. *et al.*, "A Review of Architectures and Concepts for Intelligence in Future Electric Energy Systems," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 4, pp. 2424-2438, 2015.
- The Institution of Engineering and Technology, Distributed Generation, www.theiet.org/factfiles
- TURKAY, B. "Dağıtılmış Enerji Kaynakları İçeren Şebeke Tasarım Önerisi" İTÜ Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
- Turkey Smart Grid 2023 Vision and Strategy Roadmap Summary Report
- UMUT Telekom, 2014. Erişim Tarihi: 27.09.2014.
http://umuttelekom.com.tr/telekom/hi_zmetlerimiz/enerj/ruezgar.html
- UZUN S., (2015) "Üretim Tesislerinin Şebeke Entegrasyon Etkileri ve Şebeke Uyumluluğunun Güç Sistem Analizleriyle Uygulamalı Değerlendirilmesi"
- Wakiyama T. and Kuriyama A., "Assessment of renewable energy expansion potential and its implications on reforming Japan's electricity system," *Energy Policy*, vol. 115, pp. 302-316, 2018.
- WALİD, El-K. , M.M.A. Salama,2004,*Distributed generation technologies, definitions and benefits*
- Wang, K. *et al.*, "A Survey on Energy Internet: Architecture, Approach, and Emerging Technologies," *IEEE Systems Journal*, vol. 12, no. 3, pp. 2403-2416, 2018.

- Yenilmez M., (2016) “*Akıllı Şebeklerde (Smart Grid) Dağıtım Sistem Otomasyondaki Gelişmeler*” Lisans Tezi Mekatronik Mühendisliği
- Yi P., T. Zhu, B. Jiang, B. Wang, and D. Towsley, "An energy transmission and distribution network using electric vehicles," presented at the IEEE International Conference on Communications (ICC), 2012.
- Yuan J., J. Shen, L. Pan, C. Zhao, and J. Kang, "Smart Grids in China," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 37, pp. 896-906, September 2014 2014.
- Zhou K., S. Yang, and Z. Shao, "*Energy Internet: The business perspective*," *Applied Energy*, vol. 178, pp. 212-222, 2016.
- Zhu J. , P. Xie, P. Xuan, J. Zou, and P. Yu, "Renewable energy consumption technology under energy internet environment," presented at the IEEE Conference on Energy Internet and Energy System Integration (EI2), 2017.
- Zobaa Ahmed F. (2020) Junwei Cao Editors “*Energy Internet Systems and Applications*”