HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ İLE ENTEGRE AKILLI ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE SİMULASYONU

Ömer AYDIN

Yüksek Lisans Tezi

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Bilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Zafer DEMİR

Eskişehir

Eskişehir Teknik Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Ağustos 2020

ÖZET

HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ İLE ENTEGRE AKILLI ŞEBEKENİN MODELLENMESİ VE SİMULASYONU

Ömer AYDIN

İleri Teknolojiler Anabilim Dalı

Enerji Kaynakları ve Yönetimi Bilim Dalı

Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Ağustos 2020

Danışman: Prof. Dr. Zafer DEMİR

Giderek artan dünya nüfusu ve fosil yakıt rezervlerinin azalan bir eğri oluşturması sebebiyle enerji kaynağı olarak alternatif arayışlara yönelinmiştir. Fosil yakıtların oluşum hızı, tüketim miktarının yıllara göre artmasına paralel bir süreç sergilememektedir. Günümüzde ne kadar alternatif öneriler ortaya atılsada henüz bunları tercih etme yoluna tam anlamıyla gidilememiştir. Enerji üretimi açısından ön plana çıkan kömür, petrol, doğalgaz gibi fosil yakıtların tüketimi ve bu kaynakların doğada hızla tükenmesi bizlerin yenilenebilir enerji kaynakları kullanımını zorlaştırmıştır. Bu enerji kaynaklarının avantajları incelendiğinde en önemli özelliklerinden biri hibrit olarak kullanılabilmeleridir. Hibrit sistemler farklı enerji kaynaklarının birlikte kullanımına ve yenilenebilir enerji kaynaklarının mevcut sisteme entegrasyonuna olanak sağlamaktadır. Bu çalışma hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin örnekleri ve mevcut sistemlere entegrasyonunun nasıl yapılacağı hakkında bilgi vermektedir. Önemli mali destekler sonucunda bu sistemler günümüzde kurulmaya ve kullanılmaya başlanmıştır; ancak bu sistemlerin kurulumu için alt yapının güçlendirilmesi ve araştırma-geliştirme çalışmalarının arttırılması gerekmektedir. Rüzgar, güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının stabilitesi ortam koşullarına bağlı olduğu için akıllı şebekelere entegrasyonu ile iletim ve dağıtım konusunda enerji arz güvenliğini daha üst noktalara taşımış olur. Bu çalışmada yenilenebilir enerji sistemlerinin modellemesi yanında akıllı şebekelere entegrasyonu da incelenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Yenilenebilir, Hibrit, Akıllı Şebekeler, Modelleme

ABSTRACT

MODELING AND SIMULATION OF SMART GRID INTEGRETED WITH HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEMS

Ömer AYDIN

Department of Advanced Technologies

Programme in Energy Resources and Management

Eskişehir Technical University, Institute of Graduate Programs, August 2020

Supervisor: Prof. Dr. Zafer DEMİR

Due to the increasing world population and fossil fuel reserves forming a decreasing curve, they have sought alternative searches as an energy source. The rate of formation of fossil fuels does not show a process parallel to the increase in consumption amount over the years. Today, no matter how alternative suggestions have been put forward, it has not been possible to choose them yet. The consumption of fossil fuels such as coal, petroleum, natural gas, which come to the fore in terms of energy production, and the rapid depletion of these resources in nature have made it difficult for us to use renewable energy sources. When the advantages of these energy sources are examined, one of its most important features is that they can be used as hybrid. Hybrid systems allow the use of different energy sources together and the integration of renewable energy sources into the existing system. This study provides information about examples of hybrid renewable energy systems and how to integrate them into existing systems. As a result of important financial supports, these systems have started to be established and used today; however, the infrastructure and strengthening of research and development activities should be increased for the installation of these systems. As the stability of renewable energy sources such as wind and solar depends on the ambient conditions, it increases the energy supply security in terms of transmission and distribution with its integration into smart grids. In this study, besides the modeling of renewable energy systems, their integration into smart grids was also examined.

Keywords: Renewable, Hybrid, Smart Grid, Modelling

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam sırasında kıymetli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile bana yol gösterici ve destek olan değerli danışman hocam sayın Prof. Dr. Zafer DEMİR'e sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Ömer AYDIN

17/08/2020

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Bu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ve kurallara uygun davrandığımı; bu çalışma kapsamında elde edilen tüm veri ve bilgiler için kaynak gösterdiğimi ve bu kaynaklara kaynakçada yer verdiğimi; bu çalışmanın Eskişehir Teknik Üniversitesi tarafından kullanılan "bilimsel intihal tespit programı"yla tarandığını ve hiçbir şekilde "intihal içermediğini" beyan ederim. Herhangi bir zamanda, çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması durumunda, ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçları kabul ettiğimi bildiririm.

Ömer AYDIN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

BAŞLIK SAYFASI ..... **İ**

JÜRİ VE ENSTİTÜ ONAYI ..... **İİ**

ÖZET ..... **İİİ**

ABSTRACT ..... **İV**

TEŞEKKÜR ..... **V**

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ ..... **Vİ**

İÇİNDEKİLER ..... **Vİİ**

TABLOLAR DİZİNİ ..... **İX**

ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **X**

GÖRSELLER DİZİNİ ..... **Xİİİ**

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ ..... **XİV**

1. GİRİŞ **1**

2. TÜRKİYE POTANSİYELİ **3**

2.1. Tarihçe **3**

2.2. Güncel Durum **5**

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI **9**

3.1.1. Güneş Enerjisi **12**

3.1.2. Rüzgar Enerjisi **13**

3.1.3. Hidroelektrik **15**

3.1.4. Jeotermal Enerji **17**

3.1.5. Biyokütle Enerjisi **19**

3.1.6. Dalga Enerjisi **20**

4. HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ **20**

4.1. Hibrit Enerji Sistemleri İçin Optimizasyon Kriteri **23**

4.1.1. Ekonomik Optimizasyon **23**

4.1.2. Teknik Optimizasyon **23**

4.1.3. Çevresel faktörler 24

5. HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ 25

5.1. Hibrit Güneş/Rüzgar/Akü/Dizel Jeneratör Sisteminin Modellemesi 26

5.1.1. Rüzgar Enerjisi Modellemesi 27

5.1.2. Güneş Enerjisi Modellemesi 31

5.1.3. Akü Modellemesi 39

5.1.4. Dizel Jeneratör Modellemesi 41

5.2. Bağımsız Hibrid Fotovoltaik/Rüzgar/Dizel/Akü Enerji Sistemlerinin Boyutlandırılması Ve Akıllı Şebekeler 42

5.3. Akıllı Şebekeler 50

5.3.1. Akıllı Şebekelerde İletim & Dağıtım Sistemleri ve Geleceği 54

5.3.2. Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri 58

5.3.2.1. Elektriksel Depolama Yöntemleri 58

5.3.2.2. Mekaniksel Enerji Depolama Yöntemleri 63

5.3.2.3. Kimyasal Enerji Depolama Yöntemleri 63

5.3.2.4. Termal Enerji Depolama Yöntemleri 64

5.3.3. Akıllı Şebeke Yapısı 65

5.3.3.1. Heterojen Bilişim Teknolojileri Sistem Yapısı 67

5.3.3.2. Bilişim Teknolojileri Sistemleri 68

5.3.3.3. Teknik Açıdan Entegrasyon 69

5.3.3.4. Entegrasyon Katmanları 69

5.4. Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması İçin Akıllı Şebeke Uygulaması 70

5.5. Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Şebeke Entegrasyon Teknikleri 77

6. SONUÇ 81

KAYNAKÇA 83

ÖZGEÇMİŞ

TABLOLAR DİZİNİ

Sayfa

Tablo 3.1. Yenilenebilir enerji çeşitleri 10
Tablo 3.2. Gelişen teknolojiler tablosu 10
Tablo 3.3. Eski teknolojilerin çeşitleri 10
Tablo 5.1. İdealite faktörü tablosu 33
Tablo 5.2: 15 günlük Bursa Rüzgar Hızı, Solar Radiation ve Sıcaklık verileri 45
Tablo 5.3. Akıllı şebekelerin ekonomiklik, güvenilirlik ve çevresel etmenler açısından avantajlarının değerlendirilmesi 53
Tablo 5.4. Mevcut Şebekeler ile Akıllı Şebekeler arasındaki farklar 57
Tablo 5.5. Akıllı şebeke yapısının sınıflandırılması 65
Tablo 5.6. Yaygın enerji üretimi türleri ve bunların tercih edilen ara yüz teknolojileri 78

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 1.1. Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Tablo ve Grafik Şeklinde Gösterimi 2
Şekil 2.1. Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi 6
Şekil 2.2. 2019 yılı kaynak bazında kümülatif elektrik enerjisi üretimi..... 7
Şekil 2.3. Birincil kaynaklara göre kurulu güç-Ocak 2020 8
Şekil 2.4. Türkiye yenilenebilir kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2014-2018)..... 9
Şekil 3.1. Türkiye güneşlenme süreleri [saat] 12
Şekil 3.2.Türkiye global radyasyon değerleri[kWh/m^2-gün] 13
Şekil 3.3. 2017 ile 2018 arasındaki yeni kurulumlardaki değişiklikler-Rüzgar enerjisi..... 14
Şekil 3.4. Yeni kurulum 2018, Kara-Rüzgar enerjisi 15
Şekil 3.5. Yıllar Boyunca Hidrogüç Kapasitesi Artış Oranları 16
Şekil 3.6. Enerji Üretim Kaynaklarına Göre Karbon Salınımı..... 17
Şekil 3.7. Avrupa'da jeotermal enerji kullanımı 18
Şekil 3.8. Avrupa Kıtası Kapasite Artırım Dağılımı 18
Şekil 3.9. 2050 yılında enerji kullanımında biyokütle potansiyeli 19
Şekil 4.1. Hibrit güç sistemi örneği 21
Şekil 4.2. *Avrupa kıtasında hibrit ve hibrit olmayan yenilenebilir enerji sistemleri üzerine yapılan çalışmaların dağılımı* 22
Şekil 4.3. Çevresel Faktörler - Sıcaklık/Rüzgar Hızı 24
Şekil 4.4. Türkiye Bursa solar ışınım grafikleri 25
Şekil 5.1. Türbin gövdesinin açısı 27
Şekil 5.2. λ ve C_p karşılaştırması 29
Şekil 5.3. SIMULINK'te kullanılan blok (per unit-pu)..... 30
Şekil 5.4. Rüzgar türbinin SIMULINK modeli 30
Şekil 5.5. Farklı rüzgar hızlarında λ-Türbin gücü karşılaştırması..... 31
Şekil 5.6. Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi..... 32
Şekil 5.7. Fotovoltaik hücre SIMULINK modeli 34
Şekil 5.8. Denklem 5.13'un SIMULINK modellemesi 35
Şekil 5.9. I_{ph} değerinin hesaplandığı SIMULINK modeli 35

Şekil 5.10. Fotovoltaik akımın a. Hücre sıcaklığına ve b. Güneş ışınımına göre değişimi 36
Şekil 5.11. Belli koşullar altında bir hücrenin PV(güç-gerilim), VI(gerilim-akım), IV(akım-gerilim) grafikleri 36
Şekil 5.12. Seri ve paralel bağlı PV sistemlerin şematik gösterimi 37
Şekil 5.13. Seri ve paralel bağlı modül SIMULINK çalışması 37
Şekil 5.14. Tek bir fotovoltaik hücre için kısa devre akımı ve açık devre voltajının gösterimi 38
Şekil 5.15. Rüzgar gücü 46
Şekil 5.16. Solar güç 47
Şekil 5.17. Solar radyasyon 48
Şekil 5.18. Rüzgar hızı 49
Şekil 5.19. 15 günlük belirlenen bölgenin güç beslemesinin dağılımı 50
Şekil 5.20. Akıllı şebekenin özet görüntüsü) 51
Şekil 5.21. Konvansiyonel sistemin yapı taşları 52
Şekil 5.22. Akıllı şebekelerin Güç ve İletişim Altyapısı 55
Şekil 5.23. Konvansiyonel ve akıllı şebekelerin karşılaştırılması 57
Şekil 5.24. Süperkapasitör/Akü/PV hibrit sistemi SIMULINK modeli 59
Şekil 5.25. ASP610-B230 IV-PV karakteristiği 60
Şekil 5.26. ASP610-B230 modeli parametre girişleri 60
Şekil 5.27. JRM 160M IV-PV karakteristiği 61
Şekil 5.28. Örnekleme için sisteme girilen güneş ışınım ve sıcaklık değişimi grafikleri 61
Şekil 5.29. P_PV/P_Load/P_Batt/P_Cap grafikleri-ASP610/B230 62
Şekil 5.30. P_PV/P_Load/P_Batt/P_Cap grafikleri-JRM160M 62
Şekil 5.31. Akıllı Şebeke Yapı Elemanları 65
Şekil 5.32. Önerilen hibrit PV / rüzgar / dizel / pil enerji sisteminin şematik diyagramı. 71
Şekil 5.33. Örnek bir hibrit sisteminin MATLAB Simulink ile modellenmiş hali 74
Şekil 5.34. Örnek bir hibrit sistemin parçası olan dizel jeneratörün Simulink ile modellenmesi 74
Şekil 5.35. Örnek bir hibrit sistemde Güneş enerjisi için Irradiance değerlerinin MATLAB Simulink Lookup tablosuna işlenmesi 75

Şekil 5.36. Örnek bir hibrit sistemde Rüzgar enerjisi için rüzgar profil değerlerinin MATLAB Simulink Lookup tablosuna işlenmesi 76
Şekil 5.37.Örnek bir hibrit sistemde yük tarafının Simulink kullanılarak modellenmesi 76
Şekil 5.38. Örnek bir hibrit sistemin simülasyonu 77

GÖRSELLER DİZİNİ

Sayfa

Görsel 5.1. Akıllı şebekelerin sisteme sağladığı avantajlar 66
Görsel 5.2: Akıllı şebekelerin önemli iki kaynağı 66
Görsel 5.3. Heterojen Bilişim Teknolojileri Sistem Yapısı 67
Görsel 5.4. Entegrasyon katmanları 70

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

kW	:	kilowatt
MW	:	megawatt
GW	:	gigawatt
TEK	:	Türkiye Elektrik Kurumu
TEP	:	Ton Eşdeğer Petrol
IEA	:	International Energy Agency
HES	:	hidroelektrik Santral
TWh	:	terawatt saat
IHA	:	International Hydropower Association
EGEC	:	The Voice of Geothermal in Europe
PV	:	fotovoltaik
C_P	:	güç katsayısı
ρ	:	hava yoğunluğu (kg/m3)
A	:	rotor kanatlarının (m2) yakaladığı alan
u	:	ortalama rüzgar hızı (m/s)
λ	:	uç hız oranı
β	:	türbin gövdesinin açısını
P_{m_pu}	:	ρ ve A'nın belirli değerleri için nominal gücün pu değeri
c_{p_pu}	:	Cp maksimum değerinin pu cinsinden performans katsayısı
$v^3_{rüzgar_pu}$	:	Temel rüzgar hızının pu cinsinden rüzgar hızı
k_P	:	c_{p_pu} = 1 pu ve $v_{rüzgar_pu}$= 1 pu için güç kazancı
$P_{RT,ORT}$	:	rüzgar türbininin ortalama gücü
I_{ph}	:	fotonların ürettiği akım
R_s	:	seri direnci
R_{sh}	:	paralel direnci
n	:	ideallik faktörü
I	:	fotovoltaik hücre çıkış akımı
V	:	fotovoltaik hücrenin çıkış gerilimi
I_0	:	diyotun ters doyma akımı (A)

k	:	Boltzmann sabiti (1.38 × 10-23 Joule/Kelvin)
T_c	:	hücre çalışma sıcaklığı (Kelvin)
q	:	elektron yükü (1.602 × 10-19 Coulomb)
T_a;	:	ortam sıcaklığıdır [0C]
$NOHS$	:	nominal çalışma hücre sıcaklığıdır [0C]
G_t	:	referans güneş ışınım miktarı (W/m2)
I_{sh}	:	paralel dirençten geçen akım
I_{SC}	:	25 ºC ve 1000 W/m² deki kısa devre akımı(A)
K_i	:	hücrenin kısa devre akımı sıcaklık katsayısı (Amper / Kelvin)
G	:	güneş ışınımı (Watt / metre2)
G_r	:	referans güneş ışınımı (1000 Watt / metre2
T_r	:	referans sıcaklık(298,7Kelvin)
N_s	:	seri bağlı hücrelerin sayısı
N_p;	:	paralel bağlı hücrelerin sayısı
I_{SC}	:	kısa devre akımı
Voc	:	açık devre voltajı
$P_{FV,maks}$	:	maksimum panel gücü
$t_{deşarj}$	:	akü deşarj süresi
C	:	akü kapasitesi (AmperSaat değeri)
I	:	çekilen akım
H	:	nominal deşarj süresi
k	:	Peukert katsayısı
$E_A(t)$ ve $E_A(t-1)$	:	sırasıyla (t) ve (t-1) zamanlarında pil şarjı olduğunda enerjilerini
σ	:	saatlik kendi kendine deşarj oranını
$E_{TEJ}(t)$	:	hibrit fotovoltaik ve rüzgar tarafından üretilen toplam enerjiyi
$E_Y(t)$	:	t zamanında yükü
η_{inv}	:	invertör verimliliği
$\eta_{Akü}$	:	akü şarj verimliliği
$E_{A,max}$	:	maksimum depolama kapasitesi
$E_{A,min}$	:	minimum depolama kapasitesi
E_{NDK}	:	akünün nominal depolama kapasitesi

DOD	:	akünün maksimum deşarj derinliği
$D_f(t)$	:	L/h cinsinden dizel jeneratörün saatlik yakıt tüketimi,
$P_{Dizel}(t)$	:	dizel jeneratörün saat başına ortalama gücüdür, kW
P_{Dag}	:	dizel jeneratörün anma gücüdür, kW
α_D ve β_D	:	yakıt tüketimi eğrisinin katsayılarıdır, L / kWh
$P_{YapayYük}$	:	yapay yük
$P_{Rüzgar}(t)$	:	t zamanında rüzgardan elde edilen güc
$P_{Akü,Şarj}(t)$	:	t zamanında akü şarj gücü
$P_{Yük}(t)$	:	t zamanında yük
$P_{FV}(t)$	:	t zamanında fotovoltaik güç
$\eta_{Akü,Şarj}$	:	akü şarj verimi
$P_{Akü,deşarj}(t)$	:	t zamanında akünün deşarj gücü
$\eta_{Akü,Deşarj}$	:	akü deşarj verimliliği
YKO	:	yük kaybı olasılığı
P_{DOY_top}	:	tüm akü şarj modu durumlarında karşılanmamış düşük öncelikli yük
$P_{YOY}(t)$	:	yüksek öncelikli yük
$P_{DOYSG}(t)$	:	düşük öncelikli yüke sağlanan güç
YKO_{YOY}	:	yüksek öncelikli yükün, yük kaybı olasılığı
$P_{Dizel}(t)$	:	t zamanında dizel jeneratör gücü
$P_{Dizel,maks}(t)$	:	t zamanında maksimum dizel jeneratör gücü

1. GİRİŞ

Hibrit yenilenebilir enerji kaynakları güvenlik açısından yüksek önem taşımasının yanında, bunların akıllı bir şebeke sistemine entegrasyonu ile ülkelerin enerji ihtiyaçlarının doğru şekilde kullanılması gibi olumlu sonuçlar yaratılmaktadır. Hibrit sistemler kısaca, birçok yenilenebilir enerji kaynağından elde edilen elektriğin tek bir çatı altında yönetilmesidir. Akıllı şebekeler ise, tüketici ile elektrik enerjisi üretim noktasının entegre bir şekilde çalışmasına olanak sağlayan sistemlerdir.

Hibrit sistemler ve akıllı şebekeler günümüzde geliştirilmeye açık yeni araştırma konularıdır. Hibrit enerji sistemleri: güneş, rüzgar, biomass, hidroelektrik, jeotermal vb. gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşur. Hibrit yenilenebilir sistemler için dünya üzerinde en çok çalışma yapılan çeşit, solar-rüzgar hibrit santraller olmuştur. Akademik çalışmaların yönü genellikle solar/rüzgar/fuel oil hibrit sistemlere doğrudur. Türkiye'de ise çalışmaların büyük bir çoğunluğu solar/rüzgar hibrit sistemleri üzerine olmuştur. Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin avantajlarına baktığımızda; sürekli güç beslemesi, yenilenebilir enerji kaynaklarını en iyi şekilde kullanma, düşük bakım maliyetleri, yüksek verim, yük yönetimi, düşük emisyon diyebiliriz. Hibrit sistemler sadece yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanmazlar, birincil ve yenilenebilir enerji kaynakları ile de hibrit bir sistem oluşturulabilir.

Akıllı şebekelerin kullanımını destekleyici uygulamaların dünya genelinde hız kazanmasıyla birlikte, yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretim tesislerinin mevcut iletim ve dağıtım sistemlerine dahil olması daha kolay olmaktadır. Yüksek kapasiteli GES ve RES tarlarının oluşturulması ve bunların akıllı şebekeye dahil edilmesi örnek verilebilir. Akıllı şebekelerde, akıllı sayaçlar sayesinde kullanıcı tarafı takibinin yapılması ve enerji arzının buna göre düzenlenmesi ile merkezileşmeden uzaklaşılmaktadır. Akıllı şebeke çalışmaları genel olarak elektrik enerjisi üretim sistemleri üzerine yoğunlaşmıştır; ancak doğal gaz da önemli enerji girdisi olması sebebiyle, kullanıcı ve tedarikçi arasında akıllı bir kontrol sistemi kurularak, farklı disiplinlerde de bu akıllı şebeke yapılarının yaygınlaştırılmaya çalışıldığı görülmektedir.

Dünya üzerinde halen fosil kaynaklı elektrik üretim tesisleri yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Bunun sonucu oluşan küresel ısınma, günümüzde sürdürülebilirlik açısından büyük bir tehdit oluşturmaktadır. Karbondioksit salınımı yapan geleneksel elektrik üretim tesisleri ile yaşamın devamlılığını etkileyen küresel ısınma problemi

arasında ciddi bir ilişki mevcuttur. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, karbondioksit emisyonlarında ciddi bir düşüşe sebebiyet vermektedir. Türkiye günümüzde, yaklaşık olarak enerji kaynaklarının %70'ini ithal etmektedir (Bayraç, 2009). Bu ithalat için yapılan harcamalar ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir ve alternatif enerji kaynaklarının değerlendirilmesi gerekmektedir. Dünyada ekonomik büyüme ve elektrik tüketimi arasında sıkı bir ilişki bulunduğu Şekil 1.1'de Türkiye özelinde yapılan karşılaştırmadan gözlemlenmektedir. Ekonomik büyüme ve elektrik tüketimi aynı yönde paralel olarak değişmektedir. Sonuç olarak üretmek için tüketmemiz gerekmektedir.



	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Elektrik Tüketimi	7,70%	4,40%	-3,10%	9,70%	8,20%	4,70%	1,60%	4,70%	4,80%	6,40%	7,70%	0,80%
Ekonomik Büyüme	4,70%	0,70%	-4,80%	9,20%	8,80%	2,10%	4,00%	2,90%	4,00%	2,90%	7,40%	2,60%

Şekil 1.1. *Elektrik Tüketimi ile Ekonomik Büyüme Arasındaki İlişkinin Tablo ve Grafik Şeklinde Gösterimi*

İthal edilen enerjinin azaltılması için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, ülkemiz adına çok önemlidir. Kalite ve sürüdürülebilirlik bakımından mevcut fosil enerji kaynaklı elektrik santrallerine ek olarak, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanıldığı enerji sistemlerinin dahil edilmesi ve iletim-dağıtım sistemlerinin daha akıllı sistemler haline dönüştürülmesi gerekmektedir.

Akıllı şebeke çalışmaları daha çok disiplinler arası çalışmalar ile yürütülmektedir. Dağıtılmış üretim merkezleri olarak rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük ölçekli planlaması, akıllı şebekeler ile mümkün olabilmektedir.

Akıllı şebekelerin kurulumu, enerji yönetim sisteminin tam olarak kullanıldığı anlamına gelmemelidir. Teknolojik gelişmelerin sürekli takip edilmesi ve bu yeni teknolojilerin mevcut sistemlere kolay uygulanabilirliği ile akıllı şebekelerin enerji yönetim sistemine tam olarak dahil edilmesi sağlanacaktır. Akıllı şebekelerin olduğu

enerji yönetim sisteminde tüketicilerin eğitimi, şebekeyi yaygınlaştırma çalışmaları, yeni teknolojilerin kolayca uygulanabilirliği gibi konular da irdelenmelidir.

Bu çalışmada hibrit enerji üretim sistemlerinin modellemesi yapılmıştır. Bu modellemelerin asıl amacı, günümüzde kullanımı yaygınlaşmakta olan yenilenebilir kaynaklardan enerji üretim sistemlerinin, mevcut iletim-dağıtım hatlarına entegrasyonu yapıldığındaki tepkilerini incelemektir. Bu incelemeler tek bir yenilenebilir enerji kaynağı için değil, hibrit sistemler için düşünülmüştür; ancak, çalışmada sistemler ayrı ayrı incelenerek, hibrit sistem haline getirilmiştir. Bu modellemeler için Matlab ve SIMULINK kullanılarak çalışmalar yapılmıştır. Daha sonra örnek bir hibrit sistemin, akıllı şebekelere entegrasyonunun nasıl yapılması gerektiği sorusuna cevap aranmıştır.

Dünya nüfusu ve ihtiyaçların giderek artması sebebiyle, alternatif sistemler için araştırma ve geliştirme faaliyetlerinin yapılması gerekmektedir. Gelecekteki en büyük problemlerden biri olacak, enerji arzı konusunda şimdiden önlemler alınması çok önemlidir. Geleneksel enerji üretim, dağıtım altyapısı ve yönetim sistemlerinin yetersiz olması sebebiyle enerji üretim sistemleri alarm vermektedir. Enerji kaynakları kullanımını uzun vadede planlayarak, oluşabilecek sorunların önüne geçilmesini zorunlu hale getirmiştir.

2. TÜRKİYE POTANSİYELİ

2.1. Tarihçe

Ülkemizin enerji tarihçesine baktığımızda Mersin'in Tarsus ilçesinde 2 kW kurulu güç ile hidroelektrik enerji santrali bir ilktir. Hidroelektrik santrallerinin Türkiye enerji geçmişinde büyük bir öneme sahip olduğu gözükmektedir. O dönemlerde bol su kaynaklarını kullanarak elektrik enerjisi üretiminde ilk adımlarını atmış bir ülkedir.

Türkiye'nin elektrik enerjisi üretimine periyotlar şeklinde bakıldığında aşağıdaki dönemleri incelememiz gerekir.

1. İmtiyazlar ve dağınık uygulamalar dönemi (1970'e kadar)

2. Bütünleşme (Yarı Tekel) Dönemi (1970-1982)

3. Kamu Tekeli Dönemi (1982-1983)

4. Özel sektöre açılım dönemi (YİD,Yİ, İHD, Otoprodüktör) (1984-2001)

5. Piyasa Dönemi(2001)

6. Serbest (Rekabetçi) Piyasa Dönemi (Tutuş, 2006)

Yukarıda belirtilen dönemler 70'li yılların öncesini de kapsayacak şekilde oluşturulmuştur. Dönemleri ayrıntılı inceleyerek Türkiye'nin enerji potansiyelinin değişimini görmüş oluruz.

Birinci dönem; Mersin'in Tarsus ilçesinde 2 kW'lık hidroelektrik enerjinin kullanımıyla 1902 yılında başlar ve 1970 yılı ile son bulur. Türkiye Cumhuriyeti bu dönemlerde yurt dışı kaynaklı firmaların ülkemizde elektrik enerjisi üretim santralleri kurmasına izin vermiştir. Bu döneme imtiyaz ve dağınık uygulamalar dönemi denilmesinin sebebi ise yabancı şirketler ile yapılan anlaşmalar ve bu dönemde anlaşılan firmaların birden fazla olmasıdır. Kronolojik olarak Türkiye Cumhuriyeti'nin enerji tarihçesi bu dönem için incelendiğinde, 1923 yılında kurulu güç 33MW civarlarındadır, 30'lu yıllarda ise elektrik enerjisinin kullanım alanları genişlemiştir. Hidroelektrik santrallerinin Türkiye Cumhuriyeti'nin geçmişinde önemli bir yer tutması sebebiyle su kaynaklarının kontrolü 1954 yılında kurulan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğüne teslim edilmiştir.

İkinci Dönem; elektrik enerjisi üretiminin sadece aydınlatma için kullanımının bırakıldığı bu dönem 70'li yıllar ile başlayıp, 1982 yılına kadar sürmektedir. O yıllarda elektrik enerjisi tüketimi ülke nüfusuna paralel olarak artmaya başlamıştır. Bu dönemde Türkiye Elektrik Kurumu kurulmuş ve sektörde birinci dönemin izlerini taşıyan dağınıklık giderilmeye başlanmıştır. Bu dönemin en önemli özelliği ise enterkonnekte sistemin gelişmesidir. Santrallerin su kaynaklarının bol olduğu bölgelere kurulması sebebiyle bazı yerleşim bölgelerine uzak kalmaktadır. Enterkonnekte sistemler ise bu durum için o dönemin en önemli çözümüdür. Hidroelektrik santral kurulumları bu dönemde de devam etmiştir. Dönemin en meşhurları Atatürk, Keban, Karakaya, Altınkaya ve Oymapınar hidroelektrik enerji santralleridir. İçlerinde 2400 MW kurulu gücü ile Atatürk Hidroelektrik Santrali en önemli proje olmuştur (Tutuş, 2006).

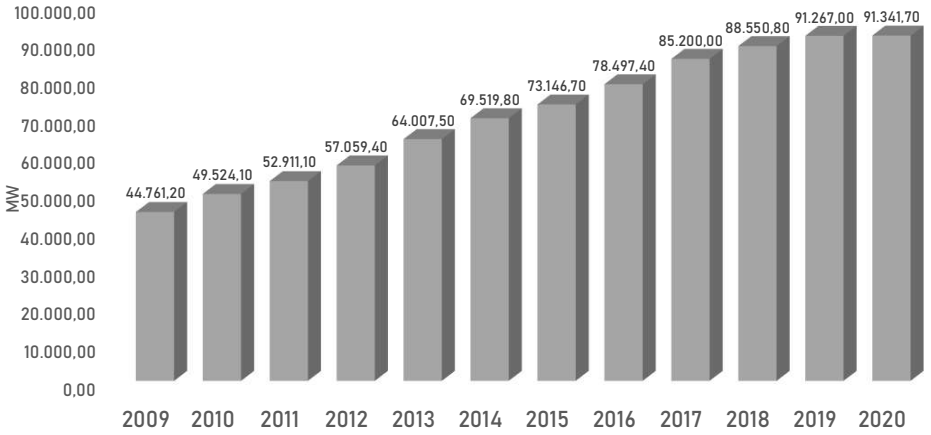
Üçüncü dönem; 1982-1983 yılları arasında bir senelik dönemi içermektedir. Bu süreçte elektrik dağıtım şebekeleri belediyelerden alınarak Türkiye Elektrik Kurumu bünyesine geçirilmiştir. Dönem bu sebeple kamu tekeli olarak anılmaktadır.

Dördüncü dönem; 1984 yılı itibariyle başlayarak ve 2001 yılına kadar sürer. Bu süreçte TEK tekeli kaldırılmıştır. Bu dönemde arz güvenilirliği problemleri artmaya başlamış ve sonuç olarak özelleştirme çalışmalarına izin verilmiştir. Yap İşlet, Yap İşlet Devret, İşletme Hakkı Devri uygulamaları devreye sokulmuştur. En kritik dönem 90'lı yıllar olmuştur. Bu yıllarda yeterli yatırım yapılmaması sebebiyle enerji arz-talep skalası zarar görmüştür. Dönemin sonlarına doğru enerji ithalatı artmaya başlamış ve dışarıya bağımlı hale gelinmiştir.

Beşinci ve altıncı dönem; 2001 yılında günümüze olan süreçtir. 2001 Mart ayında Elektrik Piyasası Kanunu yürürlüğe girmiş ve 2002 Eylül ayında uygulanmaya başlanmıştır. Elektrik Piyasası Kanunu'nun çıkartılma sebebi, 3096 sayılı kanunun çerçevesinde uygulanan modellerin başarısız olmasıdır. Bu dönem içerisinde elektrik arz güvenliği, kalitesi, sürekliliği ve çevreyle uyumluluğu konuları ön plana çıkmaya başlamıştır. Dönemin son gelişmelerinden biri de bağımsız bir düzenleme ve denetleme sistemini kurmaktır. Tüm dönemler incelendiğinde ülkemizde elektrik enerjisi üretiminin artması için artan nüfusa paralel olarak önlemler alınmaya çalışıldığı gözlemlenmektedir. Bu kapsamda sadece fosil kaynaklı yakıtların ithalatına yapılan yatırımların yanında yenilenebilir enerji kaynaklarına da yönelmesi büyük önem arz etmektedir. Günümüzde çevreye zarar verici etmenlerin azaltılması hususunda çalışmalar arttırılmalıdır (Tutuş, 2006).

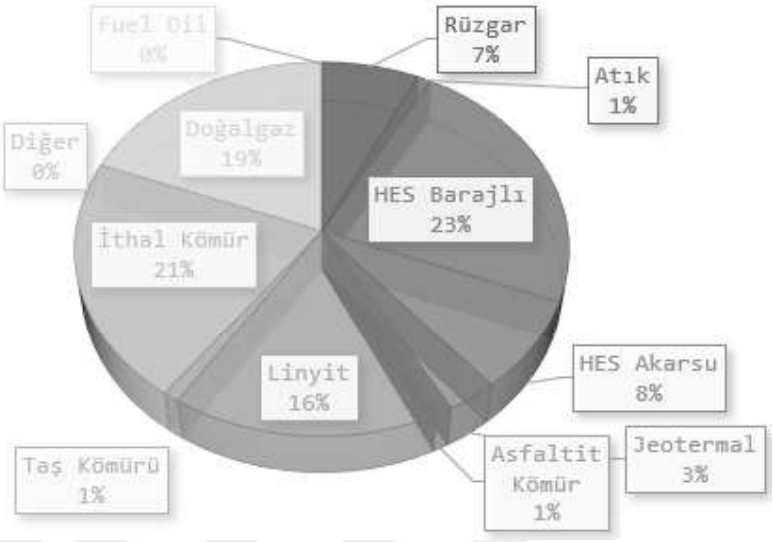
2.2. Güncel Durum

Şekil 2.1'de Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. verilerine göre 2020 yılında Türkiye'nin kurulu gücü 91341,7 MW mertebelerinde olduğu gözlemlenmiştir. 1977 yılında 4727,2MW olan kurulu gücün günümüzdeki ihtiyaçlar doğrultusunda ulaştığı nokta gözle görülür bir fark yaratmaktadır. Bu oluşan elektrik enerjisi talebinin bağlı olduğu birçok parametre vardır.



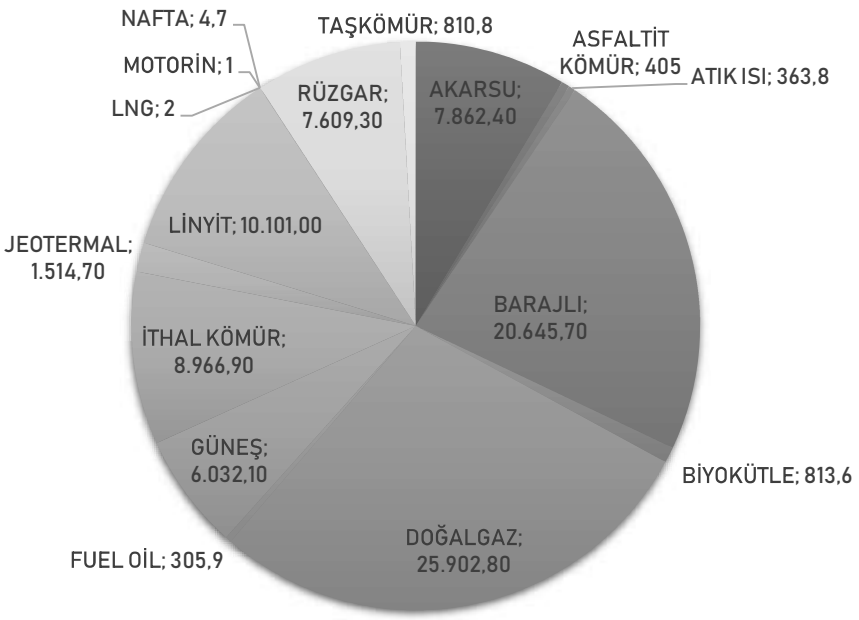
Şekil 2.1. *Türkiye kurulu gücünün yıllar itibariyle gelişimi*

Türkiye enerji ihtiyacının %70'ler civarında yurtdışından ithal etmektedir ve kaynakların sınırlı olması sebebiyle alternatif yolları denemeye mecbur kalmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları Türkiye ihtiyacını yüzde yüz karşılayacak düzeyde olmasada bu alternatif çözüm yöntemi sisteme katkı sağlaması adına kullanılmalıdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegre bir şekilde çalışması için hibrit sistemler son zamanlarda gündeme oldukça fazla gelmektedir. Birkaç kaynak bir arada kullanılarak enerji arz güvenliği sağlanmış olur. Türkiye 2019 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanarak elektrik ihtiyacının %42'sini karşılayabilmiştir. Türkiye'nin birinci dönem olarak kabul edilen 1902-1977 yılları arasında kullandığı enerji üretim tesisleri, hidroelektrik santraller olmuştur. Şekil 2.2'de 2019 yılına tekrar baktığımızda %7'lik kısmı rüzgar oluşturmaktadır, %23 HES barajlı, %8 HES akarsu ve %3 ile jeotermal izlemektedir. Güneş ülkemizde elektrik üretimi için henüz yetersiz seviyelerdedir. Mevcut durum incelendiğinde, tüm ülkenin enerji ihtiyacını sadece yenilenebilir kaynaklardan karşılamak mümkün olmamakla birlikte, enerji üretimindeki payının arttırılması gerekmektedir. Ülkede yenilenebilir enerji kaynakları ile ilgili bilinçlendirme çalışmaları yapılmalı, destek verilmelidir. Günümüzde küresel ısınma problemi ile karşı karşıyız. Sonuç olarak CO_2 emisyonlarının düşürülmesi gerekmektedir. Doğaya verdiğimiz zararın sonuçları hayatımızı olumsuz yönde etkilemekte ya da etkileyecektir.



Şekil 2.2. *2019 yılı kaynak bazında kümülatif elektrik enerjisi üretimi*

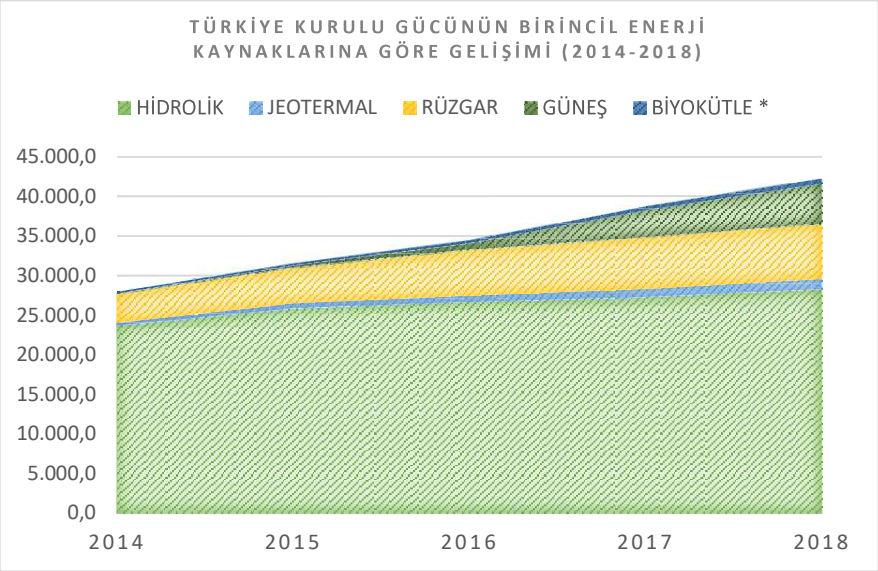
Birincil enerji kaynakları ülkemizde kısıtlı olması sebebiyle termik santraller ithal ettiğimiz kaynaklar ile çalışmaktadır. Elektrik üretiminde kömür, doğalgaz gibi birincil enerji kaynakları oldukça fazla kullanılmaktadır. Fosil kökenli yakıtlar son iki yüzyıl içerisinde, üretim teknolojilerinin oldukça gelişmiş ve ucuz olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmış ancak 1973 Petrol Krizi enerji kaynakları konusunda ilk kez bir güvensizlik ortamı yaratmıştır. Bu güvensizlik ortamı, bütün dünyada yenilenebilir kaynaklara karşı yoğun bir ilgiye yol açmıştır ve 80'li yılların ortalarında petrol fiyatlarının düşmesine rağmen petrole dayalı enerjisi kullanımı riskli olarak kabul edilmiştir. Yine günümüzde artan petrol ve doğal gaz fiyatları ve "enerji güvenliğinin sağlanması gerekliliği" nedenleriyle "enerjinin çeşitlendirilmesi" enerji politikalarının vazgeçilmez unsurlarından biri haline gelmiştir. Bu nedenler yenilenebilir enerji kaynaklarının da enerji yelpazesinde yer almasına yol açmıştır (Çağlar, 2010:1)



Şekil 2.3. *Birincil kaynaklara göre kurulu güç-Ocak 2020*

Sürdürülebilir bir kalkınmanın sağlanabilmesi için nüfus artışı ve ekonomik büyümeye paralel olarak artan elektrik enerjisi gereksinimini kontrol altına almak önemlidir. Bu gereksinimin karşılanması durumunda yaşam standartlarında ve ekonomide belirgin bir şekilde iyileşmeler söz konusu olacaktır. Enerji arz güvenliği günümüzün en önemli konularından bir tanesidir. Eğer bir ülke enerji arz güvenliği ile ilgili gerekli önlemleri alırsa, sürdürülebilir kalkınma konusunda başarılı adımlar atmaya başlar. Enerji ve ekonomik büyüme nedensellik ilkesine bağlı olarak işlemektedir. Bu nedensellik ilkesini kurarken çevresel sorunları ve küresel tehdit konularını düşünerek hareket etmek gerekmektedir. Bir ülkenin sürdürülebilir bir kalkınma sağlayabilmesi için alternatif çözüm yöntemlerini göz ardı etmemesi gerekmektedir.(Seydioğulları 2013)

Şekil 2.3'de Ocak 2020 yılında Türkiye elektrik üretiminin birincil kaynaklarına göre dağılımı gözlemlenmektedir. Kömür kaynaklı elektrik enerjisi üretiminde %40 oranı günümüz için oldukça yüksek bir rakamdır. Diğer enerji kaynaklarının ithalat oranının yüksekliği sebebiyle ülkemizin kendi iç kaynaklarını değerlendirmesinin zamanı gelmiştir. Bu kapsamda mevcut alternatif kaynaklarımızın daha çevreci bir yaklaşımla kullanıma başlanması gerekmektedir.



Şekil 2.4. *Türkiye yenilenebilir kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi (2014-2018)*

Şekil 2.4'de 2014-2018 yılları arasında Türkiye yenilenebilir kurulu gücünün birincil enerji kaynaklarına göre gelişimi gözlemlenmektedir.(https://www.teias.gov.tr/tr-TR/turkiye-elektrik-uretim-iletim-istatistikleri, 12.12.2019) Termik santrallerin büyük paya sahip olduğu, 2014 yılında yaklaşık olarak 28.000 MW seviyelerinde ihtiyacın karşılandığı belirtilmektedir. 2018 yılına geldiğimizde termik santrallerin kurulu güçteki payının 30.000 MW'ı aştığı gözlemlenmektedir. Türkiye için ikinci derecede öneme sahip enerji üretim yönteminin hidroelektrik olduğu yukarıda grafikte görülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımında ise rüzgar enerjisi diğerlerine göre daha yüksek bir paya sahiptir.

3. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI

3.1. Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Geleceği

Çevresel değişim, yüksek petrol ve enerji maliyetleri ile ilgili endişelerle birleştiğinde, yenilenebilir enerjinin daha geniş kullanımına yönelik dünya çapında bir yol izlemektedir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu ya doğrudan ya da dolaylı olarak güneş kaynaklıdır. Örneğin, hem rüzgar hem de dalga gücü, enerjilerini dolaylı olarak güneşten alır. Güneş radyasyonu dünya tarafından emildiğinde, rüzgar ve okyanus akıntıları şeklinde dünyaya yayılır. Ek olarak, güneş enerjisi suyun okyanuslardan buharlaşmasını sağlar. Havadaki bu su, en sonunda yağmur şeklinde yere düşer ve hidroelektrik enerji

üretmek için su kaynaklarını oluşturur. Ayrıca, güneş enerjisi biyoyakıt üretmek için kullanılan bitkilerin ihtiyaç duyduğu fotosentezi sağlar (Sumathi 2015).

Tablo 3.1. *Yenilenebilir enerji çeşitleri*

Enerji	***Yenilenebilir Kaynakların Eldesi***	***Üretim***
Biyokütle	*Bitkisel materyallerin ve hayvan atıklarının yakılması*	*Isı ve gaz*
Hidroelektrik	*Türbinler tarafından suyun enerjisinin iletilmesi*	*Elektrik*
Rüzgar	*Türbinler tarafından rüzgarın yakalanması*	*Elektrik*
Jeotermal	*Buhar ve sıcak suyun kullanımı*	*Elektrik ve ısı*
Solar	*Güneşten gelen ısıların emilmesi ve depolanması*	*Elektrik ve ısı*

Tablo 3.2. *Gelişen teknolojiler tablosu*

Enerji	***Yenilenebilir Kaynakların Eldesi***	***Üretim***
Hidrojen	*Hidrojen gazının yakılması*	*Hareket için güç*
Nanoteknoloji	*Malzemelerin benzersiz özelliklerinin molekül veya atomların boyut ölçeğinde kullanılması*	*Elektrik*

Tablo 3.3. *Eski teknolojilerin çeşitleri*

Enerji	***Yenilenebilir Kaynakların Eldesi***	***Üretim***
Rüzgar	*Su tekerlekleri, barajlar, ağırlık*	*Hareket*
Su	*Yel değirmenleri, yelkenler*	*Hareket*
Kinetik Enerji	*Hayvanlar, insan gücü*	*Hareket*

Türkiye'de ilk olarak 2005 yılında çıkartılan "Yenilenebilir Enerji Kanunu" ile yenilenebilir enerji kullanımının arttırılması ve enerjinin verimli kullanılabilirliğinin geliştirilmesi yönünde bir adım olmuştur. 2007 yılında ise "Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu" çıkartılmıştır. Ülkemizde bu kanunlar ile yenilenebilir enerjinin öneminin anlaşıldığını değerlendirebiliriz. Ancak dünyada yeni sistem teknolojisi kullanılmaya başlamışken, ülkemizde ekonomik ve mali problemler nedeniyle bu yeni sistemlere geçiş hızlı olamamaktadır.

Dünya üzerinde inovatif çalışmalar sürerken, yeni teknolojiler geliştirilmesine rağmen uygulama yönünde yeterliliklerinin tartışılması gerekmektedir. Enerji Verimliliği Kanunu'nun içeriği irdelendiğinde konu başlıklarını etkin kullanım, kayıp-kaçakların azaltılması, israfın önüne geçilmesi ve maliyetler oluşturur. Ülkemizde enerji verimliliği açısından bazı teşvikler sağlanmaktadır. Bu teşvikler Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından aşağıdaki başlıklar şeklinde sağlanmaktadır.

a. *Verimlilik Artırıcı Proje (VAP) Destekleri:*

Enerji verimliliği çalışma konularını baz alan bu destek; enerji verimli ekipman kullanımı, buna örnek verim sınıfı yüksek motor olabilir, yalıtım, sistem onarımı, proses düzenleme gibi konuları içermektedir. Gereksiz enerji kullanımını minimize etmek için yapılan çalışmalar ve son zamanların en önemli konularından biri olan atık enerjinin kullanımı amaçlı yapılan çalışmalar Verimlilik Arttırıcı Proje (VAP) olarak değerlendirmeye alınmaktadır. Bu desteğin mali tarafı ise; yatırım bedeli en fazla 5 milyon TL olan projeleri kapsamaktadır. Bu desteğin hibe edilen payı ise en fazla %30'dur.

Bu destekten yaralanmak için diğer kriter ise yıllık toplam enerji tüketiminin 500 TEP ve üzeri olmasıdır.

b. *Gönüllü Anlaşma Destekleri:*

Bu desteğin kapsamı; işletmelerin 5 yıllık referans enerji yoğunluğunu en az %10 azaltmayı beyan ederek Bakanlık ile yaptığı anlaşmadır. Gönüllü anlaşma destekleri kapsamında taahhüdünü yerine getiren bir işletmenin anlaşmanın yapıldığı yıla ait enerji giderinin %30'u 1.000.000 TL'yi geçmemek kaydıyla destek mahiyetinde nakdi olarak karşılanır (https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/enerji-verimliligi-destekleri).

Bu destekten yaralanmak için diğer kriter ise yıllık toplam enerji tüketiminin 500 TEP ve üzeri olmasıdır.

c. *5. Bölge Teşvikleri:*

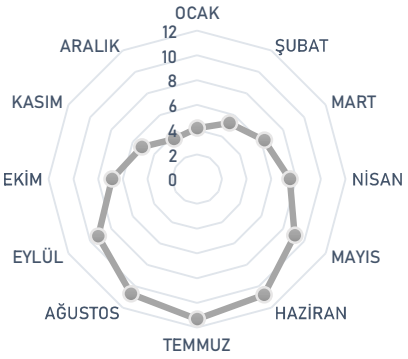
Bu desteğin özetini yapmak gerekirse; işletmenin yıllık asgari 500 TEP enerji tüketimi olması gerekmektedir. Proje kapsamında mevcut duruma göre %20 oranında enerji tasarrufu yapacağını belirtmesi ve amorti süresinin azami 5 yıl olması koşuluyla bu destekten yaralanabilecekleri belirtilmiştir.

Faydalanılacak teşvikler, katma değer vergisi istisnası, gümrük vergisi muafiyeti, vergi indirimi, sigorta primi işveren hissesi desteği, faiz desteği ve yatırım yeri tahsisidir (https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/enerji-verimliliği-destekleri, 12.12.2019).

Özet olarak fosil kaynaklardan yoksun olan ve ihtiyaç duyduğu enerjiyi ithal etmek zorunda kalan ülkeler, yenilenebilir enerji teknolojilerini geliştirmek adına araştırma-geliştirme çalışmalarının ve bu kapsamda yatırımların arttırılması hususunda teşviklere önem vermesi gerekmektedir.

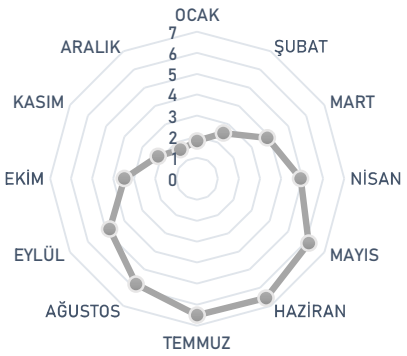
3.1.1. Güneş Enerjisi

Güneş, birçok enerji çeşidini dolaylı yoldan etkilemektedir ve yenilenebilir enerji kaynaklarının temelini oluşturmaktadır. Elektrik ve ısı enerjisi üretimi için kullanılmaktadır. Ülkemiz ise dünya üzerinde bulunduğu konumdan dolayı ciddi güneşlenme potansiyeline sahiptir. Bu güneşlenme süresi ülkemiz için yıllık yaklaşık olarak 2 bin 738 saattir ve güneş panellerinden elektrik ve ısı enerjisi üretimi için olumlu bir rakamdır. Yıllık güneşlenme süresini, ortalama günlük olarak ifade ettiğimizde 7,5 saat gibi bir süre ortaya çıkar ve Almanya ile karşılaştırdığımızda güneşlenme süresinin %60 oranında daha fazla olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 3.1. *Türkiye güneşlenme süreleri [saat]*

Şekil 3.1'de Türkiye güneşlenme süresi bakımından Temmuz ayı en yüksek değere sahiptir. Ülkemizde yenilenebilir enerji kaynaklarını karşılaştırdığımızda, güneş enerjisi yararlanma potansiyeli açısından en yüksektir ve verilere göre ülkemizde verimli bir şekilde bu enerji çeşidi kullanıldığında en az 500.000MW'lık kapasite söz konusudur.



Şekil 3.2.*Türkiye global radyasyon değerleri[kWh/m²-gün]*

Şekil 3.2'de ise Türkiye'nin global radyasyon değerleri belirtilmektedir.

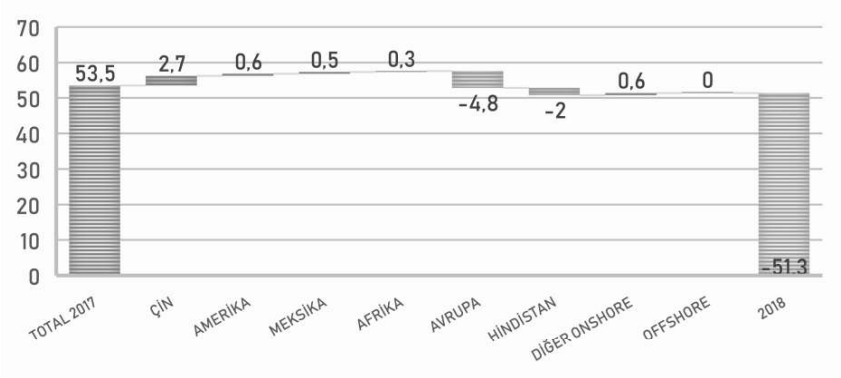
Ulusal Yenilenebilir Enerji Eylem Planı çerçevesinde 2023 yılı için ısıtma ve soğutma ihtiyacının en az yüzde 15'inin yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanması amacı doğrultusunda güneş enerjisinin daha etkin, verimli, teknolojik ve yenilikçi bir biçimde kullanılması gerekmektedir (Karagöl 2017). Türkiye için yapılan araştırmalar göstermediktedirki, potansiyel bakımından kendisine en yakın ülkelerden olan Fransa ve İspanya'ya göre ortalama %30 daha fazla potansiyele sahiptir.

3.1.2. Rüzgar Enerjisi

Rüzgar enerjisi; dünya üzerinde en fazla örneğe sahip santral tipidir. Teknolojik gelişmeler ışığında en geniş yelpazeye sahip olması ile ön plana çıkmaktadır. Elektrik talebinin karşılanması hususunda rüzgar enerjisi yenilenebilir enerji kaynakları ile üretime katkısı bakımından önde gelen ülkeler tarafından fazlaca tercih edilmektedir.

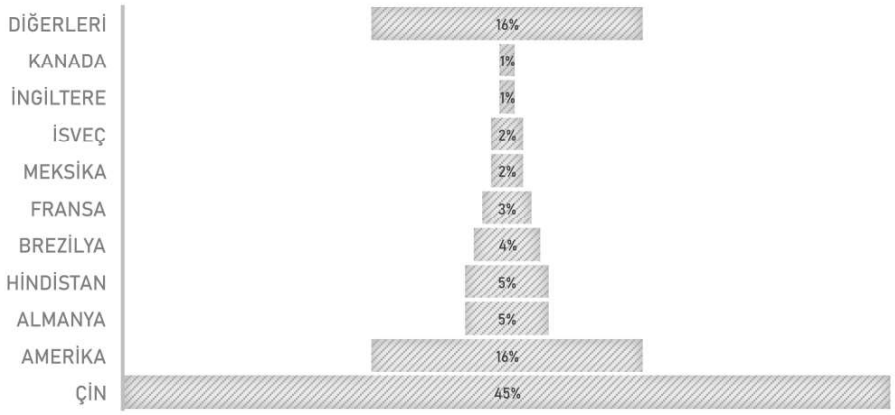
2018 yılına bakıldığında, dünya rüzgar enerjisi ile elektrik üretimi endüstrisi 51,3 GW ek kapasite ile iyi bir yıl olmuştur ve 2017 yılına göre yüzde 4,0'lük bir düşüş yaşanmasına rağmen yine de güçlü bir yıl olmuştur. 2014'ten bu yana, bazı tesislerdeki düşüşlere rağmen, kurulumlar her yıl için 50 GW'ı aşmıştır.

Şekil 3.3 incelendiğinde, 51,3 GW yeni tesisler ile birlikte rüzgar enerjisi santralleri toplam 591 GW'a kadar elektrik üretimi sağlamaktadır. Çin ve ABD, sırasıyla 21,2 GW ve 7,6 GW yeni kapasiteye sahip, rüzgar teknolojisinde lider olmaya devam etmiştir. Avrupa pazarı, 2017 yılına göre yüzde 32 düşüşle 9 GW'lık tesis kurulumu yapmıştır. Afrika, Orta Doğu, Latin Amerika ve Güney Doğu Asya'da pazarların büyümesi ile, 2018'den 2017'ye yüzde 8'lik bir artış sağlamıştır.



Şekil 3.3. *2017 ile 2018 arasındaki yeni kurulumlardaki değişiklikler-Rüzgar enerjisi*

Rüzgar enerjisinin nasıl dönüştürüldüğünü özetlemek gerekirse, rüzgar türbin teknolojisini ilk anlamamız gereken konudur. Rüzgar türbininin asıl amacı, havanın yarattığı kinetik enerjinin ilk olarak mekanik enerjiye, daha sonra da elektrik enerjisine dönüşümünü sağlamaktır. Türbinler yatay ve düşey eksenli olarak sınıflandırılmaktadır. Yatay eksenli türbinlere baktığımızda, dönme eksenlerinin rüzgarın yönüne paralel olduğunu gözlemleriz. Yatay eksenli rüzgar türbinleri; rüzgarın kuleyi yalamadan rotora çarpması durumunda ileri yada önden rüzgarlı (up-wind), önce kuleye dokunup sonra rotora gelmesi koşulunda geri yada arkadan rüzgarlı (down-wind) türbin adını alırlar(http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi, 04.12.2019). Düşey eksenli rüzgar türbinlerini incelediğimizde ise, yatay eksenlilere göre rüzgar hareket yönüne dik olduğu gözlemlenir. Düşey eksenli rüzgar türbinlerinde rüzgar yönü değişse bile yatay eksenli rüzgar türbinlerindeki gibi pozisyon değişikliğine uğramazlar. Dünya üzerinde genel olarak yatay eksenli, 3 kanatlı ve up-wind rüzgar türbinleri kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. *Yeni kurulum 2018, Kara-Rüzgar enerjisi*

Şekil 3.4 incelediğinde, rüzgar enerjisinde yeni kurulumlar bazından Çin önde ülkelerden biridir. Bunu %16'lık oran ile Amerika izlemektedir.

3.1.3. Hidroelektrik

Hidroelektrik, hareketli suyun gücünden elde edilen güçtür. Diğer faydalı amaçların yanı sıra, elektrik üretmek için yaygın olarak kullanılır.

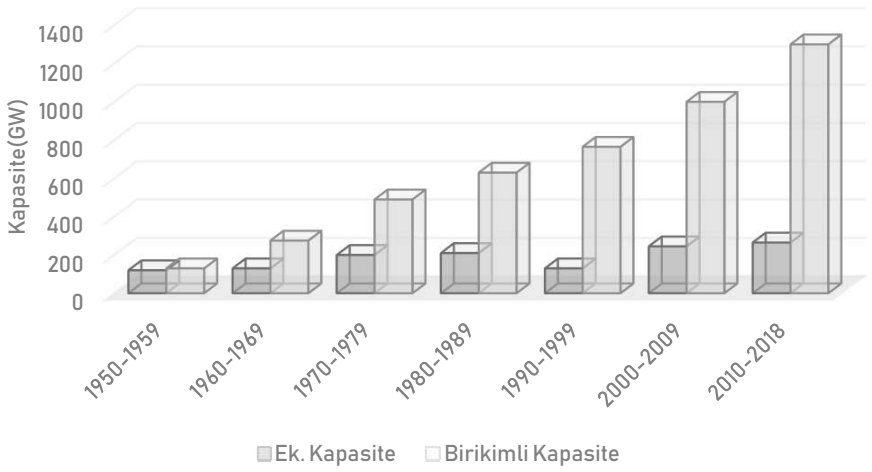
Küresel sera gazı emisyonlarının en büyük kaynağı olan enerji sektörünün, iklim değişikliğinin zorluğuyla başa çıkmak için karbonu atması gerekiyor. Yenilenebilir hidroelektrik, dünyanın fosil yakıtlara bağımlılığını azaltmada ve zararlı hava kirleticilerinden kaçınılmasında kilit bir rol oynamaktadır.

Avrupa'daki hidroelektrik kurulu güç, 2018'de 2,2 GW artış ile büyümeye devam etmiştir. Yeni kurulu kapasitenin çoğunluğu, Avrupa Birliği dışında, Türkiye'de 1.085 MW ve Norveç'te 419 MW ile gerçekleşmiştir. Avrupa Birliği içinde, geleneksel hidroelektrik santralini Avusturya (385 MW) ve İtalya (88 MW) 'ın tümü, hidroelektrik kurulu kapasitelerini arttırmış, geri kalan Avrupa ülkeleri 225 MW daha eklemiştir.

Türkiye, 2018'de, artan güç talebini karşılamak için, 2002'den bu yana yıllık ortalama yüzde 5,5'ten daha fazla ve enerji ithalatına olan bağımlılığı azaltmak amacıyla 1 GW'ın üzerinde yeni hidroelektrik kapasitesi eklenmiştir. Türkiye, 2018'deki 625 MW'lık Yukarı Kaleköy projesini birleştirerek ülkenin en büyük yedinci hidroelektrik projesi olmasını sağlamıştır. Ülkenin doğusunda yer alan proje, 2015 yılında tamamlanan 580 MW Beyhan-1 projesi ve 2020 yılında tamamlanması planlanan 500 MW Aşağı Kaleköy projesi dahil olmak üzere, Murat Nehri boyunca uzanan altı projeden biri.

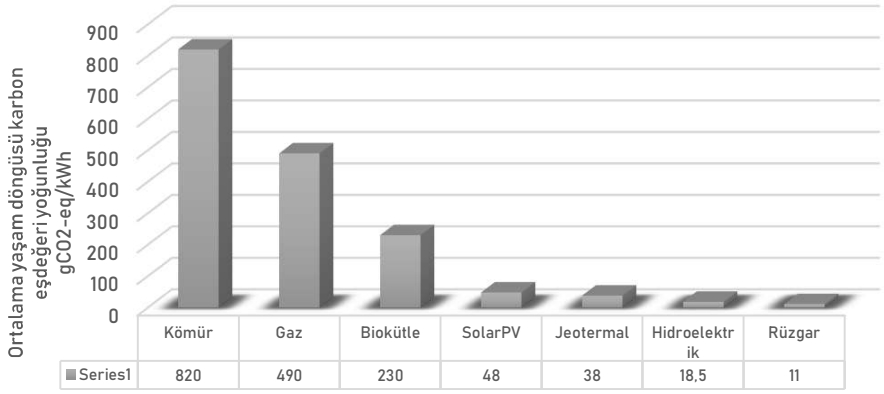
Bölgede ayrıca Türkiye, 2018 yılında 140 MW Kiğı HES projesini devreye almıştır (Hydropower Status Raport 2019).

Dünya üzerinde HES'lerin yıllık üretimlerinin 2018 yılına gelindiğinde yaklaşık olarak 4200TWh civarlarında olduğu gözlemlenmektedir. Şekil 3.5'de eklenen kapasitenin ise 2010-2018 yılları arasında yaklaşık olarak 200GW civarlarında olduğu grafikten çıkarılmaktadır. Yerel paydaşlar ve kurumlar arasında kapasite geliştirme, sürdürülebilirlikteki uluslararası iyi uygulamaların rehberliğinde, su ve enerji hizmetlerinin bölgesel gelişimini desteklemektedir. Kapasite artışlarının yakın gelecekte devam edeceği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.5. *Yıllar Boyunca Hidrogüç Kapasitesi Artış Oranları*

Şekil 3.6 incelendiğinde, IHA 2019(International Hydropower Association) raporuna göre doğaya verdiği zarar yönünden, kömür termik santralleri yaklaşık olarak 820gCO2-eq/kWh salınımı yaparken, hidroelektrik santralleri 18,5gCO2-eq/kWh olduğu belirtilmiştir.



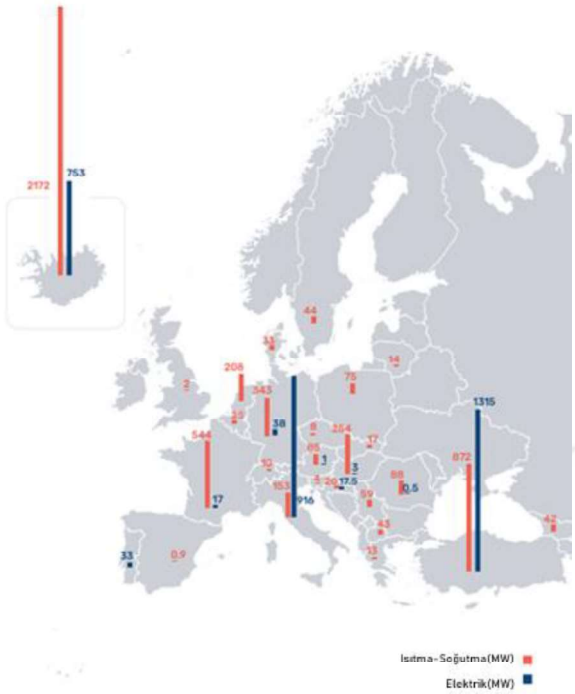
Şekil 3.6.*Enerji Üretim Kaynaklarına Göre Karbon Salınımı*

3.1.4. Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji, dünya yüzeyinin altında ısı şeklinde depolanan enerjidir. Potansiyeli tükenmez ve güneşe benzer. Elektrik üretiminin yanı sıra, günümüzde jeotermal enerji, merkezi ısıtma, binaların ısıtılması ve soğutulması ve diğer birçok doğrudan kullanım için kullanılmaktadır. Jeotermal ısıdan başarılı elektrik üretimi ilk kez 1900'lerin başlarında İtalya'daki Larderello'da gerçekleştirilmiştir. O zamandan beri jeotermal elektrik üretimi istikrarlı bir şekilde arttı. Diğer hava koşullarına bağlı yenilenebilir enerji kaynaklarının aksine, jeotermal herhangi bir zamanda kullanılabilir. Ayrıca, Gelişmiş Jeotermal Sistemler gibi en son teknolojik gelişmeler, yalnızca zengin jeotermal rezervuarları olan bölgelerde değil, her yerde jeotermal elektrik üretmeyi mümkün kılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı, jeotermal elektrik şebekeyi dengelemek ve gelecekteki elektrik sistemlerinin genel sistem maliyetlerini düşürmek için anahtardır.

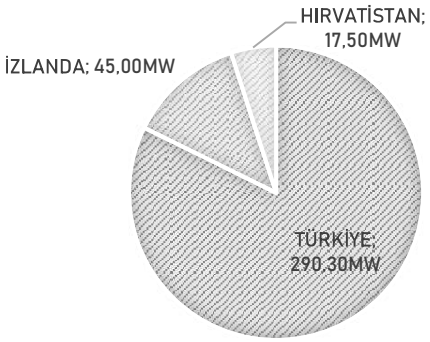
Jeotermal merkezi ısıtmayı ilk monte eden bölgeler, en iyi hidrotermal potansiyele sahip bölgelerdi, ancak bugün yeni teknolojiler ve sistemler ile, artan sayıda bölgeler buna yöneliyor (https://www.egec.org/about/#aboutgeot, 12.11.2019).

Jeotermal ısı pompaları, kışın ısıtma ve yazın evlere, iş yerlerine ve sanayiye soğutma sağlamak için sığ derinliklerdeki (0 ila 500m arası) yer altı sıcaklıklarından yararlanır. Sadece 3-15 ° C olsa bile, neredeyse tüm yer altı sıcaklık seviyelerini kullanabilirler. Sığ jeotermal sistemler çok yönlüdür ve hemen hemen her yüzey koşuluna uyarlanabilir. Küçük, konut evlerinden büyük bireysel binalara veya ofisler, oteller, okullar, alışveriş merkezleri vb. gibi bina komplekslerine kadar farklı yapılarda kullanılabilirler.



Şekil 3.7.*Avrupa'da jeotermal enerji kullanımı*

Türkiye jeotermal enerji konusunda diğer Avrupa ülkelerine göre kullanım açısından daha iyi konumdadır. Şekil 3.7'den de anlaşılacağı üzere 2018 yılında EGEC(The Voice of Geothermal in Europe) bilgilerine göre Türkiye 1315MW elektrik enerjisini jeotermalden sağlamıştır. Sadece elektrik enerjisi üretimi için jeotermali kullanmayan ülkemiz 872MW ısıtma ve soğutma için kullanım sağladığı Şekil 3.7'de gözlemlenmektedir. Avrupa ülkelerinde ısıtma ve soğutma için jeotermal enerjisi en verimli kullanılan ülke İzlanda olmuştur.



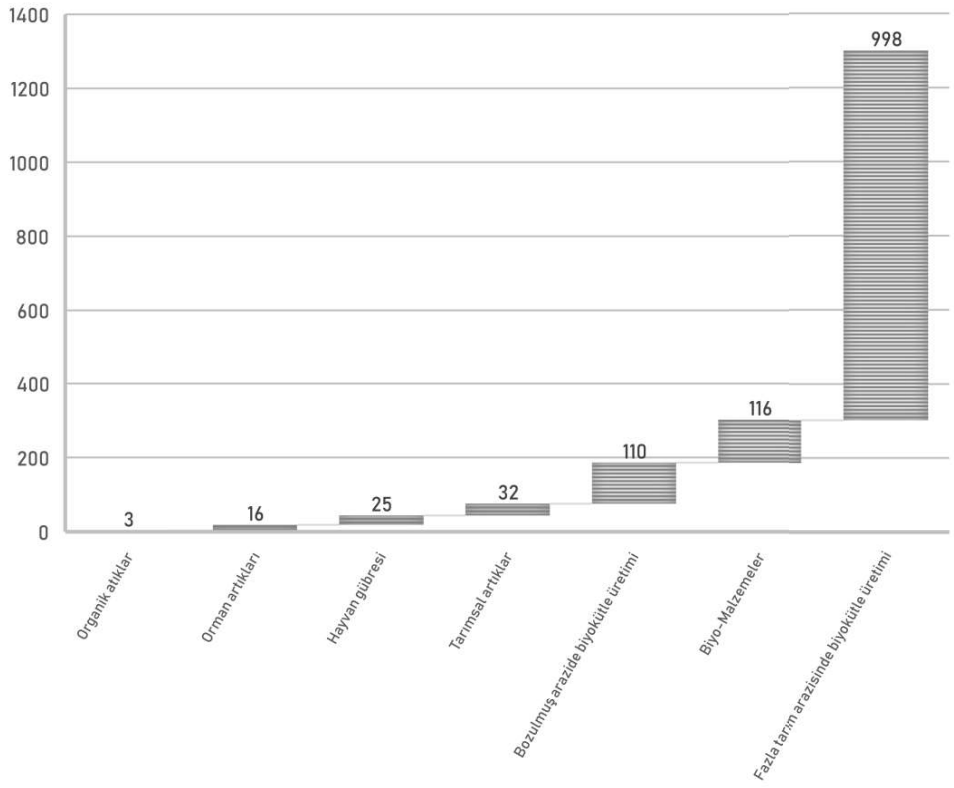
Şekil 3.8. *Avrupa Kıtası Kapasite Artırım Dağılımı*

Şekil 3.8'de kapasite artırımının dağılımı gözlemlenmektedir. Türkiye 12 tesis devreye alarak kurulu gücünü 290.3 MW olarak artırmıştır. Türkiye'yi kapasite arttırımında İzlanda ve Hırvatistan takip etmektedir.

Jeotermal enerjinin kullanımının arttırılması, CO_2 emisyonlarının önemli ölçüde azaltılmasına, birincil enerjide tasarrufun ve çeşitli disiplinlerde ve birçok beceri seviyesinde güçlü bir iş gücünün yaratılmasına ve sürdürülmesine olanak sağlayacaktır. Jeotermal, gelecekteki enerji sistemlerinde önemli bir rol oynamaktadır.

3.1.5. Biyokütle Enerjisi

Genel anlamı ile biyokütle enerjisi, 100 yıldan daha az zamanda kendini yenileyebilen, karada veya suda yetişen her türlü bitkiyi içeren, kentsel, doğal ve besin endüstrisi tarafından ortaya çıkarılan atıkların oluşturduğu organik maddelerin işlenmesiyle ortaya çıkan enerjiyi ifade etmektedir(Acaroğlu vd., 2015: 1166).



Şekil 3.9. *2050 yılında enerji kullanımında biyokütle potansiyeli*

Şekil 3.9'da grafiğe göre 2050 yılında biyokütle üretiminde tarımsal kaynakların kullanım oranının daha fazla olduğu gözlemlenmektedir.

Günümüzde dünyanın birçok ülkesinde biyokütle üretim zincirinin oluşması ve sürdürülebilirliğinin sağlanması amacıyla hükümetler tarafından destek ve teşvikler verilmektedir. AB içerisinde hızlı gelişen biyodizel ve etanol gibi diğer biyokütle enerjilerinin desteklenmesine, 1990'lı yıllarda uygulamaya konulan Ortak Tarım Politikası'yla başlamış, vergi muafiyetleri ve diğer teşvikler de uygulanmaya başlanmıştır (Wisniewski, Kupczyk, Rucinski, 2008).

Biyo kütleden enerji elde edilmesi için kaynaklar, buğday, mısır gibi bitkilerin yanında, otlar, yosunlar, hayvan dışkıları vb. şeyler düşünülebilir. Dünya üzerinde enerji elde etmek için kullandığımız fosil yakıtlar hızla tükenmektedir. Bu fosil kaynakların enerji elde etme yanında negatif etkilerinden biri olan doğaya zarar vermesidir. Çevre kirliliği günümüzün en önemli problemlerinden biridir ve biyo kütle enerji elde etmek için kullanılabilecek kaynakların başında gelmektedir. Bazı ülkeler genel anlamda biyo kütlenin önemini idrak etmişlerdir; ancak üretmek ve ekonomik anlamda gelişmek zorunda olan ülkeler biyo kütle konusunu geri planda bırakmaktadır. Biyo kütle özet ile canlı organizmalardan oluşur ve bu organizmalar fotosentezi güneş enerjisini depolamak için kullanır.

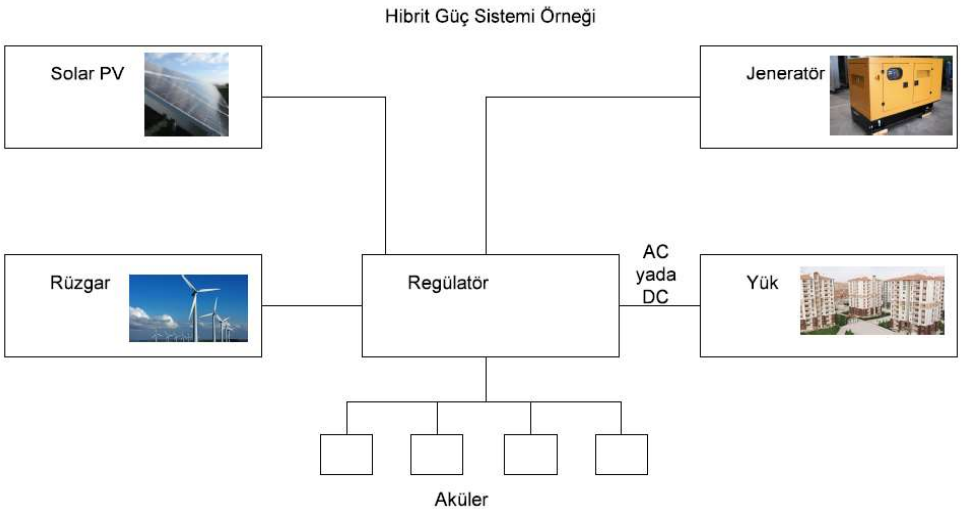
3.1.6. Dalga Enerjisi

Enerji konusu, ulusal ekonominin ilerlemesini için en önemli hususlardan bir tanesidir. Sosyo-ekonomik gelişmelerin yanısıra toplumların yaşam standartlarının iyileştirilmesi bakımından da yüksek öneme sahiptir. Sonuç olarak denizlerin; yenilenebilirliği en yüksek, bol, kullanımı serbest ve verimliliği yüksek enerji depoları olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Genel olarak Türkiye profili incelendiğinde kırsaldan kente göçün genel olarak kıyı kesimlere olduğu gözlemlenmektedir. Bu sebeple kıyı kesimlerin nüfus artışı dalga enerjisi kullanımının arttırılması hususunda güzel bir örnektir. Kıyı kesimler için dalga enerjisi kullanımı arttırılırsa elektrik şebekesi yatırımları azalma görülecektir.

4. HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ

Hibrit kelime anlamıyla; en az iki farklı güç kaynağının bir arada bulunmasıdır. Bu açıklamadan anlaşılacağı üzere hibrit yenilenebilir enerji sistemleri, kaynakların en az ikisinden oluşmaktadır. Dünya üzerinde yaygın olarak enerji üretim sistemleri tek kaynak kullanılarak yapılmaktadır. Ancak güç kalitesi bakımından yenilenebilir enerji kaynaklarının tek başına kullanılmasının avantajları yanında dezavantajları da mevcuttur.

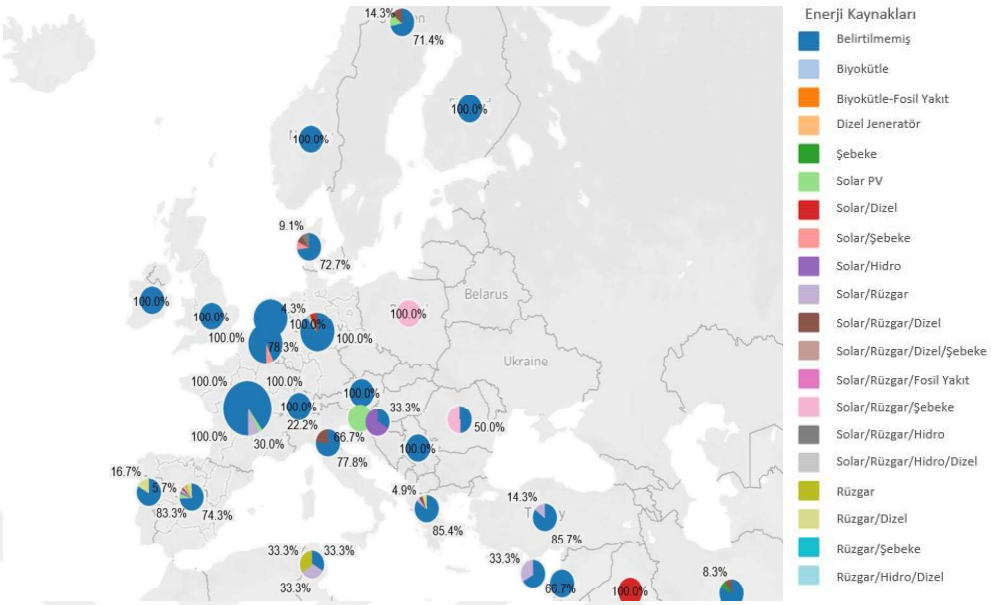
Termal ve nükleer güç sistemi gibi geleneksel üretim sistemleri, ekonomik ve teknik sorunlar nedeniyle uzak alanların elektrik ihtiyacı için uygun bir çözüm değildir. Geleneksel üretim sistemlerinin neden olduğu emisyonlar ve sera gazı etkileri gibi çevresel sorunların yanı sıra, yüksek yakıt maliyeti ve bu enerji santrallerinin yapımı ile verimlilik ve güvenilirlik de geleneksel üretim sistemlerinin ciddi sorunlarıdır.



Şekil 4.1. *Hibrit güç sistemi örneği*

Hibrit güç sistemleri, talep sağlamak için hem geleneksel hem de yenilenebilir kaynakları kullanabilir. Alışılagelmiş bir üretim sistemi, rüzgar türbini, fotovoltaik hücre, yakıt hücresi ve ilgili bileşenleri ve Şekil 4.1'de gösterilen diğer yenilenebilir enerji üretim sistemi olarak dizel jeneratörler bir hibrit güç sisteminde kullanılabilir.

Hibrit enerji sistemleri şebekeye bağlı ve/veya şebekeden bağımsız çalışabilirler. Bu özelliği ile şebekeden bağımsız olarak çalışan hibrit sistemler genel olarak kırsal bölgelerde kullanılır. Bu bölgelerde kurulmuş olan yenilenebilir kaynaklı hibrit sistemler dizel jeneratörler vasıtası ile kesintisiz güç kaynağı olmaya çalışırlar. Kesintisiz kavramı hibrit sistemleri ön plana çıkartmaktadır. Çünkü yenilenebilir enerji kaynaklı bir sistem hibrit olmadığında kesintisizliği sağlayamaz. Örneğin güneş enerjisi elektrik elde etmek için tek başına kullanıldığında, gece veya kapalı günlerde kesintisiz enerji kaynağı olmaktan çıkar. Ancak sistem hibrit olarak tasarlandığında güneş enerjisini kullanamadığımız zamanlarda dizel jeneratör, akü ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları devreye girer ve böylece kesintisiz güç sağlanmış olur.



Şekil 4.2. *Avrupa kıtasında hibrit ve hibrit olmayan yenilenebilir enerji sistemleri üzerine yapılan çalışmaların dağılımı*

Şekil 4.2'de Avrupa kıtasında hibrit ve hibrit olmayan yenilenebilir enerji sistemleri üzerine yapılan araştırmalar gözlemlenmektedir. Yapılan araştırmaya göre genel olarak Solar/Şebeke, Solar/Hidro, Solar/Rüzgar/Dizel ve Solar/Rüzgar üzerine çalışmaların yoğunlaştığı gözlemlenmektedir.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin avantajlarını sıralamak gerekirse;

- Sürekli güç beslemesi; örnek olarak fotovoltaik/rüzgar sistemini düşündüğümüzde, rüzgar hızının yetersiz olduğu durumlarda güneş enerjisi sistem güç beslemesi sağlayabilir, yada güneşlenmenin düşük olduğu günlerde rüzgar enerjisi güç beslemesi sağlayabilir.
- Yenilenebilir enerji kaynaklarının en verimli şekilde kullanılması; küçük bir hibrit elektrik sistemi rüzgar veya fotovoltaik güneş teknolojilerini birleştirir ya da tek sistem üzerinden kullanarak pek çok avantaj sunabilir. Güneş ışınlarının en kuvvetli ve parlak olduğu yaz aylarında rüzgar hızı düşüktür. Daha az güneş enerjisinin bulunduğu kış aylarında ise rüzgar hızı yüksektir. Denge korunur.
- Düşük bakım maliyeti; Hibrit enerji sistemlerinin çalışmasını iyileştiren ve bakım gereksinimlerini azaltan güç elektroniği dönüştürücüleri ve otomatik kontrolörlerindeki gelişmeler, hibrit sistemleri pratik ve ekonomik hale getirmiştir.
- Yüksek verim; Hibrit güneş enerjisi sistemleri, belirli koşullar altında yakıtı boşa

harcayan geleneksel jeneratörlerden daha verimli çalışır. Hibrit güneş sistemleri yakıtı boşa harcamadan her koşulda verimli çalışır.

- Yük yönetimi olanağı sağlar; talebe göre yük yönetimi yapılabilen sistemlerdir.
- Düşük emisyon; Şekil 3.6'da yenilenebilir enerji kaynakları için karbon salınımı karşılaştırılması yapılmıştır.

4.1.Hibrit Enerji Sistemleri İçin Optimizasyon Kriteri

Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri günümüzde tasarımsal olarak etkileyen birçok faktör bulunmaktadır. Sürekli gelişen teknolojiler ışığında yapılacak olan tasarımlar için iyileştirme çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Hibrit yenilenebilir enerji sisteminin tasarımı için 3 temel optimizasyon yöntemi yoğunlaşılmaktadır. Ancak gelişen dünyada optimizasyon kriter sayısı arttırılabilir. Bunlar: ekonomik, teknik ve çevresel optimizasyon kriterleridir.

4.1.1. Ekonomik Optimizasyon

Net Mevcut Maliyet tüm maliyetlerin toplamıdır: sermaye yatırımı, yakıt dışı işletme ve bakım maliyetleri, değiştirme maliyetleri, enerji maliyetleri (yakıt maliyeti artı ilgili maliyetler), yasal ücretler gibi diğer maliyetler, vb. Bir dizi seçenek göz önünde bulundurulursa, Net Mevcut Maliyete sahip en düşük seçenek, en uygun finansal seçenek olacaktır. Enerji Maliyeti, bir yük veya elektrik şebekesine bağlanma noktasında elektrik üretme maliyetinin hesaplanmasıdır. İlk sermayeyi, ıskonto oranını ve sürekli işletme, yakıt ve bakım maliyetlerini içerir. İç getiri oranı veya ekonomik getiri oranı, yatırımların karlılığını ölçmek ve karşılaştırmak için sermaye bütçelemesinde kullanılan getiri oranıdır.

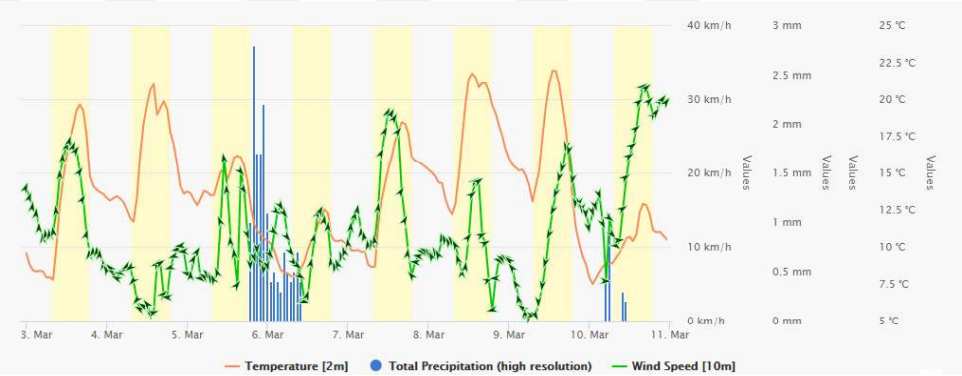
4.1.2. Teknik Optimizasyon

- Arz güvenilirliği: Sürdürülebilir elektrik üretimi için, talep edilen üst değerlerini karşılamak, bir enerji kaynağı bu alanda güvenilir olarak düşünmemizi sağlar. Tüm enerji kaynaklarının, arz-talebi yetersiz olduğunda ve elektrik arzında kesinti yaşanmasına neden olabilecek ve bir enerji açığı olasılığına katkıda bulunabilecektir. Arz güvenilirliği konusundaki kısıtlamaları gibi güçlü ve zayıf yönleri vardır.
- Batarya verimi: Kullanılan bataryaların performans ve saklama kapasitesinin ölçüsüdür.
- Akülerin Şarj Edilme Durumu (SOC): Elektrikli akülü araçta, hibrit araçta veya hibrit elektrikli araçta akü takımı için kullanılan yakıt göstergesinin eşdeğeridir. SOC

birimleri yüzde puandır (% 0 = boş;% 100 = dolu). Aynı önlemin alternatif bir şekli deşarj derinliği, SOC'nin tersidir (% 100 = boş;% 0 = dolu). SOC normalde kullanılan bir pilin mevcut durumunu tartışırken kullanılır.

4.1.3. Çevresel faktörler

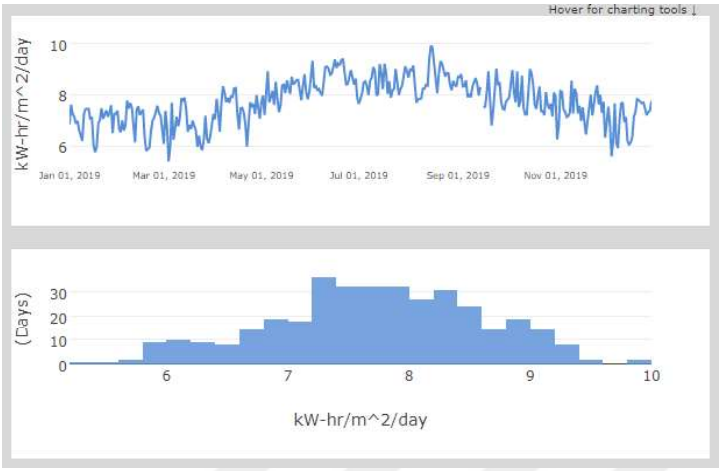
Yenilenebilir enerji sistemlerinin kurulumunda, CO_2 emisyonları ve saha koşulları ön plana çıkmaktadır. Dikkate alınacak kriterleri belirledikten sonra, amaç fonksiyonundaki ana optimizasyon prensipleri; minimum maliyet, maksimum finansal uygulanabilirlik, minimum CO2 emisyonu, minimum yatırım ve/veya bakım maliyeti (yaşam döngüsü analizi yoluyla), minimum yıllık yakıt maliyeti, maksimum arz sürekliliği, karşılanmayan yük vb. şeklinde olmalıdır.



Şekil 4.3. *Çevresel Faktörler - Sıcaklık/Rüzgar Hızı*

Şekil 4.3 çevresel faktörler bazında, bir rüzgar türbini tarlası kurulabilmesi için incelenmesi gereken optimizasyon kriterlerinden sıcaklık, rüzgar hızı gözlemlenmektedir. Şekil 4.4'de ise güneş tarlası optimum bir şekilde kurulabilmesi için güneş ışınım grafikleri gösterilmektedir (Türkiye Bursa ili değerleri verilmiştir).

Enerji kaynakları ve yük özelliklerinin mevcudiyetine bağlı olarak hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin tasarımı için metodoloji en önemli hususlardan biridir. Hibrit sistemlerin çok amaçlı optimum tasarımları için daha ayrıntılı araştırmalar yapılması gerekmektedir. Maliyetin yanı sıra diğer kriterleri göz önünde bulundurmanın önemi açıktır.



Şekil 4.4. *Türkiye Bursa solar ışınım grafikleri*

5. HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN MODELLENMESİ

Hibrit sistemler oluşturulmadan önce modelleme yapılması gerekmektedir. Oluşturulacak sistemlerin yer uygunluklarının, birbirlerini ikame edilebilirliklerinin bu modelleme esnasında incelenmesi önem arz etmektedir. Dünya üzerinde fosil yakıtların tükenmesiyle birlikte, yenilenebilir enerji santrallerinin kurulumu yükselen bir eğilim göstermektedir. Hibrit sistemleri, daha önce de belirtildiği üzere farklı formlarda modelleyebiliriz.

Bu başlık altında güneş, rüzgar, akü ve dizel jeneratörden oluşan sistemin modellemesi yapılacaktır. Sistemin avantajlarına bakıldığında güneşli yaz günlerinde, rüzgar hızının düşük olması sebebiyle elektrik ihtiyacı solar panellerden yüksek oranda sağlanır ve yine güneşli bir yaz gününde gece güneş enerjisinden faydalanmamız mümkün değildir. Tüketici talebinin sağlanabilirliği, akü ve dizel jeneratör kullanılarak devam ettirilebilir. Bu çalışmada öncelikle belirtilen güç sistemlerinin modellenmeleri yapılacak, daha sonra akıllı şebekeler hakkında bilgi verilerek, entegrasyonu için modellemede elde ettiğimiz güç parametreleri kullanılacaktır.

Bu çalışmanın amacı, enerji arzının sürekliliğinin sağlanabilmesi için hibrit sistemlerin akıllı şebeke uygulamalarına etkisini incelemektir. Öncelikle, rüzgar, güneş, dizel jeneratör ve akü modellemesi yapılarak güç formülleri elde edilecektir. Daha sonra akıllı şebekeler, enerji depolama sistemleri hakkında bilgi verilecektir.

5.1.Hibrit Güneş/Rüzgar/Akü/Dizel Jeneratör Sisteminin Modellemesi

Hibrit sistemler daha önce de belirtildiği üzere en az iki enerji kaynağının kullanılması ile oluşturulmaktadır. Bu çalışmada hibrit sistemin güneş, rüzgar, akü ve dizel jeneratör ile sınırlandırma yapılmıştır; ancak bu sistem genişletilebilir veya enerji girdileri değiştirilebilir. Örnek vermek gerekirse sistem; güneş-rüzgar-akü, rüzgar-biokütle-dizel jeneratör veya rüzgar-hidroelektrik-akü olabilir.

Hibrit sistemlerin tasarımındaki ilk adım, sistemin dışında kalan yenilenebilir enerji potansiyelinin analizidir; ancak bu konu ayrı bir tez konusu olması sebebiyle bu çalışmada kapsamlı incelenmeyecektir. Hem alınan meteorolojik ölçümler hem de sistem faktörlerine dayanarak hibrit sistem için uygun konfigürasyon oluşturulması gerekmektedir. Sistemin sürdürülebilir bir yapıda olması çok önemlidir.

İç faktörler::

- Enerji tüketimi:

  Yalnızca tüketim miktarı değil, aynı zamanda belli bir süre içerisindeki dağılımının da incelenmesi gerekir.
- Enerji depolama:

  Bu depolama işlemi genellikle bataryalarla yapılır. Tüketim yoğun olduğunda ve batarya kapasitesi doğru seçilmediğinde, güç kaynağında kesinti olabilir. Ayrıca, kapasite çok yüksekse, batarya tam olarak kullanılamaz. Bir batarya seçerken, depolanan enerji, anma kapasitesinin (Ah) % 30 ila % 85'i arasında değişmelidir.

  Anma kapasitesi (Ah); Bir akünün, şarj işlemiyle kazandığı, esas olarak, deşarj işleminde verebildiği enerjiye denir. Kapasitenin birimi "Amper Saat"tir. Kısaca "Ah" harfleri ile ifade edilir.
- Birim seçimi; bu seçim, birim tipinin (türbin, fotovoltaik panel vb.) özel metodolojisine göre yapılır.

Yukarıda belirtilenlere dayanarak, genel bir sonuç çıkarılabilir, ancak hibrit yenilenebilir enerji sisteminin tasarımının asıl amacı optimum olması ve sonuç olarak modellenmesi zor, çok yönlü bir iştir. Bu tasarımlar bazı teknik, teknolojik ve ekonomik kriterlere göre yapılır.

5.1.1. Rüzgar Enerjisi Modellemesi

Rüzgar hareketli bir hava kütlesidir, bir rotor veya bir tekerlek tarafından toplanabilen ve elektrik üretmek için mekanik bir sistem olan dönen bir şafta aktarılabilen kinetik enerjiye sahiptir. Çalışmada tasarımı yapılacak olan güneş-rüzgar-akü-dizel jeneratör hibrit sisteminin bir parçası olan rüzgar türbinin mekanik gücünün akıllı şebeke entegrasyonunda kullanmak üzere irdelememiz gerekmektedir.

Rüzgar türbinin mekanik gücü için kullanılan temel formül;

$$P_{rüzgar,mekanik} = \frac{1}{2} C_P(\lambda, \beta) \rho A u^3 \tag{5.1}$$

Formül içindeki parametrelerin detaylı incelediğimizde;

C_P güç katsayısı,

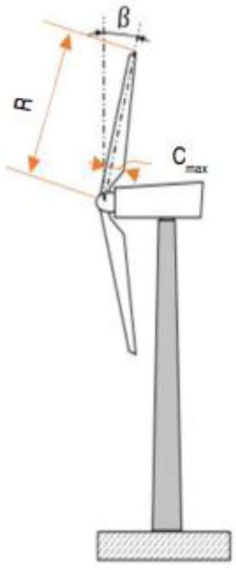
ρ hava yoğunluğu (kg/m^3),

A rotor kanatlarının (m^2) yakaladığı alan,

u ortalama rüzgar hızı (m/s),

λ uç hız oranıdır,

β türbin gövdesinin açısını ifade eder.



Şekil 5.1. *Türbin gövdesinin açısı*

Şekil 5.1'de denklem 5.1'de belirtilen β değerinin daha net anlaşılması sağlanmıştır. Dikkat edildiğinde β, türbin gövdesi ile kanat arasındaki açıyı ifade etmektedir.

Türbinin mekanik gücünün elde ederken doğru modelleme yapmak için güç formülündeki değişkenlerin ayrıntılı bir şekilde açıklamamız gerekmektedir.

Bir rüzgar türbininin güç katsayısı (C_P), rüzgar türbininin rüzgardaki enerjiyi elektriğe ne kadar verimli dönüştürdüğünün bir ölçümüdür. Belirli bir rüzgar hızında güç katsayısını bulmak için tek yapılması gereken, rüzgarda türbini tarafından üretilen elektriği, o anki rüzgar hızındaki mevcut toplam enerjiyi bölmektir.

$$C_P = \frac{Rüzgar\ Türbini\ Tarafından\ Üretilen\ Elektrik}{Rüzgarda\ Mevcut\ Toplam\ Enerji} \tag{5.2}$$

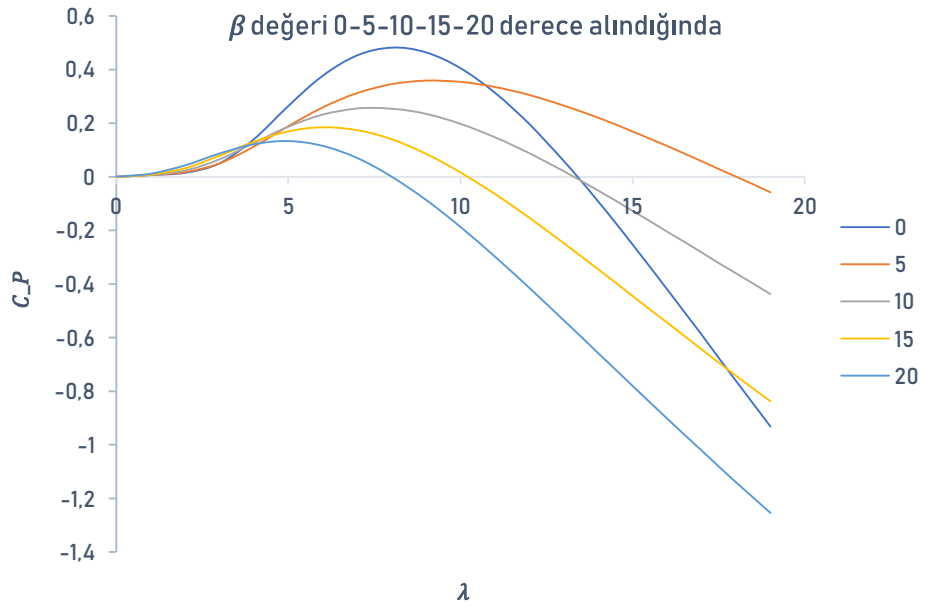
Denklem 5.2'de verilen ifadenin daha detaylı incelemesi gerekmektedir. Denklem 5.3'de verilen, güç katsayısının elde edilmesi için üstel modelin kullanımı ortaya çıkmıştır. Denklemdeki c_1-c_6 rüzgar türbininin kanatlarının geometrik yapısına göre değişen sabitlerdir.

$$C_P(\lambda, \beta) = c_1(c_2/\lambda_i - c_3\beta - c_4)e^{-c_5/\lambda_i} + c_6\lambda \tag{5.3}$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3 + 1} \tag{5.4}$$

Albert Betz, hiçbir rüzgar türbininin rüzgarın kinetik enerjisinin % 59,3'ünden fazlasını bir rotoru döndürerek mekanik enerjiye dönüştüremediğini hesaplayan bir Alman fizikçiydi. Bu Betz Sınırı olarak bilinir ve herhangi bir rüzgar türbini için teorik olarak maksimum güç katsayısıdır.

c_1-c_6=[0.52, 116, 0.4, 5, 21, 0.0068] olarak aldığımızda Şekil 5.2'deki grafik elde edilir. Doğal olarak, hesaplamaların karmaşıklığı ve C_P eğrileri arasındaki farklar, C_P için tanımlanan fonksiyonda dikkate alınan katsayıların değerleri ile ilişkilidir. λ=8.1, β=0 derece olduğunda C_P=0.48 olarak bulunur.



Şekil 5.2. *λ ve C_p karşılaştırması*

Şekil 5.3'de belirtilen blok, rüzgar türbini için kullanılır.

Denklem 5.1 normalleştirme yapılarak birim başına (pu) denklem 5.5'de olduğu gibi dönüştürülmüştür. Elektriksel büyüklüklerin karşılaştırılmasında ve değerlendirilmesinde kolaylık sağlar. Her elektriksel büyüklük için ayrı birim kullanmaya gerek kalmaz. Böylelikle hesaplamalarda kolaylık ve sadelik sağlanır.

$$P_{m_pu} = k_P c_{p_pu} v^3_{rüzgar_pu} \tag{5.5}$$

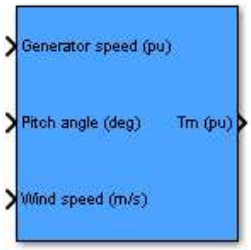
Denklem 5.5'i incelediğimizde;

P_{m_pu}; ρ ve A'nın belirli değerleri için nominal gücün pu değeri

c_{p_pu}; Cp maksimum değerinin pu cinsinden performans katsayısı

$v^3_{rüzgar_pu}$; Temel rüzgar hızının pu cinsinden rüzgar hızı. Temel rüzgar hızı, m/s cinsinden beklenen rüzgar hızının ortalama değeridir.

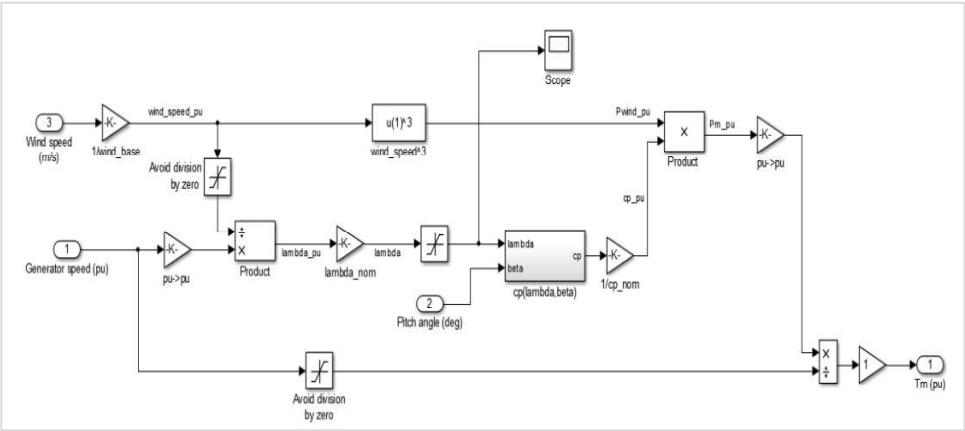
k_P; c_{p_pu} = 1 pu ve $v_{rüzgar_pu}$= 1 pu için güç kazancı, k_P 1'den küçük veya ona eşittir.



Şekil 5.3. *SIMULINK'te kullanılan blok (per unit-pu)*

Şekil 5.4'de rüzgar türbinin SIMULIK modeli mevcuttur. Bu modele göre 3 adet girdi ve 1 adet çıktı kullanılmıştır.

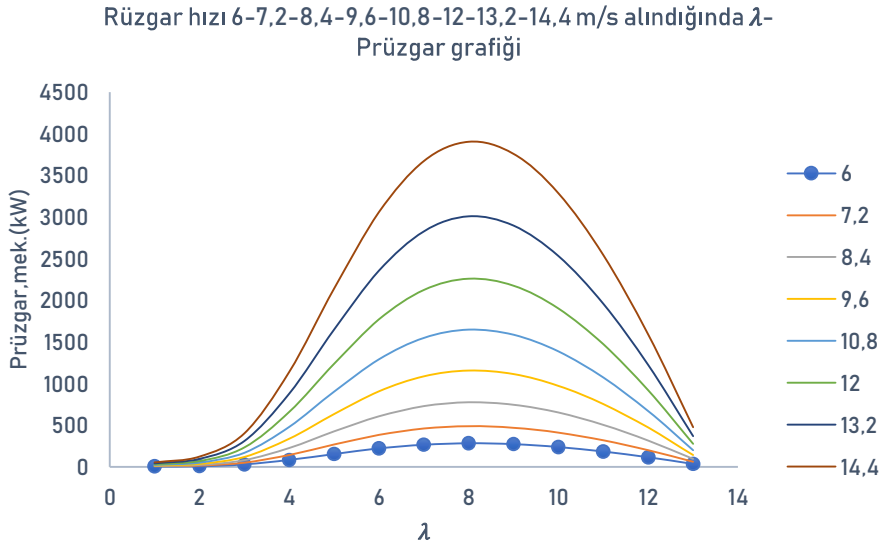
- Jeneratör hızı (pu); jeneratörün nominal hızına bağlı olarak jeneratör hızının pu cinsinden simulink girişi.
- Eğim açısı (derece)
- Rüzgar hızı (m/s); rüzgar hızının m/s cinsinden simulink girişi.
- Tm (pu); Nominal jeneratör momentinin pu'sinde rüzgar türbininin mekanik torkunun Simulink çıkışı. Jeneratörün nominal torku nominal jeneratör gücüne ve hızına dayanır.



Şekil 5.4. *Rüzgar türbinin SIMULINK modeli*

Şekil 5.5'de değişken rüzgar hızlarda λ-$P_{rüzgar,mek}$ karşılaştırılması yapılmaktadır. Uç hız oranı, yani λ literatürde basit bir formülle belirtilmektedir. Denklem 5.6'da uç hız oranının açısal hıza ve rüzgar hızına bağlı olduğu gözlemlenmektedir.

$$\lambda = \frac{R\omega}{v_{rüzgar}} \tag{5.6}$$



Şekil 5.5. *Farklı rüzgar hızlarında λ-Türbin gücü karşılaştırması*

Ortalama yıllık talebi $P_{YUK,ORT}$ sağlamak için gereken rüzgar türbini sayısı aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$Rüzgar\ Türbini\ Sayısı = \frac{P_{YUK,ORT}}{P_{RT,ORT}} \tag{5.7}$$

$P_{RT,ORT}$ rüzgar türbininin ortalama gücüdür. Böylece sistemi tasarlarken yükün durumuna göre kuracağımız santralin kaç adet rüzgar türbinine ihtiyaç duyduğunuda bulmuş oluruz. Akıllı şebeke uygulamalarında tüketici tarafı ve üretici taraf arasında çift yönlü bir iletişim vardır. Bu sebeple rüzgar türbini sayısı tam yükte ihtiyacı karşılayacak şekilde tasarlanacaktır.

5.1.2. Güneş Enerjisi Modellemesi

Güneş hücreleri olarak da bilinen fotovoltaik (PV) sistem, enerjiyi güneş ışığından DC elektriğe dönüştürür. Fotovoltaik, absorbe edilen radyasyon ile indüklenen elektrik arasındaki süreç olarak bilinir. Güneş enerjisi, foto elektrik etkisi denilen ortak bir ilkedir.

Çalışmada tasarımı yapılacak olan güneş-rüzgar-akü-dizel jeneratör hibrit sisteminin bir parçası olan fotovoltaik panelin gücünü akıllı şebeke entegrasyonunda kullanmak üzere irdelememiz gerekmektedir.

Fotovoltaik hücre sıcaklığını etkileyen faktörler kısaca:

- ortam sıcaklığı ve

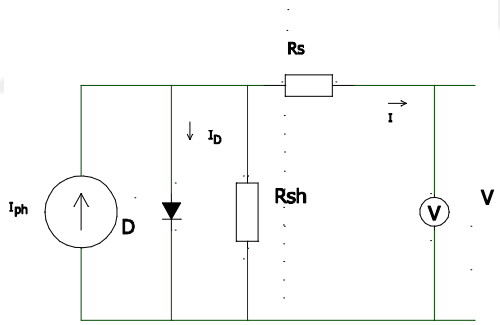
- güneşten gelen ışımanın değişmesidir.

Basit bir şekilde olayı incelediğimizde fotovoltaik hücrelerin ısısının artması sonucunda akım değeri artar; ancak gerilim değeri azalır. Diğer yandan gerilim değerinin azalması ile çıkış gücünde de azalmalar meydana gelir. Gölgelenme ise sistemi etkileyen diğer bir faktördür. Gölgelenme sistemin veriminin düşmesine sebep olur.

Bir fotovoltaik modül dizisinin güç çıkışı, güneş ışığına ve ortam sıcaklığına dayanır. Güç çıkışı hesaplamak için basit haliyle denklem 5.8'i kullanırız:

$$P_{FV}(güç)=V(gerilim)*I(akım) \tag{5.8}$$

Küçük güneş pili, fotovoltaik dizi sisteminin temel yapı taşlarıdır. Fotovoltaik hücreleri, bir dizi oluşturmak için seri veya paralel konfigürasyonda birbirine bağlanır. İdeal bir güneş pili, mevcut ürünün güneş ışın yoğunluğu ile orantılı olduğu bir akım kaynağı olarak düşünülebilir.



Şekil 5.6. *Fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi*

Şekil 5.6'da fotovoltaik hücrenin eşdeğer devresi verilmiştir ve burada öne çıkan değişkenler fotovoltaik akım, diyot üzerinden geçen akım ve seri-paralel dirençler gösterilmiştir.

I_{ph}: fotonların ürettiği akımı,

R_s: seri direnci,

R_{sh}: paralel direnci,

n: ideallik faktörü,

I: Fotovoltaik hücre çıkış akımını,

V: Fotovoltaik hücrenin çıkış gerilimini göstermektedir.

Kirşof yasası kullanılarak denklem 5.9 elde edilir ve bu denklemin içerisinde hücre çıkış akımını etkileyen diğer bileşenlerin açılımının yapılması gerekmektedir. I_d ve I_{sh} hesaplamaları sırasıyla denklem 5.10 ve 5.11'e göre yapılır.

$$I = I_{ph} - I_d - I_{sh} \tag{5.9}$$

Daha öncede belirtildiği üzere I_{ph} fotonların ürettiği akımı ifade etmektedir. Diyot akımı(A) ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I_d = I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+R_s I)}{nkT_c}\right) - 1\right] \tag{5.10}$$

Denklem 5.10'da diyot akımını etkileyen değişkenler aşağıdaki gibidir:

I_0; Diyotun ters doyma akımı (A)

n; İdealite faktörü, bu değişken panel teknolojilerine göre değişmektedir. Tablo 5.1'de örnekler verilmiştir.

Tablo 5.1. *İdealite faktörü tablosu*

Teknoloji	***İdealite faktörü***
S_i-mono	1.2
A_5G_a	1.3
S_i-poly	1.3
C_dT_e	1.5
CIS	1.5
a-S_i:H	1.8
a-S_i:H tandem	3.3
a-S_i:H üçlü	5

k; Boltzmann sabiti (1.38×10^{-23} Joule/Kelvin)

T_c; Hücre çalışma sıcaklığı (Kelvin)

q; Elektron yükü (1.602×10^{-19} Coulomb)

Hücre sıcaklığını bulmak için denklem 5.11 kullanılır ve denklem 5.10'da yerine koyulmak (T_c) için aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$T_c = T_a + \frac{NOHS-20}{800} G_t \quad (5.11)$$

Eşdeğer devredeki, R_{sh}, paralel direncinin değeri, R_s, seri direncinden oldukça büyüktür. Fotovoltaik hücre sıcaklığı yanız ortam sıcaklığına değil güneşten gelen ışımaya bağlı olarak değişir. Fotovoltaik hücreye gelen ışımanın enerjiye dönüşmeyen kısmı ısı olarak hücreden dışarı çıkar. NOHS, hücre sıcaklığı 20 (^{0}C), ortam sıcaklığında, 800 (W/m^2) ışıma değeri ve 1 (m/sn) rüzgar hızında tanımlanır (Adak, Cangi, Yılmaz, 2018). Denklem 5.11'de bulunan değişkenler aşağıdaki gibidir:

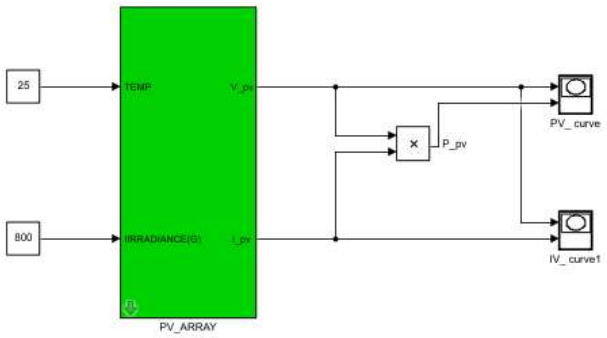
T_a; ortam sıcaklığıdır [^{0}C],

$NOHS$; nominal çalışma hücre sıcaklığıdır [^{0}C] ve

G_t; referans güneş ışınım miktarını (W/m^2) ifade eder.

Şekil 5.7'de fotovoltaik hücrenin simulik modeli gösterilmiştir. PV_ARRAY bloğunun içerisinde literatürde belirtilen modellemeler yapılmaktadır. Bu bloğa tıkladığımızda içerisinde kullanılan fonksiyon Şekil 5.8'de gösterilmiştir. Denklem 5.9'da belirtilen ifadenin içerisinde bulunan I_{sh}, yani paralel dirençten geçen akımı bulmak için aşağıdaki formül kullanılır:

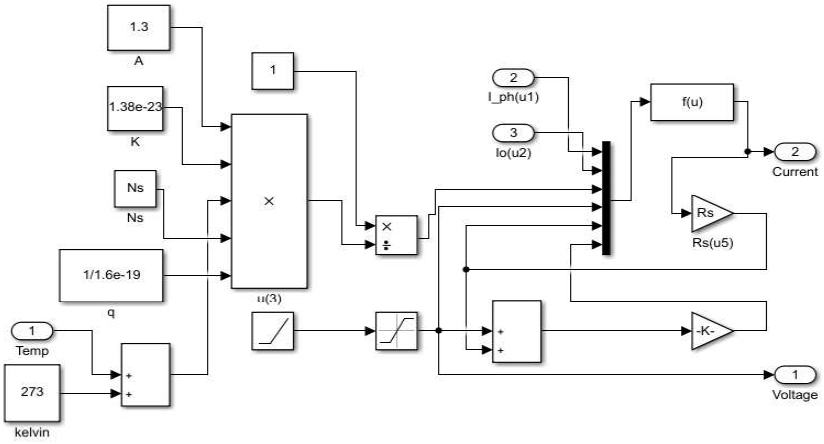
$$I_{sh} = \frac{V+R_s I}{R_{sh}} \quad (5.12)$$



Şekil 5.7. *Fotovoltaik hücre SIMULINK modeli*

Şekil 5.8'de blok içerisindeki fonksiyonu incelediğimizde kullanılan formülün denklem 5.9-10-11-12 geldiği görülmektedir. Şöyleki:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+R_s I)}{nkT_c}\right) - 1\right] - \frac{V+R_s I}{R_{sh}} \quad (5.13)$$



Şekil 5.8. *Denklem 5.13'un SIMULINK modellemesi*

Denklem 5.9'da fotonların ürettiği akımın (I_{ph}) bulunması gerekmektedir. Fotonların ürettiği akım kısa devre akımına, referans ve hücre sıcaklığına ve güneş ışınımına bağlı olarak değişmektedir. Denklem 5.14 ile hesaplaması yapılmaktadır, ayrıca Şekil 5.9'da SIMULINK modellemesi gösterilmiştir.

$$I_{ph} = [I_{SC} + K_i(T_c - T_r)]\frac{G}{G_r} \tag{5.14}$$

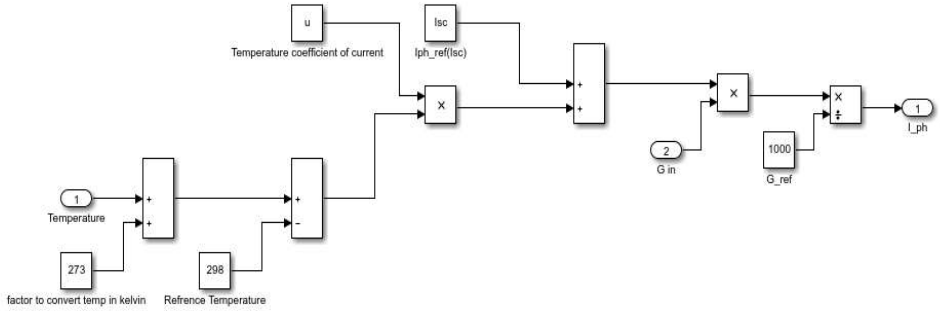
I_{SC}; 25 ºC ve 1000 W/m² deki kısa devre akımı(A)

K_i; Hücrenin kısa devre akımı sıcaklık katsayısı (Amper / Kelvin)

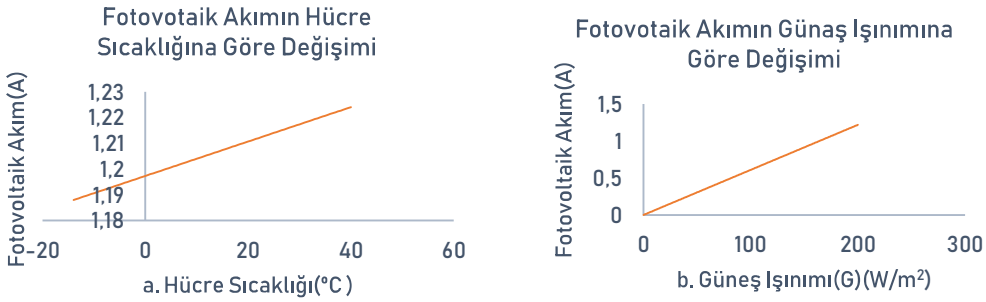
G; Güneş ışınımı (Watt / metre^2)

G_r; Referans güneş ışınımı (1000 Watt / metre^2)

T_r; Referans sıcaklık(298,7Kelvin)



Şekil 5.9. *I_{ph} değerinin hesaplandığı SIMULINK modeli*

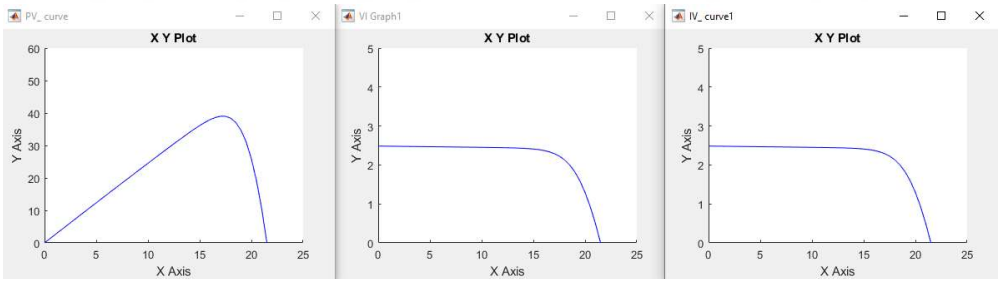


Şekil 5.10.*Fotovoltaik akımın a. Hücre sıcaklığına ve b. Güneş ışınımına göre değişimi*

Şekil 5.10'da fotovoltaik akımın hücre sıcaklığına ve güneş ışınımı miktarına göre değişimi gözlemlenmiştir. Hücre sıcaklığı ve güneş ışınımı değerleri artarken fotovoltaik akımında arttığı gözlemlenmiştir.

Denklem 5.9'da fotovoltaik akım formülünüde koyduğumuzda akım formülünü elde etmiş oluruz. Denklem 5.15 akım değerini ifade etmektedir.

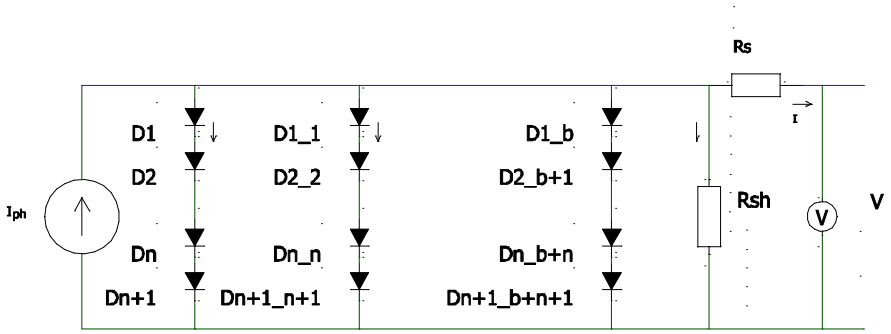
$$I = [I_{SC} + K_i(T_c - T_r)]\frac{G}{G_r} - I_0\left[\exp\left(\frac{q(V+R_sI)}{nkT_c}\right) - 1\right] - \frac{V+R_sI}{R_{sh}} \qquad (5.15)$$



Şekil 5.11. *Belli koşullar altında bir hücrenin PV(güç-gerilim), VI(gerilim-akım), IV(akım-gerilim) grafikleri*

Şekil 5.11'de belli koşullar altında bir hücrenin güç-gerilim, gerilim-akım ve akım-gerilim grafikleri verilmiştir.

Şekil 5.12'deki gibi birçok fotovoltaik hücre seri veya paralel bağlanabilir. Seri bağlı hücrelerin sayısı N_s, paralel bağlı hücrelerin sayısı ise N_p olarak belirtilecektir.

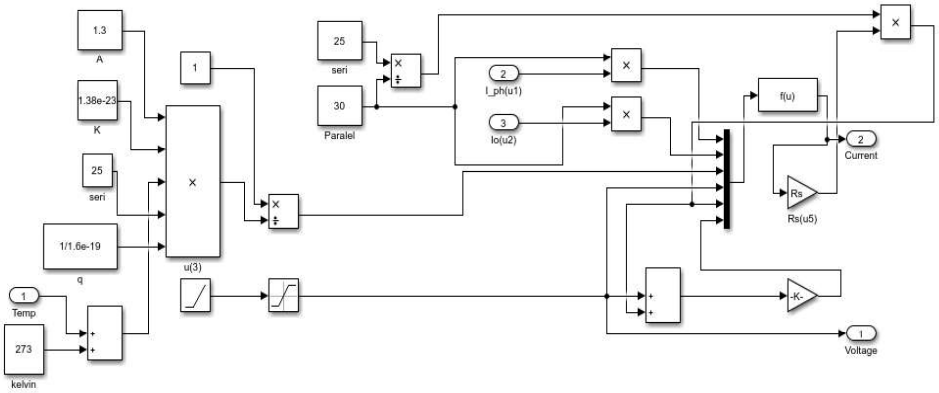


Şekil 5.12. *Seri ve paralel bağlı PV sistemlerin şematik gösterimi*

Denklem 5.16'da hücrelerin seri ve paralel bağlanması durumunda oluşacak akım formülü belirtilmiştir. Fotovoltaik sistemde akımı artırmak için fotovoltaik hücrelerin paralel bağlanması gerekmektedir.

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp\left(\frac{\left(V + \frac{N_s}{N_p} R_s I\right)}{N_s\left(\frac{nKT}{q}\right)} - 1 \right) \right] - \frac{V + \frac{N_s}{N_p} R_s I}{R_{sh}} \tag{5.16}$$

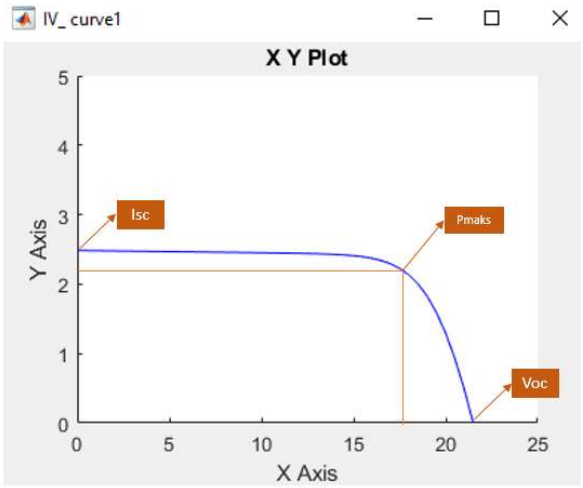
Şekil 5.13'de seri ve paralel bağlı hücrelerden oluşan sistemin SIMULINK modellemesi gösterilmiştir.



Şekil 5.13. *Seri ve paralel bağlı modül SIMULINK çalışması*

Denklem 5.16, elektrik akımının dinamik davranışını açıklar ve bir solar PV dizisi tarafından üretilen gerilim ve akım arasındaki ayarı tanımlar. Doğrusal olmayan bir sayısal ifadedir. Gerçekçi doğal durum için, R_s sıfıra eşittir ve R_{sh} sonsuzdur.

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_0 \left[\exp\left(\frac{V}{N_s\left(\frac{nKT}{q}\right)} - 1\right)\right] \tag{5.17}$$



Şekil 5.14. *Tek bir fotovoltaik hücre için kısa devre akımı ve açık devre voltajının gösterimi*

Kısa devre akımı (I_{SC}) - sıfır voltajda maksimum akım elde edilir. İdeal olarak, V = 0, I_{SC} =I_{ph}. I_{SC} 'nin mevcut güneş ışığı ile doğru orantılı olduğunu unutmamak gerekir. Şekil 5.14'de akım gerilim grafiği üzerinde kısa devre akımı gösterilmiştir.

Açık devre voltajı (Voc) — sıfır akımda maksimum voltaj değeri olarak kabul edilir. Voc değeri artan güneş ışığı ile logaritmik olarak artış eğilimi gösterir. Bu özellik güneş pillerini pil şarjı için ideal hale getirir.

I = 0 değerinde denklem 5.18 elde edilir,

$$Voc = \frac{nKT}{q} In(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1) \tag{5.18}$$

I-V eğrisindeki her nokta için, akım ve voltajın çarpımı sonucu, o çalışma koşulu için güç bulunmuş olur. Bir güneş pili, *V(voltaj)×I(akım)* çarpımı sonucu maksimum değerinde olduğunda, maksimum güç noktası elde edilir. Bir hücrenin maksimum güç çıkışı, *I-V* eğrisinin altına kalan en büyük dikdörtgen olarak ifade edilebilir. Denklem 5.19 maksimum gerilimi ifade eder.

$$V = Voc - \frac{nKT}{q} In(\frac{V}{\frac{nKT}{q}} + 1) \quad (5.19)$$

Sonuç olarak denklem 5.20 elde edilir ve Şekil 5.14'deki $P_{FV,maks}$ değeri bulunmuş olur;

$$I*V = [Voc - \frac{nKT}{q} In(\frac{V}{\frac{nKT}{q}} + 1)] * \{[I_{SC} + K_i(T_c - T_r)] \frac{G}{G_r} - I_0 \left[\exp\left(\frac{q(V+R_sI)}{nkT_c}\right) - 1\right] - \frac{V+R_sI}{R_{sh}}\} \quad (5.20)$$

5.1.3. Akü Modellemesi

Bir Hibrit sistemde akü seçmek için çeşitli parametreleri göz önünde bulundurmamız gerekmektedir. Aynı üreticiden üretilen piller bile performanslarına ve özelliklerine göre farklılık gösterir. Üreticilerin pil yapılarının detaylarında farklılıklar vardır, ancak hemen hemen tüm piller için bazı ortak yapı özellikleri tanımlanabilir. İmalat işlemleri, tehlikeli ve toksin malzemelerin kullanılmasını içeren, ağır endüstriyel aşamaları içermektedir. Üretimden sonra ilk şarj ve deşarj döngüleri aküler üzerinde, distribütörlere ve tüketicilere sevk edilmeden önce gerçekleştirilir. Çalışmada tasarımı yapılacak olan güneş-rüzgar-akü-dizel jeneratör hibrit sisteminin bir parçası olan akü sisteminin akıllı şebeke entegrasyonunda kullanmak üzere irdelememiz gerekmektedir.

Bir akünün hibrit sisteme dahil edilmesindeki temel özellikler aşağıdaki gibidir:

- Enerji depolama yeteneği
- Akım ve gerilim stabilizasyonu
- Akım besleme: elektriksel yüklere veya cihazlara yüksek voltaj veya aşırı çalışma akımı sağlamak için.

Akülere, kendi içerisinde birincil ve ikincil olmak üzere ana sınıflandırma yapılırlar:

- Birincil piller şarj edilebilir değildir, ancak elektrik enerjisi depolayabilir ve iletebilirler. Hibrit sistemler için uygun değildirler. Temel aranılan özelliklerden biri şarj edilebilir olmasıdır.
- İkincil piller şarj edilebilir ve elektrik enerjisi depolayıp, iletebilirler. Genel olarak örnek vermek gerekirse kurşun-asit aküler ikincil akülerdir.

Hibrit sistemde kullanılabilecek akünün, Şekil 4.1'de sisteme nasıl dahil edildiği görselleştirilmiştir. Aküler, şebeke dışı hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinde önemli bir role sahiptir ve ayrıca ilk maliyette büyük bir paya sahiptir. Aküler, güç üretiminde talebin üstüne çıktığında, gücü depolamak için yedekleme seçeneği olarak kullanılır. Akünün ihtiyaç duyulduğu zaman, güç talebinin üretimden daha yüksek olduğu yoğun saatlerdir.

Bazı hibrit yenilenebilir enerji modellerinde aküler bir depolama tamponu olarak kullanılır. Yenilenebilir enerji sistemlerinde kullanılan aküler, geleneksel uygulamalarda ve elektrikli araçlarda kullanılan akülere kıyasla farklı performans özelliklerine sahiptir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının stokastik doğası nedeniyle akü sık sık derin döngüler ve düzensiz şarj şekilleri yaşayabilir. Ayrıca mevsimsel değişikliklerden dolayı akü uzun süre düşük şarj durumu (SOC) yaşayabilir. Şarj ve deşarjdaki bu tutarsızlık akü ömründe azalmaya neden olur.

Akünün ömrü, sistemden enerji tüketimine bağlıdır. Pil ömrünü uzatmanın en kolay yolu, hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinde aküden tüketim oranını düşürmek olabilir. Yüksek tüketim döneminde akünün etkin kapasitesi düşer ve bu nedenle ömrü azalır. Enerji tüketimi olmayan bir dönemde akü, kapasitesinin bir kısmını geri kazanabilir, böylece ömür uzar.

Peukert Yasası, akünün doğrusal olmayan özelliklerini dikkate alarak pil deşarjını tahmin etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Matematiksel olarak Peukert'in yasası denklem 5.21'deki gibidir:

$$t_{deşarj} = H(\frac{C}{IH})^k \tag{5.21}$$

$t_{deşarj}$ akü deşarj süresi, C akü kapasitesi (AmperSaat değeri), I çekilen akım, H nominal deşarj süresi, k Peukert katsayısı. Peukert'in katsayısı formülle belirlenebilen ampirik bir değerdir ve denklem 5.22'deki gibi hesaplanır:

$$k = \frac{logT_2 - logT_1}{logI_1 - logI_2} \tag{5.22}$$

burada I_1 ve I_2 iki deşarj akımı oranlarıdır ve T_1 ve T_2 karşılık gelen deşarj süresidir. Akü kapasitesi zamanla azalır, bu da şarj etme ve boşaltma süresinin değişeceği anlamına gelir. Bu nedenle, k belirli sayıda şarj döngüsünden sonra değerlendirilmelidir. Kurşun asit aküler için k değeri genel olarak 1.3-1.4 olarak alınır.

Tamamen boşalmış bir pilin şarj süresi ise denklem 5.23 ile hesaplanır:

$$t_{şarj} = \frac{Akünün\ Ah\ değeri}{Şarj\ akımı} \tag{5.23}$$

Belirli bir süreden sonra SOC, aşağıdaki denklemlerle verilen rüzgar, fotovoltaik enerji sistemleri ve yük arasındaki enerji dengesine dayanarak hesaplanır ve denklem 5.24 ve 5.25 kullanılır.

Pil şarj durumundayken;

$$E_A(t) = E_A(t-1)(t-\sigma) + (E_{TEJ}(t) - \frac{E_Y(t)}{\eta_{inv}})\eta_{Akü} \quad (5.24)$$

Pil deşarj oluyorken;

$$E_A(t) = E_A(t-1)(t-\sigma) - (\frac{E_Y(t)}{\eta_{inv}} - E_{TEJ}(t))\eta_{Akü} \quad (5.25)$$

$E_A(t)$ ve $E_A(t-1)$ sırasıyla *(t)* ve *(t-1)* zamanlarında pil şarjı olduğunda enerjilerini, σ saatlik kendi kendine deşarj oranını, $E_{TEJ}(t)$ hibrit fotovoltaik ve rüzgar tarafından üretilen toplam enerjiyi, $E_Y(t)$ t zamanında yükü, η_{inv} ve $\eta_{Akü}$ sırasıyla invertör verimliliği ve akü şarj verimliliğini ifade eder.

Akü herhangi bir zamanda denklem 5.26'daki kısıtlamalara uymalıdır:

$$E_{A,min} \leq E_A(t) \leq E_{A,max} \quad (5.26)$$

$E_{A,max}$ ve $E_{A,min}$ sırasıyla akünün izin verilen maksimum ve minimum depolama kapasiteleridir. $E_{A,min}$ denklem 5.27 ile elde edilebilir:

$$E_{A,min} = DOD.E_{NDK} \quad (5.27)$$

burada E_{NDK}, akünün nominal depolama kapasitesidir ve DOD, akünün maksimum deşarj derinliğidir.

5.1.4. Dizel Jeneratör Modellemesi

Dizel jeneratör genellikle bir dizel motora bağlı senkron jeneratörden oluşur. Alternatif çıkış akımının frekansı bir hız regülatörü tarafından korunur. Regülatör, motor devrini ve jeneratörün hızını sabit tutmak için yakıt akışını ayarlayarak çalışır. Dizel motorlar daha verimli içten yanmalı motorlardır. Bu tür jeneratörün dönme hızı, enjekte edilen yakıtın miktarına ve motor krank miline uygulanan yüke bağlıdır. Dizel motor doğrusal olmayan bir sistemdir. Dizel motorlar genel olarak cruise kontrol sistemi ile donatılmıştır. Yüke bağlı olarak yakıt enjeksiyonunu ayarlayarak dizel motorun hızını otomatik olarak kontrol eder. İvme mekanizmasına etki eder. Çalışmada tasarımı

yapılacak olan güneş-rüzgar-akü-dizel jeneratör hibrit sisteminin bir parçası olan dizel jeneratör sisteminin akıllı şebeke entegrasyonunda kullanmak üzere irdelememiz gerekmektedir.

Dizel jeneratör, hibrit yenilenebilir enerji sistemlerindeki güç eksikliğini sağlamak için yedek olarak kullanılan geleneksel enerji kaynağıdır. Dizel jeneratörlerin saatlik yakıt tüketimine bağlı olarak ortalama gücü denklem 5.28'deki gibidir:

$$P_{Dizel}(t) = \frac{D_f(t) - \beta_D P_{Dag}}{\alpha_D} \quad (5.28)$$

$D_f(t)$; L/h cinsinden dizel jeneratörün saatlik yakıt tüketimi,

$P_{Dizel}(t)$; dizel jeneratörün saat başına ortalama gücüdür, kW,

P_{Dag}; dizel jeneratörün anma gücüdür, kW,

α_D ve β_D; yakıt tüketimi eğrisinin katsayılarıdır, L / kWh,

5.2.Bağımsız Hibrid Fotovoltaik/Rüzgar/Dizel/Akü Enerji Sistemlerinin Boyutlandırılması Ve Akıllı Şebekeler

Sistem güvenirliği dağınık enerji üretim sistemleri için en önemli konudur. Arz güvenliğini sağladıktan sonra optimizasyon ve enerji verimliliği en önemli araştırılması gereken konular olacaktır. Gelecekte kurulacak olan enerji yapısı ve sanal enerji santralleri, aslında küçük santrallerin tek bir santral gibi tanımlayan ve kontrol eden sistemlerin olması gerekmektedir.

Daha öncede belirttiğimiz üzere dağıtım şebekelerine yenilenebilir enerji üretim santrallerinin entegrasyonlarının yük artışına ve gerilim dalgalanmalarına sebebiyet vermesi sonucunda kontrol zorlaşacaktır. Kontrol edilemeyen sistemler enerji kalitesine büyük olumsuzluklar sağlayabilecektir. Dağıtım şebekelerinde sürekli olarak izlenebilirlik ile birlikte gerekli kontrol ve kumanda edebilme önlemleri alınmış olacaktır. Söz ettiğimiz düzenleyici yapılar, manuel ya da otomatik olarak gerilimi, aktif gücü ve reaktif gücü kontrol edebilecektir. Konvansiyonel sistemlerden de aşina olduğumuz üretim sistemleri, transformatör yapıları ve kapasitörler kontrol için kullanılacaktır. Sonuç olarak bu sistemler ile güç akış miktarı ve yönleri izlenebilecek ve limit aşımlarına hızlı ve doğru bir şekilde müdahale edilebilecektir. Ayrıca şebeke kayıplarınında izlenebilirliği birçok problemin önüne geçilmesine sebebiyet verecektir.

Hibrit yenilenebilir enerji sistemlerinin kontrolü için operasyonel bir strateji belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda belirtilecek olan formülasyonlar sadece güç üzerinden modellenerek oluşturulacaktır. Hibrit sistemlerde yenilenebilir kaynaklar tarafından üretilen güç, talep edilen güç miktarını aşarsa, artık güç pillerde saklanacak ve yeni SOC değeri hesaplanacaktır. Eğer bataryalar SOC maksimum değerine ulaşırsa, $E_{A,maks}$, bu sebepten dolayı oluşan artık güç yapay yükü beslemek için kullanılacaktır, ve yapay yük $P_{YapayYük}$ olarak belirtilecektir.

- $P_{Rüzgar}(t) > P_{Yük}(t)$ ve SOC < $E_{A,maks}$ olduğunda denklem 5.29 elde edilir;
  - $P_{Aküşarj}(t) = \left[\left(P_{Rüzgar}(t) - P_{Yük}(t)\right)\eta_{İnventör} + P_{FV}(t)\right]\eta_{Aküşarj}$ (5.29)

- $P_{Rüzgar}(t) > P_{Yük}(t)$ ve SOC $\geq E_{A,maks}$ olduğunda ise denklem 5.30-31 kullanılır;
  - $P_{Aküşarj}(t) = 0$ (5.30)
  - $P_{YapayYük}(t) = \left[\left(P_{Rüzgar}(t) - P_{Yük}(t)\right) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right]$ (5.31)

Denklem 5.31'de yapay yükün Ac olacağı düşünerek, solar sistemin yarattığı güç miktarı inventörün verimliliği ile çarpılmıştır. Sebebi solar panellerin dc akım üretmesidir.

- $P_{Rüzgar}(t) > P_{Yük}(t)$ ve $\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right) > P_{Yük}(t)$ ve SOC < $E_{A,maks}$ olduğunda denklem 5.32 kullanılır;
  - $P_{Aküşarj}(t) = \left[\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör} - P_{Yük}(t)\right)\right]\eta_{İnventör}\eta_{Aküşarj}$ (5.32)

- $P_{Rüzgar}(t) < P_{Yük}(t)$ ve $\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{PV}(t)\eta_{İnventör}\right) > P_{Yük}(t)$ ve SOC $\geq$ $E_{Aküşarj,maks}$ olduğunda denklem 5.33 ve 5.34 elde edilir;
  - $P_{Aküşarj}(t) = 0$ (5.33)
  - $P_{YapayYük}(t) = \left[\left((P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}) - P_{Yük}(t)\right)\right]$ (5.34)

$P_{Yük}(t)$, yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği güçten büyükse, yük talebini karşılamak için aküler kullanılacaktır ve SOC değerleri değişmeye başlayacaktır. SOC minimum seviyesine düşerse, $E_{Aküşarj,min}$ gerekli yük talebini karşılamak için dizel jeneratörleri devreye girecektir ve böylece talep edilen gücün sürekliliği sağlanacaktır ve aşağıdaki denklemler ile desteklenecektir.

• $(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}) < P_{Yük}(t)$ ve $SOC > E_{Akü,min}$ koşulları oluştuğunda denklem 5.35 kullanılarak $P_{Akü,deşarj}(t)$ bulunur;

- $P_{Akü,deşarj}(t) = \left[\left(P_{Yük}(t) - P_{FV}(t)\eta_{İnventör} - P_{Rüzgar}(t)\right)\right]\eta_{İnventör}\eta_{Akü,Deşarj}$ (5.35)

• $(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}) < P_{Yük}(t)$ ve $SOC \leq E_{Akü,min}$ olduğunda denklem 5.36 ve 5.37 kullanılır;

- $P_{Akü,deşarj}(t) = 0$ (5.36)
- $P_{Dizel}(t) = \left[\left(P_{Yük}(t) - P_{FV}(t)\eta_{İnventör} - P_{Rüzgar}(t)\right)\right]\eta_{Dizel}$ (5.37)

• $P_{Dizel}(t) > P_{Dizel,maks}(t)$ olduğunda denklem 5.38'deki gibi yük kaybı olasılığı cinsinden ifade edilir;

- YKO=YKO(t)+1 (5.38)

Burada YKO, yük kaybı olasılığını ifade etmektedir. $P_{Dizel,maks}(t)$ ise dizel jeneratörün tepe yük değerini belirtmektedir.

Sistemin ihtiyaçları belirlendikten ve kurgulandıktan sonra optimizasyon çalışmaları yapılması gerekmektedir. Sistemin en optimal bir şekilde çalışması için ana hedeflerimizi belirlememiz gerekmektedir. Yukarıda belirtmiş olduğumuz yük kaybı olasılığını (YKO) kullanarak sistem güvenirliliğine artan düzeyde katkı sağlamamız gerekmektedir. Bahsetmemiz gereken diğer kavram ise seviyelendirilmiş enerji maliyetleridir ve bu değerin minimum seviyelere indirilmesidir. Diğer bir hedef ise yapay yükün en aza indirilmesidir. YKO ve yapay yük güç değerleri tasarım yapılanlar tarafından belirlenmesi gerekmektedir. Bu değerler sistemin limitlerini belirler ve limit değerleri tutturulana kadar bir döngü halinde yukarıda belirtilen formüller hesaplanmaya devam edilir. Özetlemek gerekirse, oluşturulan model üretilen toplam enerjinin yük gereksinimlerini karşılamayı hedefler. Hedefler tutturulamadığında ise alt enerji üretim sistemlerinin arttırılması gerekmektedir. Bu belirttiğimiz durum tam terside olabilir. Bu sefer sistemde bulunan alt enerji üretim sistemlerin limitler doğrultusunda azaltılması gerekmektedir.

Kurulacak olan hibrit yenilenebilir enerji sistemi için teknoloji seçimi dizayn aşamasında ilk düşünülecek kısımdır. Seçilecek bölgenin hava koşulları özellikle rüzgar türbinleri için önemli bir seçim kriteridir. Hava koşullarına göre yenilenebilir enerji kaynakları için farklı kombinasyonların düşünülmesi gerekmektedir ve bu düşünülen

kombinasyonlar için fizibilite çalışması yapılması gerekmektedir. Optimizasyon teknikliklerı fizibilite çalışması için dikkate alınmalıdır. Yapılan bu çalışmadan sonra verimlilik, ekonomiklik ve güvenilirlik söz konusu olmalıdır.

Sistem bileşenleri boyutlandırılırken birçok parametre veya limitler çalışmayı doğrudan etkilemektedir. Örnek vermek gerekirse, ilk yatırım maliyetleri, sistemin süre içerisinde ekonomik gücü, sera emisyon koşulları ve en önemlisi enerji arz güvenliğidir. Eğer sistem boyutlandırılırken aşırıya kaçılırsa yüksek sistem maliyetleriyle baş başa kalınabilinir ve sistemin kurulumundan vazgeçilebilinir.

Dağıtılmış güç sistemlerinin bileşenlerini saymak gerekirse; ilk önce güç sağlayan bir enerji kaynağının olması gerekmektedir, ikinci olarak bu enerji kaynağının sisteme bir invertör veya bir dönüştürücü ile dahil edilmesi gerekmektedir.

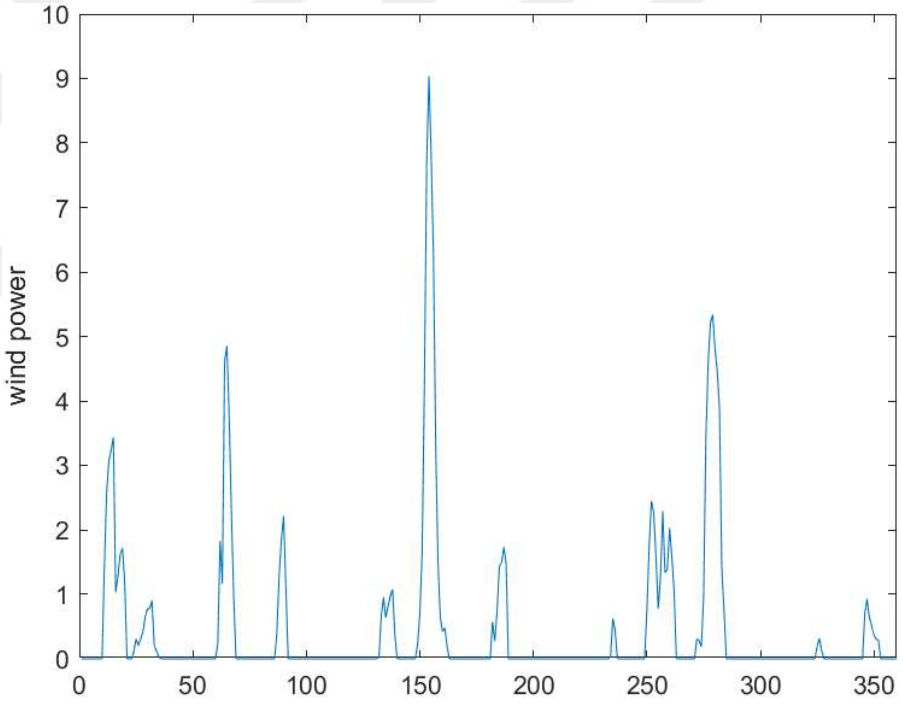
Konu içerisinde belirtilen kurgu Matlab ile simülasyonu yapılarak sonuçlar aşağıda belirtilmiştir. Yapılan çalışmada Bursa ili Rüzgar hızı ve Solar Radyasyon değerleri kullanılmıştır. 15 günlük alınan değerler Tablo 5.2'deki gibidir:

Tablo 5.2: *15 günlük Bursa Rüzgar Hızı, Solar Radiation ve Sıcaklık verileri*

timestamp	***Bursa Temperature [2 m elevation corrected]***	***Bursa Shortwave Radiation***	***Bursa Wind Speed [10 m]***
2020-0516T00:00:00	*27*	*0*	*1,6629431*
2020-0516T01:00:00	*26*	*0*	*1,5819392*
2020-0516T02:00:00	*25*	*0*	*1,332*
2020-0516T03:00:00	*25*	*0*	*1,266676*
2020-0516T04:00:00	*25*	*0*	*1,1863103*
2020-0516T05:00:00	*25*	*0*	*1,1000891*
2020-0516T06:00:00	*25*	*1*	*0,74*
2020-0516T07:00:00	*27*	*100*	*0,3139554*
2020-0516T08:00:00	*27*	*277*	*1,11*
2020-0516T09:00:00	*29*	*453*	*2,1510975*
2020-0516T10:00:00	*30*	*612*	*3,3529432*
2020-0516T11:00:00	*30*	*748*	*3,8458648*
2020-0516T12:00:00	*31*	*843*	*4,023995*
2020-0516T13:00:00	*31*	*871*	*4,0753784*
2020-0516T14:00:00	*31*	*872*	*4,1400337*
2020-0516T15:00:00	*32*	*842*	*3,1776948*
2020-0516T16:00:00	*31*	*748*	*3,304413*
2020-0516T17:00:00	*31*	*616*	*3,4677508*
2020-0516T18:00:00	*30*	*454*	*3,5093482*
2020-0516T19:00:00	*28*	*279*	*3,2509506*

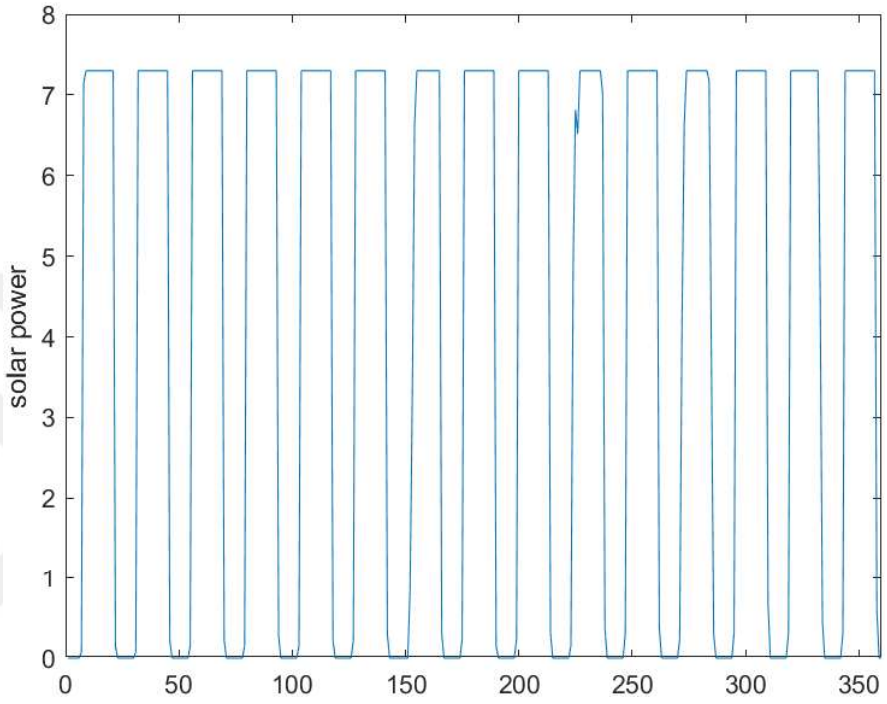
2020-0516T20:00:00	*25*	*114*	*2,1510975*
2020-0516T21:00:00	*23*	*2*	*1,9993699*
2020-0516T22:00:00	*21*	*0*	*2,2001781*
2020-0516T23:00:00	*20*	*0*	*2,5942252*

Şekil 5.15'de Matlab programında simülasyonu yapılacak bölge için rüzgar gücü gösterilmiştir. 15 günlük veri 15dx24h=360dh şeklinde sisteme girilmiştir. Şekil 5.15 incelendiğinde rüzgar hızına bağlı olarak gücün yaklaşık 6. günde artarak 9 kW civarlarına çıktığı gözlemlenmektedir. Rüzgar gücü hesaplanırken Denklem 5.5 kullanılmıştır.

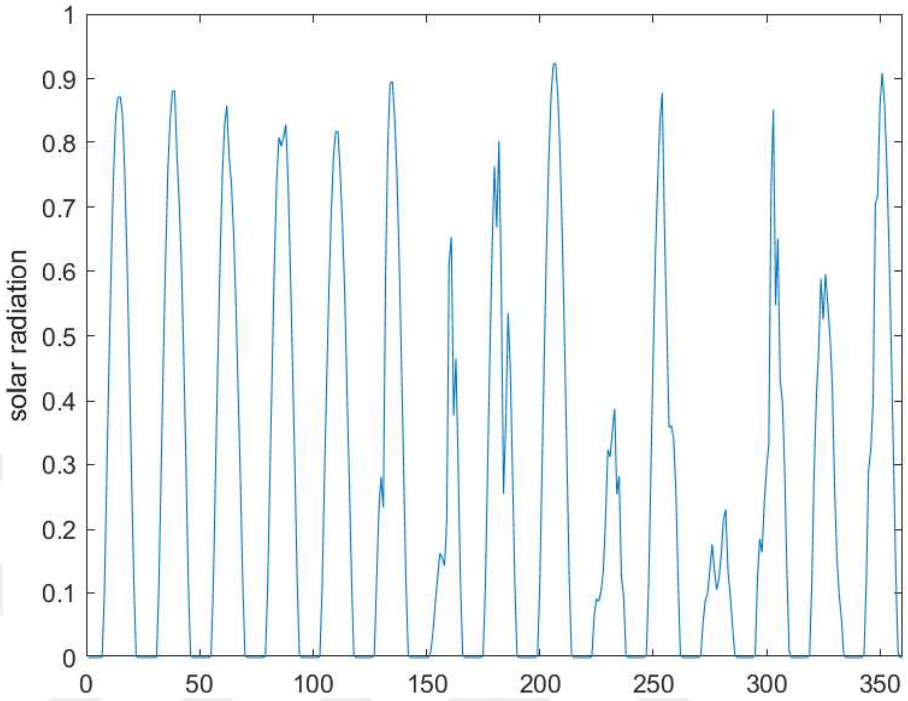


Şekil 5.15. *Rüzgar gücü*

Şekil 5.16'da ise solar güç grafiği gözlemlenmektedir. Solar gücün gece gündüz farkından etkilenmesi sebebiyle grafikte net bir şekilde gözlemlenmektedir. Solar güç hesaplanırken Denklem 5.20 kullanılmıştır.

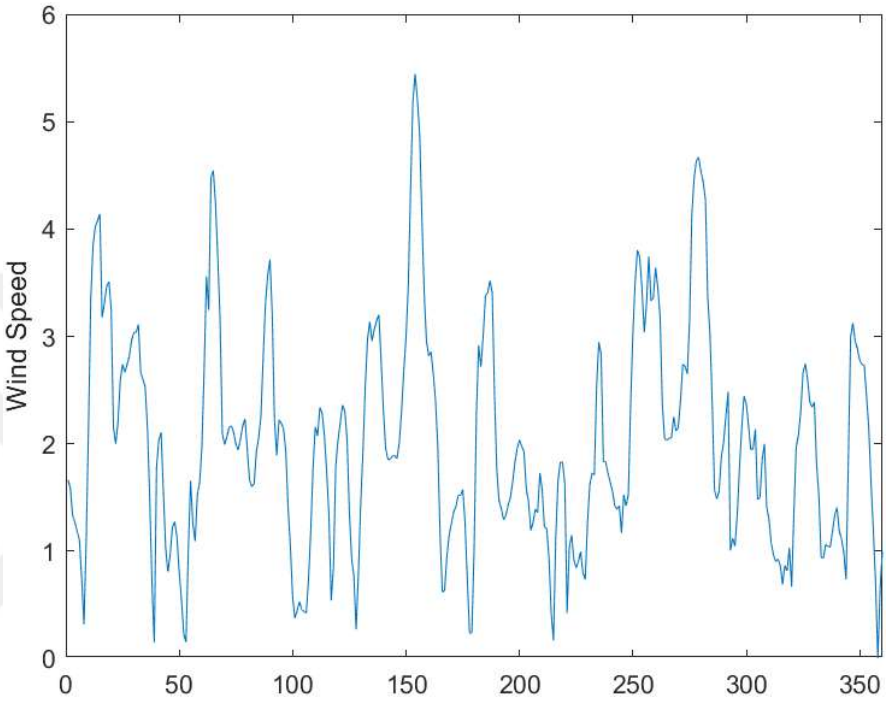


Şekil 5.16. *Solar güç*



Şekil 5.17. *Solar radyasyon*

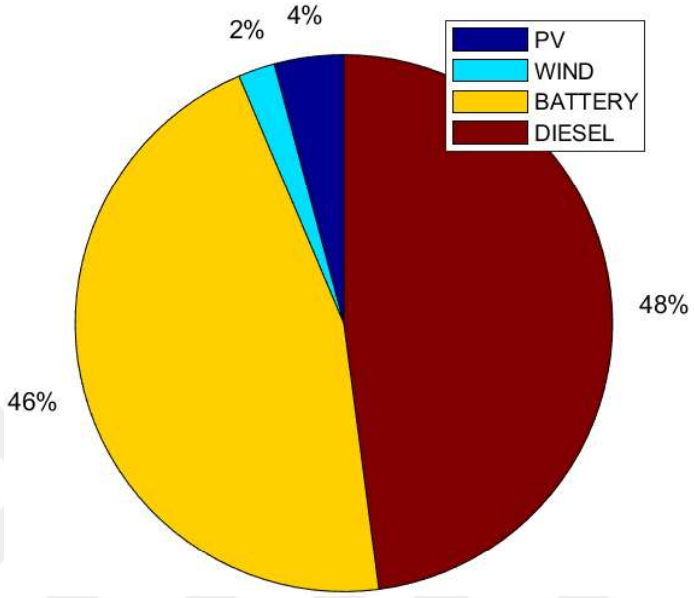
Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de ise Matlab programında simülasyon amacıyla girilen solar radyasyon ve rüzgar hızı grafikleri gözlemlenmektedir. Veriler https://globalsolaratlas.info/ ve https://globalwindatlas.info/ sitelerinden alınmıştır.



Şekil 5.18. *Rüzgar hızı*

Şekil 5.19'da ise seçilen pilot bölge için 15 günlük yük dağılımı gözlemlenmektedir. Denklem 5.29-38 kullanılarak aşağıdaki grafik elde edilmiştir. Grafikte dizel jeneratör kullanımının en yüksek değere sahip olup, %48 civarlarında olduğu gözlemlenmektedir. Bunu %46 ile akü kullanımı izlemektedir. Seçilen pilot bölgenin tüketiminin fazla olması sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin ise düşük seviyelerde olduğu gözlemlenmektedir.

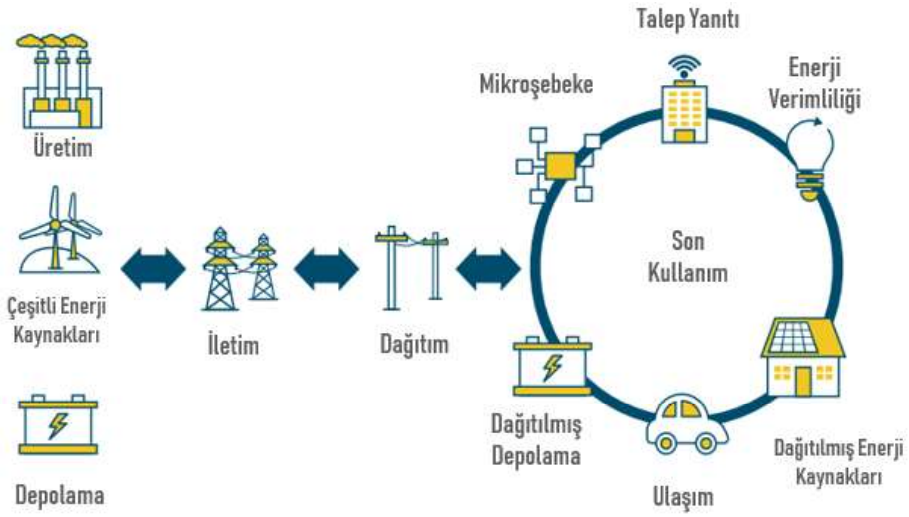
Diğer bir konu ise seçilen bölgenin rüzgar hızı ve solar radyasyon değerleri bakımında zayıf olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 5.19. 15 günlük belirlenen bölgenin güç beslemesinin dağılımı

5.3.Akıllı Şebekeler

Endüstride temel girdilerden sayılan elektrik ve doğal gaz, piyasalarda yaşanan hızlı değişimler sebebiyle, alternatif kontrol yöntemlerinin kullanımı söz konusu olmaya başlamıştır. Global düzeyde enerji sektörü değişime uğramaktadır. Bu değişimler esnasında, düşük enerji verimliliği, arz güvenliği ve enerji kalitesi, dağınık üretim konularında yeni gereksinimler ortaya çıkmıştır. Akıllı şebekeler yaşanan bu önemli konu başlıklar için modern bir çözüm olma yolunda gereklilik oluşturmuştur. Akıllı şebeklerin en önemli unsurlarından biri olan arz ve tüketim davranışlarını kendine entegre eden bir yapı olmasıdır. Akıllı şebekelerin hedeflerini özetlemek gerekirse; kullanımda süreklilik, kayıp ve kaçağın azaltılması, enerji kaynaklarının verimli kullanılması ve veri akışının sürdürülebilirliğidir. Akıllı şebekelerin başlangıç noktası elektrik dağıtım sistemleri olmuştur. Günümüzde temel girdilerden biri olan doğal gaz için uygulama çalışmaları hızla sürmektedir. Doğal gazı, elektrik dağıtım sistemlerine uygulan akıllı şebekeler mantığı ile düşündüğümüzde; tüketim miktarı, basıncı ve ısı değeri kontrol altında tutulması mümkündür. Elektrik tüketiminin kontrolünde olduğu gibi, doğal gaz piyasasının düzenlenmesi ve kontrol edilebilirliği sağlanmış olur.



Şekil 5.20. *Akıllı şebekenin özet görüntüsü)*

Şekil 5.20'de akıllı şebekenin özet görüntüsü verilerek sistemin temel girdileri ve çıktıları belirtilmiştir. Özet görüntüde akıllı şebekelerin konvansiyonel sistemlere benzerliği anlaşılmaktadır. Temelde üretim-iletim-dağıtım-son kullanım konvansiyonel sistemlerinde temel taşlarıdır. Ancak en büyük farklardan bir tanesi çift yönlü iletişimdir.

Konvansiyonel şebeke sistemlerinde; enerji kesintileri, düşük verimlilik, sayaç arızaları ve kaçak gibi problemler, tüketici tarafından belirli kuruluşlara iletilerek veya dağıtıcı firmaların tespiti ile mümkün olmaktaydı. Ancak akıllı şebekelerde bu belirtilen problemler anında saptanarak, herhangi bir kesinti yaşamadan, otomatik olarak kontrol merkezlerinden halledilir. Akıllı şebekeler, gerçek zamanlı haberleşme altyapısı sayesinde aşırı yüklenmeleri tespit etmekte, enerji akış yönlerini düzenlemekte ve enerji kayıp-kaçaklarını önlemeye katkı sağlamaktadır. Aynı zamanda, enerji arz-talep dengesini ve enerji dağıtımını yöneterek, daha adil tüketim bedeli ve daha dengeli kaynak kullanımını sağlar (GazBir 2017). Bu akıllı şebeke sistemleri doğal afetlere daha dayanıklıdır. Doğal afet yaşandığında hızlı bir şekilde yeniden devreye alınabilme özelliğini akıllı şebeke tarafından dağıtım firmalarına ve tüketicilere sağlamaktadır. Diğer bir konu olan karbon emisyonu bakımından da akıllı şebekeler önemli araştırma yükü oluşturmaktadır.



Şekil 5.21. *Konvansiyonel sistemin yapı taşları*

Akıllı şebekeler kurulumu için birçok mühendislik çalışmasına ihtiyaç vardır. Özellikle disiplinler arası çalışmalar büyük önem arz etmektedir. Haberleşme, akıllı şebekelerin önemli yapı taşlarından bir tanesidir. Özellikle çift yönlü haberleşmenin bu sistemlerde kurulumunun dikkatlice yapılması gerekmektedir. Yapısal olarak akıllı şebekelerin arz tarafı ile talep tarafı arasında sıkı bir bağ kurması gerekmektedir. Şekil 5.21'de görüldüğü gibi konvansiyonel sistemlerin temel taşları; iletim hatları, dağıtım fiderleri, kesici ve tranformatörlerden oluşmaktadır. Geleneksel konvansiyonel sistemler akıllı şebekelerin temel taşı olmaya devam edecektir. Ancak geleneksel konvansiyonel sistemlerin geliştirilmesi üzerine çalışmalar günümüzde devam etmektedir. Farklı disiplinlerin geleneksel konvansiyonel sistemlere dahil olması ile birlikte mikroişlemci tabanlı görüntüleme, koruma, kontrol ve veri toplama cihazlarının gelişiminin günümüzde önem kazandığını gözlemlemekteyiz. Ancak akıllı şebekelerin günümüzde daha fazla gelişmeye açık olduğu gözlemlenmektedir.

Artan güç talebiyle birlikte sistem üzerindeki yük profillerinin zorlanması söz konusudur. Burada bahsetmemiz gereken en önemli özelliklerin birkaçı; şebeke kararlılığı, güvenliği, iletim ve düşük maliyetli üretim kaynaklarının kullanılmasına yönelik kavramlardır. Yukarıda bahsedilen kavramların dengede tutulabilmesi için akıllı şebekelerin kurulum yapısının esnek olması gerekmektedir.

- Uzaktan görüntüleme, kullanım zamanı fiyatlaması ve talep tarafı yönetimi gibi tüketici opsiyonları için akıllı algılama ve ölçümleme teknolojileri,
- Şebekenin her bir uç noktasının gerçek zamanlı bilgi ve kontrolü için iki yönlü, gelişmiş bir haberleşme altyapısı,

- Gelişmiş ara yüzler içeren ve şebeke operatörlerine ciddi katkılar sağlayan bir yazılım sistemi ve gelişmiş kontrol yöntemleri. (Uzunoğlu, Erdinç 2013)

Akıllı şebekelerin avantajlarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

Akıllı - olası bir kesintiyi önlemek veya en aza indirgemek için sistemin aşırı yükünü algılayabilme ve gücü yeniden yönlendirebilme, koşullar insanın yanıt verebileceğinden daha hızlı çözüm gerektirdiğinde bağımsız olarak çalışabilme özelliği, akıllı olmayı açıklamaktadır.

Verimli – artan talebi karşılayabilir özelliği verimliliği açıklar.

Konum – sistemleri hibrit bir şekilde kullanabilme özelliği ve birçok enerji kaynağını kontrollü bir şekilde bir arada kullanmayı sağlama özelliği ile daha iyi fikir ve teknolojileri bir araya getirme yeteneğine sahip olma özelliği ön plana çıkmaktadır.

Motive edici - Tüketici ve hizmet sağlayıcı arasında eş zamanlı iletişimi sağlamak akıllı şebeklerin en önemli özelliklerinden biridir. Bu iletişim, verilecek hizmetin ve güvenin sağlam temellere sahip olmasını mümkün kılacaktır.

Fırsatçı – Tak-kullan yeniliğinden her yerde ve ne zaman uygunsa yararlanabilme özelliği sayesinde yeni fırsatlar ve pazarlar yaratmak önemli özelliklerinden biridir.

Kalite odaklı - gerekli güç kalitesini sağlayabilen - kesinti olmadan - giderek artan dijital ekonomimize ve onu çalıştırmak için gereken veri merkezlerine, bilgisayarlara ve donanımlara güç sağlamak için akıllı şebekelerin kullanım önemi artmaktadır.

Esnek – Akıllı şebekeler güvenlik protokolleri ile güçlendirilmiş hale geldiğinden, saldırı ve doğal afetlere karşı giderek daha dayanıklı hale gelmektedir.

"Yeşil" - küresel iklim değişikliğinin ilerlemesini yavaşlatıyor ve önemli çevresel iyileştirme yolları sunuyor.

Tablo 5.3. *Akıllı şebekelerin ekonomiklik, güvenilirlik ve çevresel etmenler açısından avantajlarının değerlendirilmesi*

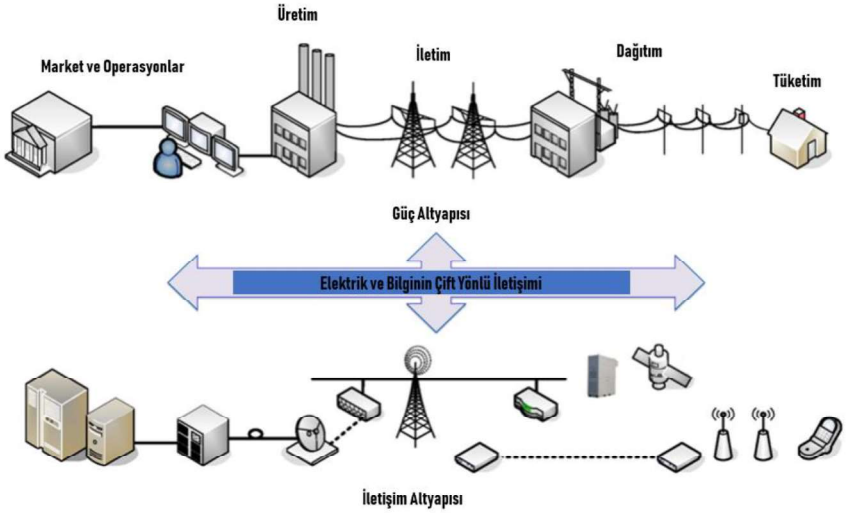
Ekonomik	*Tüketim bedelleri oluşturulurken adil dağılım yapılabilir.*
	Kayıp-Kaçak oranlarında azalma gözlemlenir. (Doğalgaz+Elektrik)
	Yatırım yapılırken değerlendirmelerin kayıpsız değerlendirilmesi sağlanır.
	Bakım ve onarım maliyetlerinde azalma gözlemlenir.
	Dağıtım ve iletim yatırımlarına gereksinim azalır buda maliyetleri etkiler.

	Akıllı dağıtım ve iletim ile dengeli kaynak tüketimi sağlanır.
	Dağıtım ve iletim hatlarında kapasitelerin verimli kullanılması sağlanır.
Güvenilirlik	*Kesintisiz enerji arzı sağlanır.*
	Hızlı bakım-onarım sağlanır.
	Anlık veri alışverişi ile faturalandırma daha açık olur.
	Sabit ve hedeflenen değerlerin tutturulması daha kolay olur.
	Mevzuat ve yönetmeliklerinin sürekli kontrolü sağlanır.
Çevresel	*Düşük karbon emisyonu sağlanır.*
	Enerji elde etmek için kullanılan kaynakların tüketiminde azalmalara sebep olur.

5.3.1. Akıllı Şebekelerde İletim & Dağıtım Sistemleri ve Geleceği

Akıllı elektronik cihazlar bir haberleşme hattı üzerinden başka bir cihaz ile veri ve kontrol sinyali alışverişi yapma yeteneğine sahip olan, mikroişlemci tabanlı cihazlardır (Wang, 2011).

Akıllı şebekelerin odaklanması gerekilen kısmı merkezi kontrol ve veri alma sistemleridir. Şekil 5.22'de sistemin iletişim ve güç altyapısı gösterilmiştir. Bu sistemler, farklı coğrafi konumlarda olan cihazlardan, çeşitli sensörler vasıtasıyla veri toplayıp, değerlendiren yazılımsal ve donanımsal elemanlar olarak adlandırılırlar. Bu sistemlerde en fazla adı geçen isim SCADA (Merkezi Denetleme Kontrol ve Veri Toplama) sistemidir. SCADA veri alma, uzaktan kontrol, istatiksel bilgilerin analizi, kullanıcı ara yüzü ve rapor oluşturma gibi özelliklere sahiptir. Bu özelliklerin tek çatı altında toplanmış olması ve akıllı bir sistem tarafından oluşturulan algoritmalar ile şebekelerin kontrolü sağlanmış olur.



Şekil 5.22. *Akıllı şebekelerin Güç ve İletişim Altyapısı*

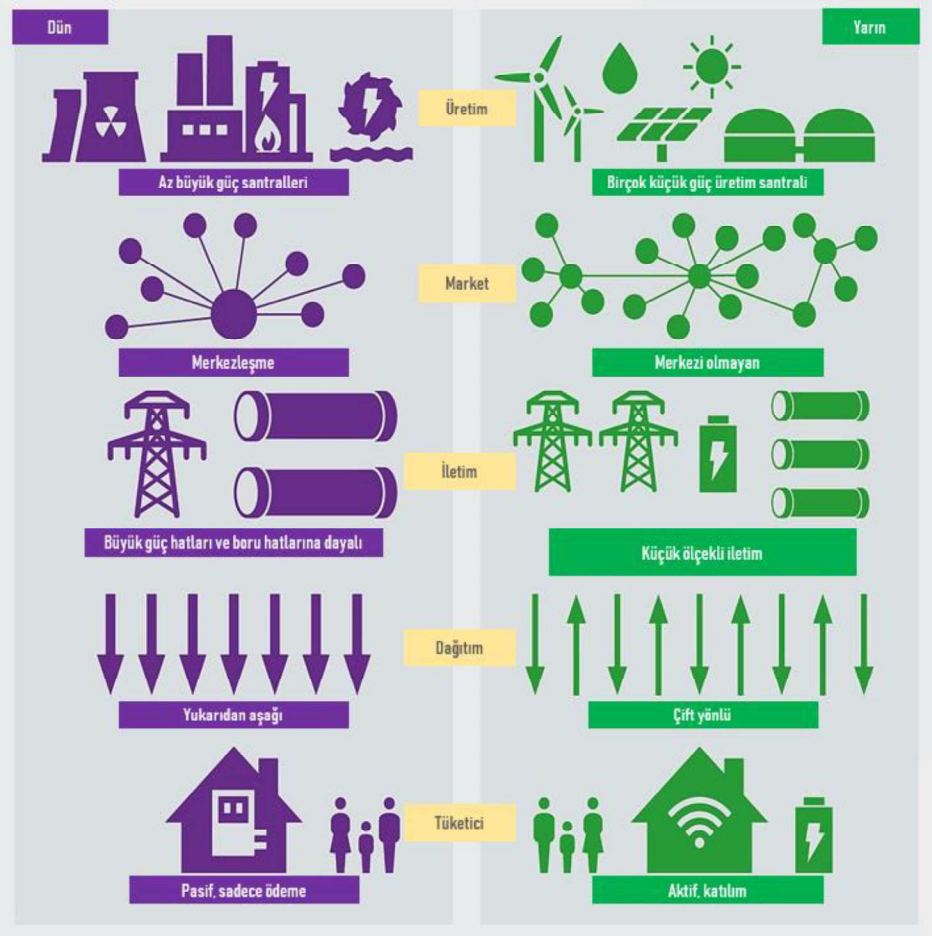
Güç şebekesini düşündüğümüzde, elektrik enerjisi dağıtım sistemlerinin en kritik noktada olduğunu gözlemleriz. İletim şebekesi aracılığıyla, farklı coğrafi alanlarda bulunan üretim ve tüketim merkezlerinin birbiri ile bağlantıları sağlanmaktadır. Elektrik iletim şebekelerinin günümüzdeki mevcut yapısı, birçok görüntüleme ve kontrol teknolojisini bünyesinde barındırmaktadır. Adı geçen teknolojiler, eklenecek olan yeni özelliklerin entegrasyonu ile birlikte geleceğin akıllı iletim sistemlerinde de kilit rol oynayacaktır(Uzunoğlu, Erdinç 2013). İletim ve dağıtım hatlarında enerjinin taşınımı için iletken kullanılmak zorundadır. Ancak bu iletkenler sahip oldukları dirençler sebebiyle hat uzunluğuna bağlı olarak enerji kayıplarını gündeme getirmektedir. Elektrik enerjisi transfer edilirken bahsedilen kayıpların yanında enerji kaliteside ön plana çıkmaktadır. Türkiye, Avrupa iletim ve dağıtım sistemine entegrasyonunu tamamlamak için (ENTSO-E/Avrupa Elektrik İletim Sistemi İşleticileri Birliği) bazı enerji kalitesini etkileyen konulara odaklanması gerekmektedir. Bunların başında gerilim dalgalanmaları, enerji kesintileri ve frekans değişimleri ön plana çıkmaktadır. ENTSO-E sisteminin entegrasyon için enerji kalite standartlarının sağlanması gerekmektedir. Enerji kalitesinin izlenebilirliği için çeşitli çalışmalar yapılmıştır; ancak bunlar yeterli olmamaktadır. Gerçek zamanlı enerji Milli Güç Kalitesi İzleme Merkezi tarafından takip edilerek, sistemdeki olumsuzluklara gerekli müdahaleler yapılmaya çalışılmaktadır.

Akıllı şebeke uygulamaları, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının ilgi sayı yazıları dikkate alınarak; Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı koordinatörlüğünde kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımları ile hazırlanan Enerji Verimliliği

Strateji Belgesi'nde (2012-2023) eylemlerden biri olarak gösterilmektedir. SA-04/ SH-02/E-01 kodlu eylemin konusu, enerji ve güç miktarına göre kademelendirilmiş tarife, çok terimli sayaç ve akıllı şebeke uygulamalarının yapılması olarak belirtilmiştir. EPDK elektrik piyasası mevzuatında yer alan Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği uyarınca, tedarik sürekliliği kalitesi ile ticari ve teknik kalitenin denetlenmesi için otomatik izleme sistemlerinin gerekliliği açıkça ortaya konmaktadır (Akcanca).

Özetlemek gerekirse ülkemizde akıllı şebeke uygulamalarının hızlandırılması ve bu modern yolun takip ederek kontrollü bir şekilde devreye alınması ve yaygınlaştırılması gerekmektedir. Enerji Verimliliği Strateji Belgesi 2012-2023'de bulunan SA-04/SH-02/E-01 kodlu eylemin uygulanmasında sağlam adımlar atılması gerekmektedir. Dağıtım şirketlerine, akıllı şebeke uygulamalarını özendirecek şekilde çalışmaların yol alması gerekmektedir. TEİAŞ ile başlayan akıllı sayaç ve uzaktan okuma gibi sistemlerin yaygınlaştırılması ülkemiz için büyük bir öneme sahiptir.

Şekil 5.23'de iletim ve dağıtım hatlarının dünü ve yarını karşılaştırılması yapılarak akıllı şebekelerin yapısı belirtilmiştir. İki karşılaştırılmada en çok ön plana çıkan tüketici ve üretici arasındaki iletişim konusudur. Geleneksel konvansiyonel sistemlerde iletişim olmadığı için mevcut üretiminin kontrolü sağlanmamaktadır ve talep net ortaya koyulmadığı için şirketler üretimi belli kriterlere göre yapmaktadır. Klasik yapıda merkezleşme ön plana çıkarken akıllı şebekelerde merkezleşmeden uzaklaşılmaktadır. Klasik yapıda daha çok fosil kaynaklarının sisteme dahil edildiği gözlemlenirken, akıllı şebekelerde yenilenebilir enerji kaynaklarının da sisteme dahil olduğu belirtilmektedir.



Şekil 5.23. *Konvansiyonel ve akıllı şebekelerin karşılaştırılması*

Tablo 5.4'de mevcutta kullanılan şebeke yapıları ile akıllı şebekelerin farkları ortaya koyulmaktadır.

Tablo 5.4. *Mevcut Şebekeler ile Akıllı Şebekeler arasındaki farklar*

KARAKTERİSTİK	***MEVCUT ŞEBEKE***	***AKILLI ŞEBEKELER***
Tüketicilerin aktif katılımını sağlar	*Tüketiciler bilgilendirilmemiş ve güç sistemine katılmıyorlar*	*Katılan ve bilgili aktif tüketiciler - Talep yanıtı ve dağıtılmış enerji kaynakları.*
Tüm nesil ve depolama seçeneklerine uygundur	*Merkezi üretimin egemenliği - dağıtılmış enerji kaynakları bağlantısının önündeki birçok engel var*	*Tak ve çalıştır kolaylığıyla dağıtılan birçok enerji kaynağı yenilenebilir enerji kaynaklarına odaklanır*
Yeni ürünler, hizmetler ve pazarlar sağlar	*Sınırlı toptan satış piyasaları, iyi entegre edilmemiş - tüketiciler için sınırlı fırsatlar*	*Olgunlaşma, iyi entegre toptan satış pazarları, tüketiciler için yeni elektrik pazarlarının büyümesi*
Dijital ekonomi için güç kalitesi sağlar	*Kesintilere odaklanma - güç kalitesi sorunlarına yavaş yanıt*	*Güç kalitesi, çeşitli kalite / fiyat seçenekleriyle bir önceliktir - sorunların hızlı bir şekilde çözülmesi*

Varlıkları optimize eder ve verimli çalışır	*Operasyonel verilerin varlık yönetimi ile az entegrasyonu - iş süreci*	*Şebeke parametrelerinin büyük ölçüde genişletilmiş veri toplama - tüketiciye etkiyi en aza indirgemeye karşı odaklanma*
Sistem bozukluklarını tahmin eder ve cevap verir (kendi kendini iyileştirir)	*Hasarın artmasını önlemek için verilen cevaplar, arızanın ardından varlıkların korunmasına odaklanmaktadır*	*Sorunları otomatik olarak algılar ve yanıtlar - önlemeye odaklanır, tüketici üzerindeki etkiyi en aza indirir*
Saldırıya ve doğal afetlere karşı esnek bir şekilde çalışır	*Kötü niyetli terör ve doğal afetlere karşı savunmasız*	*Hızlı restorasyon özelliklerine sahip, saldırılara ve doğal afetlere karşı dayanıklı*

5.3.2. Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri

Akıllı şebekeler ve mikro şebekelerde enerji depolama sistemleri; talep ve fiyattaki saatlik değişimler ile başa çıkmak için etkili bir rol oynar. Enerji depolama sistemleri aşağıdaki gibi farklı uygulamaları desteklemektedir:

a. Ofislerimizde veya günlük hayatta kullandığımız cep telefonları, dizüstü bilgisayarlar ve mobil elektronik cihazlar için kesintisiz güç kaynağı olarak kullanılabilir.

b. Sabit elektrik üretim ve dağıtım sistemleri için enerji depolamada kullanılabilir. Örnek vermek gerekirse ulusal elektrik şebekesi, askeri tesisler vb.

c. En önemlisi geniş kullanım alanlarında işlev görürler. Örneğin; kara, hava, deniz ve uzaydaki araçlar için güç kaynağı niteliği taşırlar.

Enerji depolama teknolojilerinde; depolama kapasitesi, enerji kullanılabilirliği, deşarj süresi, verimliliği, dayanıklılığı ve bağımsızlığı gibi parametreler önemli yer tutmaktadır.

5.3.2.1.Elektriksel Depolama Yöntemleri

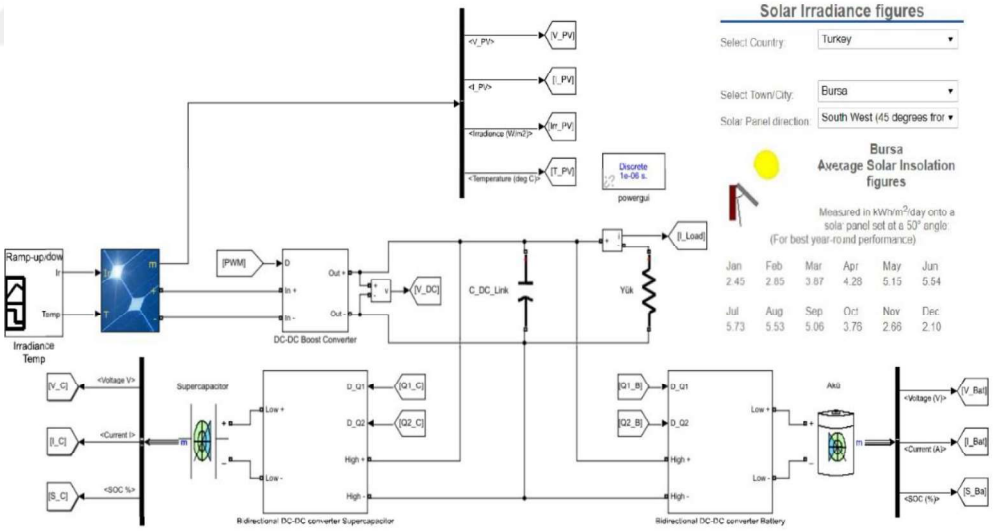
Elektriksel enerji depolama teknolojilerine örnek olarak kapasitörler, ultra kapasitörler ve süperiletken manyetik enerji depolama teknolojileri verilebilir.

- *Kapasitörler*: Elektrostatik formda depolanan enerjiyi, elektrik enerjisi olarak açığa çıkaran enerji depolama teknolojisidir. Bu cihazlar, olduğunu bozmadan yüz binlerce defa şarj deşarj döngüsü yapabilmektedirler. Kapasitörler, öncellikle tüketicilerin küçük elektronik cihazları için kullanılmış, ancak giderek silah ve ticari elektrikli araçların güç temini için geliştirilmektedir. Şu anda, enerji yoğunluğunu artırmak araştırma hedefleri arasındadır (Kocaman 2013).
- *Ultra Kapasitörler/Süper Kapasitörler:* kapasitans değerleri normal

kapasitörlerden fazla ve voltaj limitleri diğer kapasitörlere göre daha düşüktür. Elektrolitik kapasitörlere 10 ila 100 kat daha fazla enerji depolayabilirler. Çok hızlı şarj olma özelliklerine sahipler. Pillere göre daha verimli olmalarının yanında daha uzun ömürlüdürler ve bakım gerektirmezler.

- *Süperiletken Manyetik Enerji Depolama;* en önemli enerji depolama tekniklerinden biridir. Süper iletkenlik, bazı malzemelerin hiçbir direnç göstermeksizin elektrik akımını iletmesine verilen addır. Süperiletkenler sıfır dirence sahip malzemelerdir. Bu teknolojilerde enerji, halka şeklinde sarılmış süperiletken tellerden oluşan bir bobinden oluşur. Üretilen fazla elektrik bu bobine verilir ve her an kullanıma hazır bir şekilde manyetik alan olarak depolanır. Sistemin verimi, %90 veya daha fazladır ve cevap süresi çok kısadır (milli saniye) (Kocaman 2013).

Bu elektriksel depolama yöntemi için hibrit akü-süperkapasitör-fotovoltaik sistemi örnek olarak verilmiştir. Şekil 5.24'da örnek verilecek olan sistemin SIMULINK modellemesinin ekran görüntüsü kullanılmıştır.

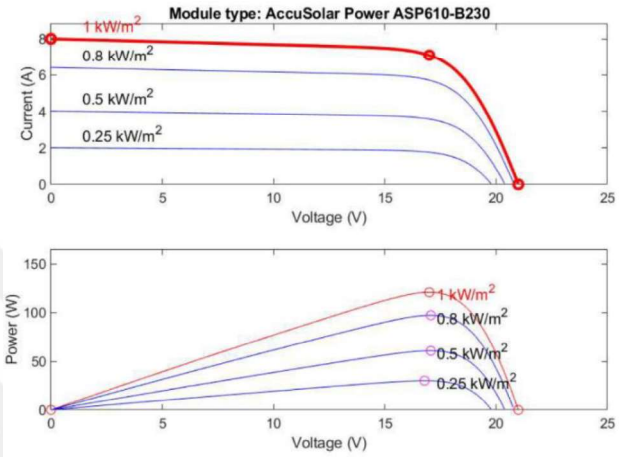


Şekil 5.24. *Süperkapasitör/Akü/PV hibrit sistemi SIMULINK modeli*

Yüksek ışınım süresi boyunca üretilen fazla gücü depolamak veya düşük ışınımlarda yük talebini karşılamak için istikrarlı bir güç kaynağı sağlamak için bir enerji depolama sistemi kullanılır. Geleneksel enerji depolama sistemleri, yük için sürekli güç depolayabilen ve sağlayabilen akülerden oluşur. Böyle bir hibrit sistemde, akü sürekli enerji tedarikini sağlarken, süper kapasitör yüke anında güç sağlar. Bu modelde belirtilen bağımsız fotovoltaik-pil-süperkapasitör hibrit enerji depolama sistemidir. Bu enerji

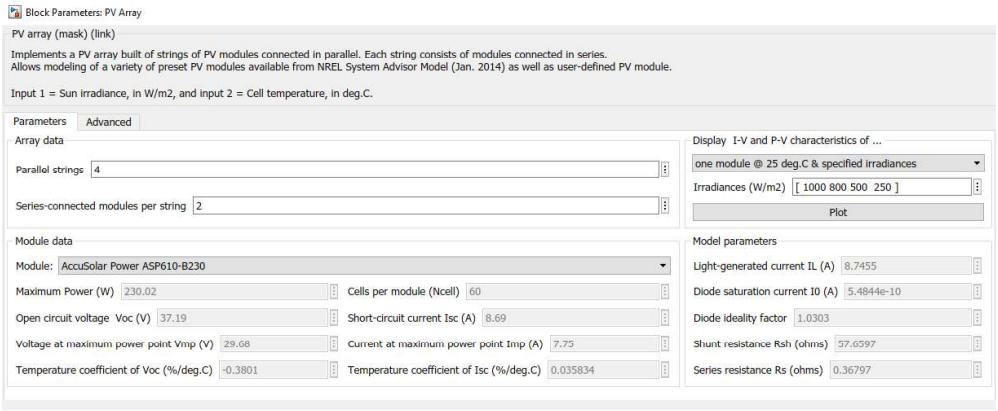
yönetimi tekniği, sistem genelinde enerji arzını ve depolanmasını kontrol etmenin nasıl gerçekleşmesi gerektiğini göstermektedir.

Sistem modeli Şekil 5.25'deki gibi olmakla birlikte malzemelerin seçimi bu çalışmada ilk adım olmuştur. İki farklı fotovoltaik modeli seçilerek çalışma yapılmıştır.



Şekil 5.25. *ASP610-B230 IV-PV karakteristiği*

Kullanılan fotovoltaik modüller ise AccuSolar Power ASP610-B230 ve JRM160M olmuştur. SIMULINK programında bulunan kütüphanede birçok modelin akım-gerilim ve güç-gerilim grafiklerine ulaşılmaktadır.

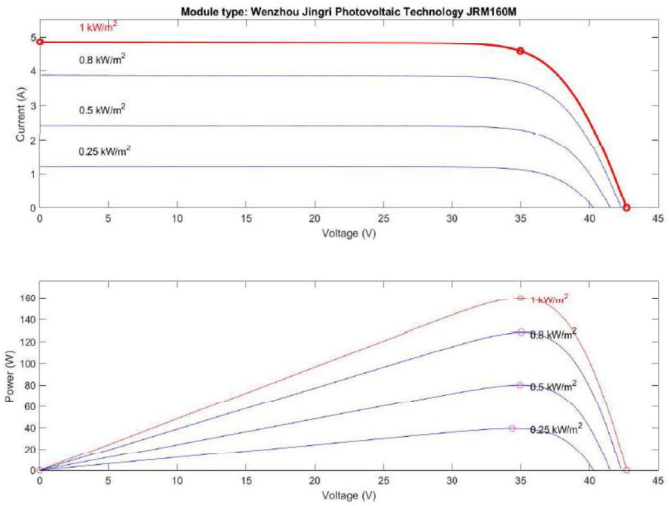


Şekil 5.26. *ASP610-B230 modeli parametre girişleri*

Şekil 5.25'de AccuSolar Power ASP610-B230 modelinin karakteristik eğri grafikleri Matlab SIMULINK üzerinden alınmıştır. Şekil 5.26'de SIMULINK üzerinden güneş paneli modeli seçilimi gözükmektedir. Aynı ekrandan ayrıca paralel ve seri bağlı olan panel sayılarınıda seçebiliyoruz. Şekil 5.26'de Irradiance sekmesine grafik

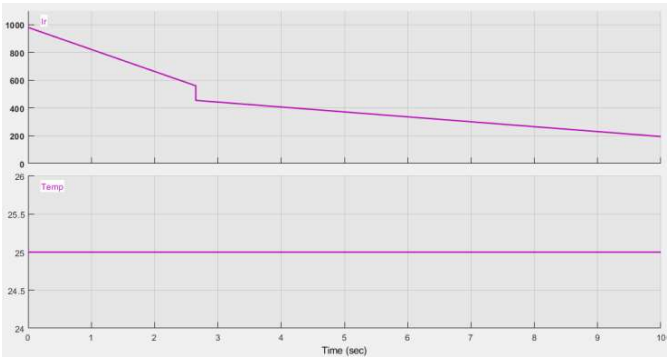
oluşturulurken fotovoltaik ışıma değerleri (denklem 4.14 *G*; güneş ışınımı, W/m^2) 1000, 800, 500 ve 250 W/m^2 olarak girilmiştir.

Yapılacak modellemede iki tip fotovoltaik panel karşılaştırılması yapılacaktır. Diğer tip modelin karakteristik eğri grafiği ise Şekil 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.27. *JRM 160M IV-PV karakteristiği*

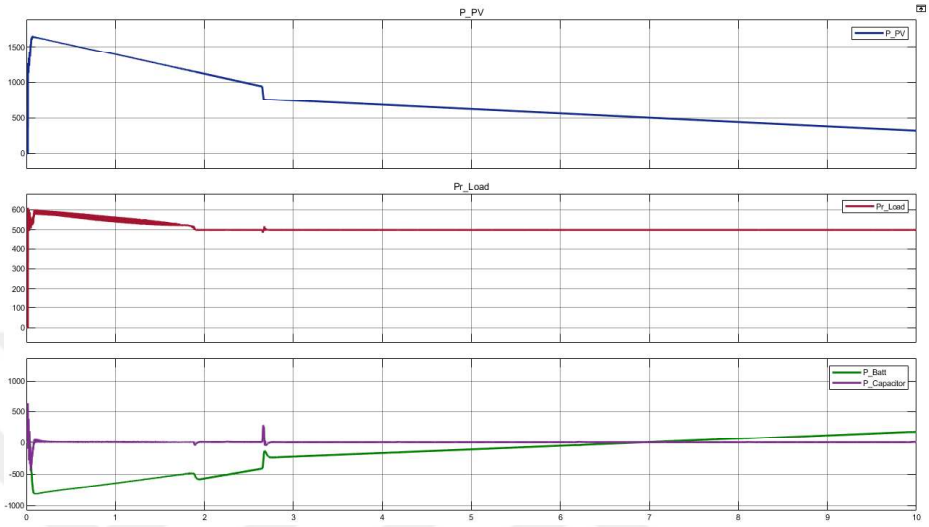
Şekil 5.28'de sistemin SIMULINK modelinde süperkapasitor ve akü çift yönlü dönüştürücü ile desteklenmiştir. Işınım değerleri seçimi ise, Şekil 5.28'deki gibi yapılmıştır. Yaklaşık olarak 1000W/m^2 ile 200W/m^2 aralığında olması ön görülmüştür. Sıcaklık ise belirtilen süre içerisinde sabit 25 derece olarak alınmıştır.



Şekil 5.28. *Örnekleme için sisteme girilen güneş ışınım ve sıcaklık değişimi grafikleri*

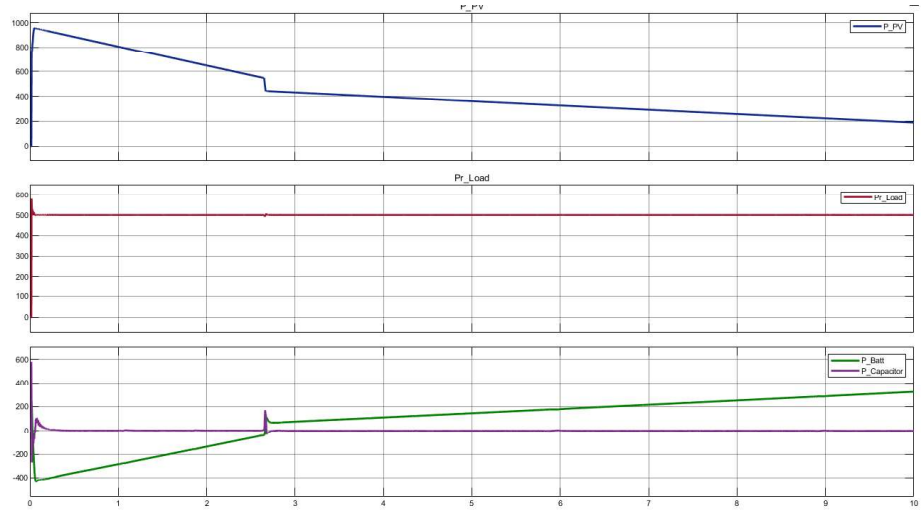
Yükün çok değişken olmadığı düşünülerek model oluşturulmuştur. Şekil 5.29'deki veriler ASP610/B230 modeli için elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde fotovoltaik gücün yeterli olduğu ve yük fazlası olduğu durumda akünün şarj olduğu

gözlemlenmektedir. Yaklaşık olarak 7. dakikada fotovoltaik gücün yetersiz olması sebebiyle akünün yükü beslediği gözlemlenmektedir.



Şekil 5.29. *P_PV/P_Load/P_Batt/P_Cap grafikleri-ASP610/B230*

Şekil 5.30'de ise veriler JRM160M modeli için elde edilmiştir. Grafik incelendiğinde fotovoltaik gücün yeterli olduğu ve yük fazlası olduğu durumda akünün şarj olduğu gözlemlenmektedir. Yaklaşık olarak 2,7. dakikada fotovoltaik gücün yetersiz olması sebebiyle akünün yükü beslediği gözlemlenmektedir. Yapılan karşılaştırmada aynı solar ışınım miktarlarında ASP610/B230 modelinden yük beslemesinin daha fazla yapıldığı gözlemlenmiştir.



Şekil 5.30. *P_PV/P_Load/P_Batt/P_Cap grafikleri-JRM160M*

5.3.2.2.Mekaniksel Enerji Depolama Yöntemleri

Mekaniksel enerji depolama yöntemlerini incelemeden önce, potansiyel ve kinetik enerjinin bu depolama yöntemi için kullanıldığını hatırlatmak gerekir. Teknikler: Volanlar, pompalı hidroelektrik depolama, sıkıştırılmış hava ile depolama olarak sınıflandırılabilinir.

- *Volanlar;* bu yöntem ile enerji, yüksek devirli rotorun oluşturduğu atalet ile sağlanır. Sistem aslında en eski depolama yöntemlerinden birisidir. Kısaca belirtmek gerekirse, enerji depolanmaya başlandığında devir sayısı enerjinin korunumu yasasına göre düşer, tam tersinde ise devir yükselir. Genel olarak sistemin amacı yüksek güç etkisi oluşturmaktır.
- *Pompalı Hidroelektrik Depolama;* bu yöntemde en önemli enerji çeşiti potansiyel enerjidir. Hidro kavramı su ile ilişkili olması sebebiyle, suyun düşük seviyeden, yüksek seviyeye pompalanarak potansiyel enerjinin depolanması olarak belirtilebilir. Pompalanan su, elektrik talebinin arttığı durumlarda depoladığı potansiyel enerji kullanılarak besleme yapılabilinir. Potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi için su türbinleri kullanılır.
- *Sıkıştırılmış Hava ile Enerji Depolama;* Kompresörler yardımı ile hava yeraltındaki sızdırmaz mağaralarda sıkıştırılarak depolanabilir. Elektrik talebinin fazla olduğu durumlarda basınçlandırılmış hava ile türbinler çalıştırılarak elektrik enerjisi elde edilir. Sadece mağaralar değil basınçlı havanın depolanacağı tanklarda bu sistemler için kullanılmaktadır.

5.3.2.3.Kimyasal Enerji Depolama Yöntemleri

- **Şarj Edilebilir Piller**
  - *Gelişmiş Kurşun-Asit Piller*; Araçlarda kullanılan bu piller motora güç sağlamak amacıyla sisteme dahil olurlar. Sistemde, kurşun anot, katot sülfürik asit olarak gözlemlenir. Sabit depolama kaynağı olarak ticareti yapılmaktadır.
  - *Akış Piller*
  - *Lityum-İyon Piller;* tekrar şarj edilebilen lityum iyon pillerde, hücreler diğer pil sistemlerinde olduğu gibi enerjiyi üretmek ve depolamaktan birincil derece sorumlu üç ana bileşenden oluşmaktadır. Bunlar anot, katot ve elektrolit olarak sıralanabilir. Anot malzeme negatif elektrot, katot ise pozitif elektrot olarak görev alır. Pozitif elektrotlar genelde tünel veya tabakalı yapılara sahip metal oksitlerden (LiMOx) oluşurlar (Nazri 2009).

- *Metal–Hava Piller;* bu pillerde katot oksijen, anot ise magnezyum, lityum veya demir kullanılır. Bu piller düşük maliyetli pillerdir; ancak enerji yoğunluğu bakımından lityum-iyon pillere göre daha yüksektirler.
- *Lityum-Metal Piller;* bu pillerin diğer potansiyel kullanımları olmasına rağmen, öncellikle elektrikli araçlar için araştırılmaktadır. Bu pillerde anot lityum olarak kullanılır. Lityum-iyon pillere göre enerji depolama kapasiteleri yüksektir.
- *Sodyum Piller;* bu pillerde ise elektrot sodyum veya sodyum bileşikleridir.
- *Nikel Kadminyum Piller;* bu piller, sulu potasyum hidroksit elektrolit içinde bir nikel ve bir kadminyum elektroda sahiptir. Nikel kadmiyum pilleri, kullanım olarak çok yaygın değildir ve yaklaşık olarak verimlilikleri %75'tir. Bu piller, acil aydınlatmalar, telekomünikasyon sistemi, güneş enerji istasyonlar, uzay araçları gibi çok geniş bir kullanım alanına sahiptir (Vural 2014).

- **Hidrojen Yakıt Hücreleri**

Yakıt pili teknolojisi askeri, taşınabilir, konutsal, uzay, sabit güç ve ulaşım araçlarında kullanılabilmektedir. Tüm yakıt pili tipleri yakıt olarak saf hidrojen gerektirmektedir. Hidrojen ise birçok farklı yoldan ve yakıt kaynağından üretilebilmektedir. Bunların başında suyun elektrolizi ve doğal gaz veya alkol gibi hidrokarbon yakıtlardan yakıt işleme (reforming) gelmektedir. Birtakım yakıt pilleri halen gelişmektedir. Bunlar genellikle kullanılan elektrolit tipine göre sınıflandırılmaktadır. Şu anda üzerinde çalışılan başlıca yakıt pili türleri şunlardır (Rostrup 2002):

- Proton değişim zarlı yakıt hücresi (PEMFC)
- Alkalin yakıt hücresi (AFC)
- Fosforik asit yakıt hücresi (PAFC)
- Erimiş karbonat yakıt hücresi (MCFC)
- Katı oksit yakıt hücresi (SOFC)
- Direkt metanol yakıt hücresi (DMFC)

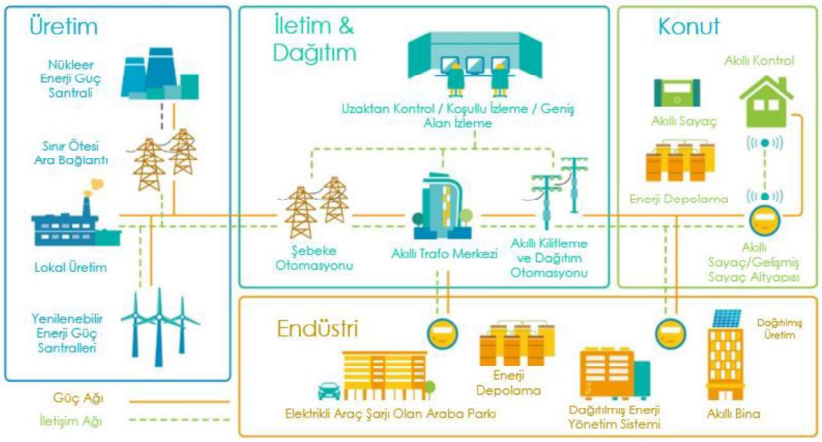
5.3.2.4.Termal Enerji Depolama Yöntemleri

Büyük endüstriyel fabrikalarda atık ısı kullanılarak elektrik enerjisi elde edilebilir. Bu tarz sistemler kojenerasyon veya trijenrasyon adıyla anılmaktadır. Kojenerasyon tesislerinde atık ısı hem elektrik enerjisi eldesi hem de sıcak su eldesi olarak kullanılabilir. Trijenerasyon tesislerinde ise sıcak su ve elektriğin yanında ısı soğutma sistemlerinde de

kullanılabilir. İşletmeler için kojenerasyon veya trijenerasyon tesisleri büyük kuruluşlar için mali anlamda çok büyük faydalar sağlamaktadır.

5.3.3. Akıllı Şebeke Yapısı

Şekil 5.31'da akıllı şebekenin yapısını oluşturan temel başlıklar verilmiştir. Akıllı şebekelerin kapsamına baktığımızda üretim ile başlayıp konut ve endüstriye kadar gitmektedir. Akıllı şebekelerde temel iki ağ mevcuttur ve bunlar güç ve iletişim ağlarıdır.



Şekil 5.31. *Akıllı Şebeke Yapı Elemanları*

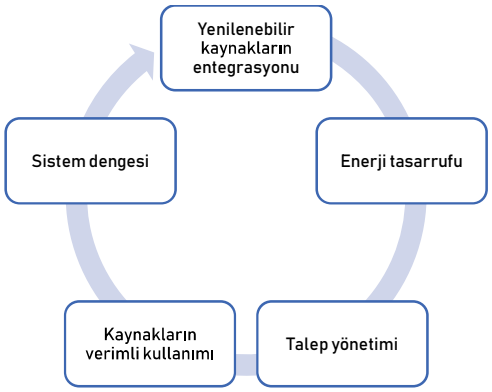
Akıllı şebeke yapısını sınıflandırdığımızda 3 temel başlık ortaya çıkmaktadır. Bunlar Tablo 5.5'deki gibidir:

Tablo 5.5. *Akıllı şebeke yapısının sınıflandırılması*

Kendi kendini onaran şebeke	***Olay önleme***	***Gelişmiş sayaç***
• *Şebeke olay ve lokasyon algılaması* • *Otomatik şebeke anahtarlaması* • *Trafo yük yönetimi* • *Gelişmiş varlık yönetimi* • *Anlık şebeke durumunu izleme* • *İnsan kaynağı yönlendirme* • *Sayaçların sensör olarak kullanılması*	• *Uzaktan yük yönetimi* • *Veri analizi* • *Şebeke durumlarının izlenmesi* • *Şebeke durum ölçümü ve kestirimci tepki*	• *Sayaçlar* • *Sayaç sorgulaması* • *Sayaç açma/kapatma* • *Elektrik kesintisi uyarısı* • *Çift yönlü haberleşme*

Tablo 5.5'e baktığımızda, aslında akıllı bir şebekenin gerçek zamanlı bir veri toplama temelinde sahip olarak meydana geldiği gözlemlenmektedir. Gerçek zamanlılık, verilerin bilgisayar tarafından hızlı bir şekilde işlenerek ve analiz edilerek insanlar tarafından hızlı karar verilebilmesi adında önem arz etmektedir. Bu veri analizleri

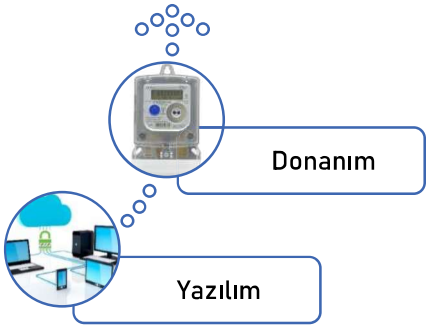
sonucunda problemlerin önüne geçilip, sistemin kendisini onarmasına izin verilmektedir. Sonuç olarak akıllı şebekelerin yapı taşını gelişmiş sayaçlar sağlamaktadır. Görsel 5.1'de akıllı şebekelerin sisteme sağladığı avantajların özeti verilmiştir.



Görsel 5.1. *Akıllı şebekelerin sisteme sağladığı avantajlar*

Akıllı şebekeler sonuç olarak gerçek zamanlı haberleşme yapısı sebebiyle, tüketici tarafındaki aşırı yüklenmeleri yorumlayabilecek, enerji akışını talep yoğunluğuna göre düzenleyebilecek, yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme entegrasyonunu sağlayabilecek ve maliyetleri düşürecek şekilde sisteme fayda sağlayacaktır.

Akıllı şebekeler iki önemli kaynaktan oluşmaktadır ve Görsel 5.2'deki gibidir:



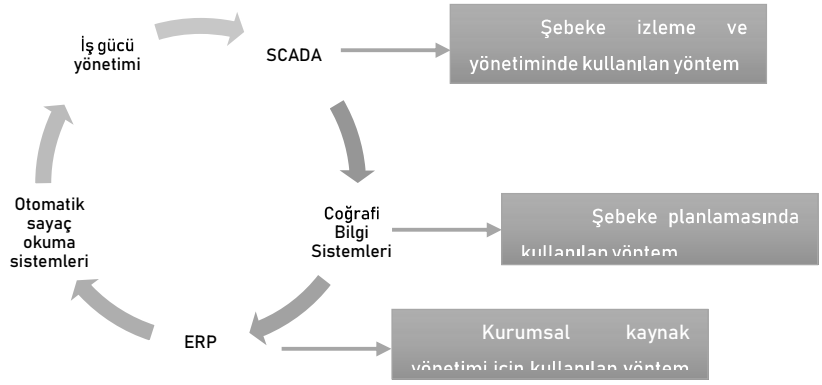
Görsel 5.2: *Akıllı şebekelerin önemli iki kaynağı*

İletişim ağı bu yapı için yüksek önem arz etmektedir ve bu ağın geliştirilmesi adına günümüzde çalışmalar devam etmektedir. Son günlerde kablosuz, WiMax ve BPL gibi teknolojiler konuşulmaktadır. Burada BPL'nin açılımına bakmak gerekirse, elektrik hatları üzerinden geniş hat olarak günümüzde çevrilmektedir ve bu sistem üzerine yoğunlaşılmış durumdadır.

Akıllı şebekeler tüm katılımcıların arz ve tüketim davranışlarını sisteme entegre eden bir sistem görevi üstlenmektedir. Bu entegrasyonun amacı düşük kayıplar ve tam kullanılabilirlik sağlamaktır. Bunların yanında enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik kavramlarını da göz önüne getirmektedir. Türkiye'de akıllı şebekeler yaygınlaştırılması açısından geçiş süreci içerisindedir. Konvansiyonel sistemler kullanılırken enerji Yukarı-Aşağı prensibiyle kontrol edilmekteydi. Ancak günümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının sisteme dahil olması ile şebekedeki değişimlerin günümüzde büyük önem arz etmiştir. Mevcut dağıtım şirketleri bilişim sistemleri ile enerji piyasalarındaki değişikliklere ayak uydurmak zorundadır.

5.3.3.1.Heterojen Bilişim Teknolojileri Sistem Yapısı

Heterojen bilişim teknolojilerine baktığımızda işletmeler arasında bazı farklar olsada genelde altyapıları aynıdır. Görsel 5.3'de görüldüğü üzere sistem yapısı en başta bir SCADA sistemi ile başlamaktadır. Bu SCADA veri analiz yöntemi Coğrafi Bilgi Sistemleri, ERP, Otomatik sayaç okuma sistemleri ve iş gücü yönetimi ile desteklenmektedir.



Görsel 5.3. *Heterojen Bilişim Teknolojileri Sistem Yapısı*

Enerji dağıtım firmaları dağıtık üretim yapan üreticilerin elektriğini şebekelerine almak zorundadırlar. Bu üreticiler kontrol edilemezler. Buna rağmen verileri ve özelliklerinin kaydedilmesi ve planlanması gerekir. Planlama konusu özellikle dağıtık enerji yönetim sistemleri (DEMS Decentral Energy Management System) için önemlidir. Ayrıca, rüzgâr veya fotovoltaik sistemler gibi dağıtık yenilenebilir enerji üreticilerinin artması iletişim süreçlerinde tamamen yeni verilerin kullanılmasına yol açmıştır. Bu da, Bilişim teknolojileri altyapısı ile hizmet verilen sistemler arasındaki veri formatlarının ve bağlantılarının daha da artmasına yol açar (Dönmez, Akıllı Şebekeler ve Entegrasyon).

5.3.3.2.Bilişim Teknolojileri Sistemleri

Bilişim sistemlerinin entegrasyonun için öncelikle süreçlerin optimizasyonu yapılmalıdır. Bilişim Teknolojileri sistemlerinde, genel olarak enerji dağıtım şirketlerinin kullandığı sistemler:

- *SCADA-Supervisory Control and Data Acquisition(Uzaktan Kontrol ve Gözleme Sistemi)*
- *ERP-Enterprise Ressource Planning (Kurumsal Kaynak Planlama)*
- *GIS-Geographic Information System (CBS-Coğrafi Bilgi Sistemi)*
- *CRM-Customer Relationship Management (Müşteri İlişkileri Yönetimi*
- *WFM-Workforce Management System (İşgücü Yönetim Sistemi)*
- *EDM-Energy Data Management (Enerji Veri Yönetimi)*
- *ECM-Enterprise Content Management (Kurumsal İçerik Yönetimi)*
- *A&B-Accounting & Billing (Muhasebe ve Faturalama)*
- *BDW-Business Data Warehouse (İş Veri Ambarı)*

Tüm enerji dağıtım şirketlerinde SCADA, ERP ve GIS sistemleri kullanılmaktadır. Burada enerji dağıtımından kastımız sadece elektrik değildir ve bunun yanında doğal gaz, su ve merkezi ısıtmayı da unutmamak gerekmektedir. Sektördeki firmalar genel olarak ERP ve GIS sistemlerini bakım, şebeke yönetimi ve teknik planlama için kullanmaktadır.

- *SCADA:* orta gerilim seviyesinin enerji durumunu gösterir. Telemetri veya kablolu haberleşme ağı ile bağlı olan şebeke elemanları (şalt tesisi/trafo istasyonu) izlenebilir ve sistem içerisindeki cihazın göre uzaktan kontrol dilebilir.

- *Coğrafi Bilgi Sistemi-CBS (Geographic Information System- GIS):* yeryüzü ile ilgili bilgileri belirli bir amaca yönelik olarak toplama, bilgisayar ortamında depolama, güncelleştirme, kontrol etme, analiz etme ve görüntüleme gibi işlemlerin yapıldığı sistemlerdir.

- *Kurumsal Kaynak Planlama Sistemi (Enterprise Resource Planning-ERP):* ERP sistemi, malzeme tipi, kesiti gibi tüm şebeke nesnelerinin ticari ya da benzer diğer bilgileri içerir Aynı zamanda arıza raporlama için de kullanılabilir.

- *Kesinti Yönetim Sistemi (Outage Management System - OMS):* kesintileri daha bilinçli ve verimli bir şekilde tahmin etmemize ve yanıtlamamıza yardımcı olmak için kullanılan sistemdir.

- *Kurumsal Hizmet Yolu (Enterprise Service Bus-ESB):* ESB süreçler ve sistemler arasındaki mesajları işler ve iletir. ESB ile birlikte kurumlar mevcutta var olan uygulamalar ile aradaki entegrasyon yapılarını yeniden şekillendirme işlemleri yapılabilir.

5.3.3.3.Teknik Açıdan Entegrasyon

Teknik açıdan entegrasyon konusunu incelediğimizde ilk olarak odaklanılması gereken konu akıllı şebeke mimarisinin katmalı olmasıdır. İlk olarak otomasyon ve enerji tedariki için:

- İletişim katmanı
- Fiziksel altyapı katmanı
- Altyapı katmanı
- Sanal dünya ve
- Gerçek kişi yani hizmet kullanıcısına odaklanmak gerekir.

Bunların içinde en önemli katman olan fiziksel altyapı katmanıdır, kontrol ve otomasyon içeriğine sahiptir. İletişim tabakası ise iletişim araçlarını içerir ve sonuç olarak fiziksel katmana geldiğimizde haberleşme protokolleri ile bileşenlerin kontrolü sağlanmış olur. Hizmet tabakası ise; yazılımsal ihtiyaçlardan oluşur ve akıllı şebekeler farklı yazılımlar kullanılarak kontrolleri sağlanabilir. Bu tabaklar alt birimlere ayrılabilirler.

5.3.3.4.Entegrasyon Katmanları

Entegrasyon katmanlarına baktığımızda temelde 4 ana başlıkta inceleyebiliriz. Görsel 5.4'de özetle 4 temel entegrasyon yöntemi verilmiştir. Bunlar veri, fonksiyonel, süreç ve GUI entegrasyonu olarak adlandırılmaktadır.



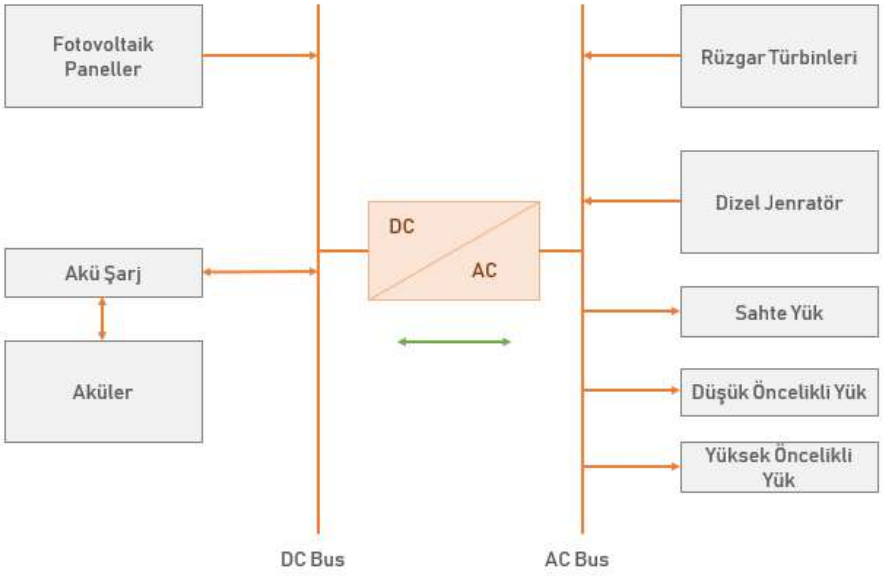
Görsel 5.4. *Entegrasyon katmanları*

Entegrasyonda en büyük hedeflerden biri, iş süreçlerinin mümkün kıldığı sınırlar boyunca otomasyon ve optimizasyonun sağlanmasıdır. Bu entegrasyon hedeflerinin gerçekleşebilmesi için birçok teknoloji ile destek verilir. Teoride bu teknolojilerin kuvvetli yönleri ile zayıf kısımları arasında entegrasyon probleminin çözümü için uygun olup olmadıkları sorgulanır. Sonuç olarak uygun olan entegrasyon yöntemi ortaya çıkartılır.

5.4.Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Optimum Boyutlandırılması İçin Akıllı Şebeke Uygulaması

Tüm sistemin izlenebilirliğini sağlama, kendi kendine karar alabilme ve anahtarlama yapabilme akıllı şebekelerin alt yapısını oluşturmaktadır. Akıllı şebekelerin genel özelliklerini özetlemek gerekirse;

- Şalt merkezlerini kontrol etme
- Enerji sürekliliğini sağlama ve enerji kesintilerine müdahale etme
- Arıza sonrası sistemi kolayca devreye alma
- Enerji üretim sistemleri ile akıllı uyum sağlama



Şekil 5.32. *Önerilen hibrit PV / rüzgar / dizel / pil enerji sisteminin şematik diyagramı.*

Bu bölümde, Şekil 5.32'de olduğu gibi, yük yüksek ve düşük öncelikli olarak düşünülerek akıllı şebeke entegrasyonu yapılmıştır. Yüksek öncelikli yük (YOY), istendiği zaman fotovoltaik/ rüzgar/akü/dizel jeneratörden beslenebilmelidir. Ancak, düşük öncelikli yük (DOY) yalnızca fotovoltaik/rüzgardan kaynaklanan üretimin yüksek öncelikli yükten daha büyük olması ve akünün tamamen şarj edilmesi durumunda sağlanabilir, aksi takdirde düşük öncelikli yük bir sonraki saate kaydırılacaktır.

$P_{Rüzgar}(t) > P_{YOY}(t)$ ve SOC < $E_{A,maks}$ olduğunda denklem 5.39 kullanılarak akünün şarj gücü elde edilir;

- $$P_{Akü,Şarj}(t) = \left[\left(P_{Rüzgar}(t) - P_{YOY}(t)\right)\eta_{İnvertör} + P_{FV}(t)\right]\eta_{Akü,Şarj} \quad (5.39)$$

$P_{Rüzgar}(t) < P_{YOY}(t)$ ve $\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnvertör}\right) > P_{YOY}(t)$ ve SOC < $E_{A,maks}$ olduğunda denklem 5.40 kullanılarak akünün şart gücü elde edilir;

- $$P_{Akü,Şarj}(t) = \left[\left((P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnvertör}) - P_{YOY}(t)\right)\right]\eta_{Akü,Şarj} \quad (5.40)$$

Tüm akü şarj modu durumlarında karşılanmamış düşük öncelikli yük, P_{DOY_top}, SOC'un birikmiş değerleri denklem 5.41 kullanılarak elde edilir:

- $$P_{DOY_top} = P_{DOY_top} + P_{DOY}(t) \quad (5.41)$$

Düşük öncelikli yükü beslemek için ise aşağıdaki denklemler kullanılır:

$P_{Rüzgar}(t) > P_{YOY}(t)$ ve SOC > $E_{A,maks}$ koşulları oluştuğunda denklem 5.42 kullanılarak düşük öncelikli yüke sağlanan güç bulunmuş (P_{DOYSG}) olur:

- $P_{DOYSG}(t) = \left[\left(P_{Rüzgar}(t) - P_{YOY}(t)\right) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right]$ (5.42)

$P_{Rüzgar}(t) < P_{YOY}(t)$, $\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right) > P_{YOY}(t)$ ve SOC > $E_{A,maks}$ koşulları oluştuğunda denklem 5.43 kullanılarak düşük öncelikli yüke sağlanan güç bulunmuş (P_{DOYSG}) olur:

- $P_{DOYSG}(t) = \left[\left(\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right) - P_{YOY}(t)\right)\right]$ (5.43)

Denklem 5.42 ve 5.43'deki durumlarda, akünün karşılanmamış düşük öncelikli yükü ve SOC birikimi denklem 5.44 ile elde edilebilir:

- $P_{DOY_top} = P_{DOY_top} + P_{DOY}(t) - P_{DOYSG}(t)$ (5.44)

Eğer $P_{DOYSG}(t) \geq P_{DOY_top}$ ise yapay yük elde edilir:

- $P_{YapayYük} = \left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right) - \left(P_{YOY}(t) + P_{DOY_top}\right)$ (5.45)

Yüksek öncelikli yük için gereken güç yenilenebilir kaynaklar tarafından üretilen güçten daha büyükse, aküler, yüksek öncelikli yük talebini minimum seviyesine, $E_{A,min}$ seviyesine düşene kadar sağlamak için kullanılacaktır, karşılanmamış düşük öncelikli yük fazla üretim süresine kaydırılacaktır.

$\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right) < P_{YOY}(t)$ ve $SOC > E_{A,min}$ olduğunda denklem 5.46 elde edilir:

- $P_{Akü,deşarj}(t) = \left[\left(P_{YOY}(t) - P_{PV}(t)\eta_{İnventör} - P_{Rüzgar}(t)\right)\right] / \left(\eta_{İnventör}\eta_{Akü,deşarj}\right)$ (5.46)

Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri tarafından üretilen ve aküden sağlanan gücün yüksek öncelikli yükü beslemek için yeterli olmaması durumunda, yüksek öncelikli yükteki eksik güç, gerekli yüksek öncelikli yük talebini karşılamak için dizel jeneratör kullanılarak telafi edilecektir.

$\left(P_{Rüzgar}(t) + P_{FV}(t)\eta_{İnventör}\right) < P_{YOY}(t)$ ve $SOC \leq E_{A,min}$ koşulları oluştuğunda denklem 5.47 kullanılır:

- $P_{Dizel}(t) = \left[\left(P_{YOY}(t) - P_{FV}(t)\eta_{\text{İnventör}} - P_{\text{Rüzgar}}(t)\right)\right]$ (5.47)

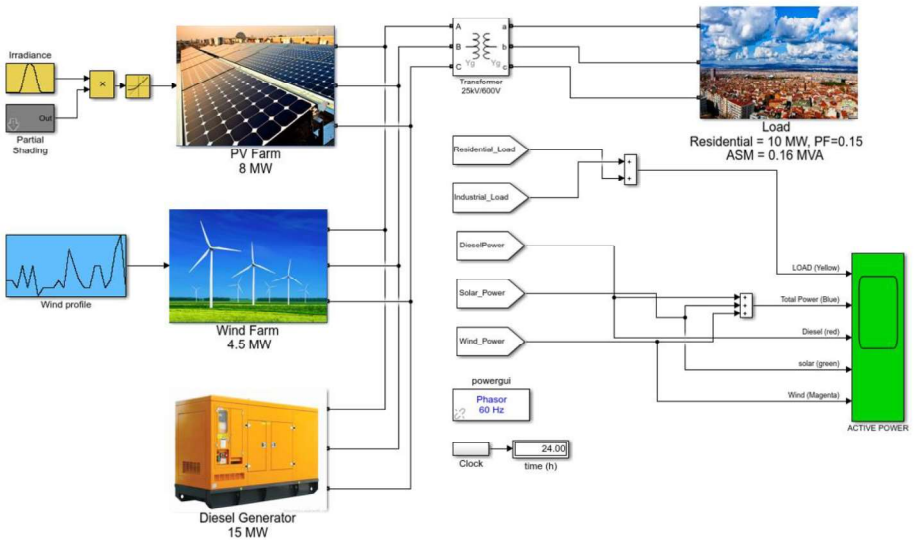
Yenilenebilir enerji, dizel jeneratör ve akü deşarjından kaynaklanan üretimin yüksek öncelikli yükü beslemek için yeterli olmaması durumunda, yük acil ihtiyacını karşılamayacak ve sistem güvenilirliğini kaybedecektir. Bu durumda, bu durum ortaya çıktığında yük kaybı olasık (YTO) sayacı artacaktır.

$P_{Dizel}(t) + P_{FV}(t)\eta_{\text{İnventör}} + P_{\text{Rüzgar}}(t) + P_{\text{Akü,deşarj}}(t) < P_{YOY}(t)$ koşulu sağlandığında denklem 5.48 elde edilir:

- $YKO_{YOY}=YKO_{YOY}(t)+1$ (5.48)

Akıllı şebekelerin alt başlığı olarak görebileceğimiz mikro şebekeler, yenilenebilir enerji kaynaklarının ana şebekeye entegrasyonunda problemleri ortadan kaldırma konusunda bizlere büyük avantajlar sağlar. Mikro şebekleri bu başlık altında tekrar tanımladığımızda, birden fazla müşteriyi, enerji üretim jeneratörlerini ve enerji depolama sistemlerinin birbirine bağladığını söyleyebiliriz. Aslında bu sistemler küçük ölçekli elektrik enerjisi üretim ve dağıtım sistemleridir. Bu sistemleri irdelediğimizde elektrik enerjisi üretiminin yanında termal enerjininde (ısıtma-soğutma) kullanımı mümkündür.

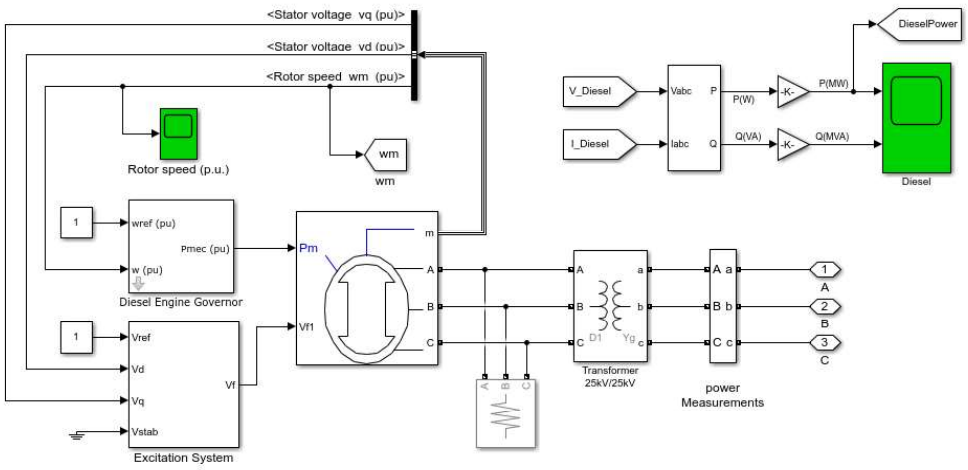
Şekil 5.33'de belirtilen hibrit sistemin içeriği güneş, rüzgar, dizel jeneratörden oluşmaktadır. Bu hibrit sistemin Simulink ile modellenmesi yapılmış olup, sistemdeki üretici ve tüketicilere belli profiller tanımlanmıştır.



Şekil 5.33. *Örnek bir hibrit sisteminin MATLAB Simulink ile modellenmiş hali*

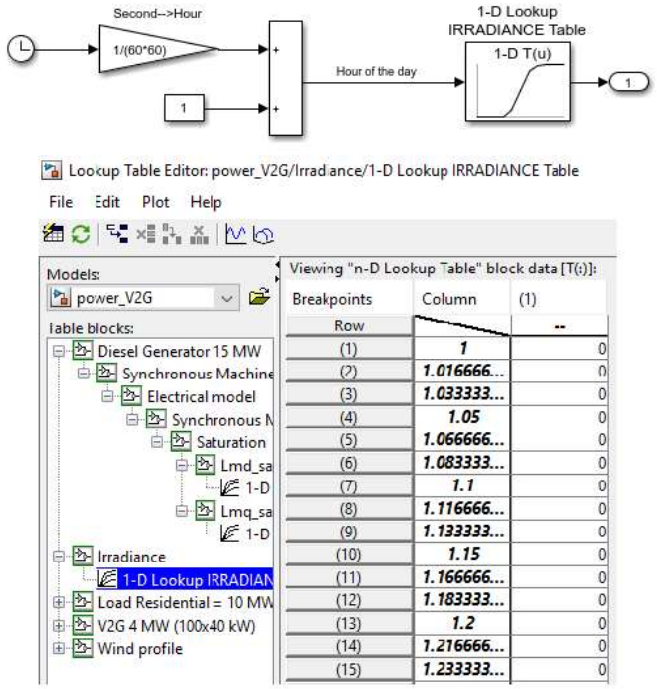
Örneğin güneş için ışınım profilleri belli bir bölgeye göre işlenmiştir. Sistem özetle üretici olarak güneş, rüzgar ve dizel jeneratörü kullanmıştır. Tüketici kısmı ise, endüstri, kamu olarak belirlenmiştir. Rüzgar ve güneş enerjisinin verimliliği ortam koşullarından etkilenmesi sebebiyle dizel jeneratör enerjinin sürekliliği adına sisteme dahil edilmiştir. Ancak dizel jeneratörün çalışma prensibi sebebiyle rüzgar ve güneşin doğaya olan etkisinden kat kat fazla doğaya zararlı bileşenleri salması göz ardı edilemez. Bu sebeple dizel jeneratör güneş ve rüzgar enerjisinin verimsizleştiği zamanlarda enerji arz güvenliğini sağlamak amacıyla devreye girip, çıkacaktır. Sistemde kullanılan dizel jeneratörün kurulu gücü 15MW olarak belirlenmiştir. Kurulan güneş panelleri ve rüzgar türbinleri ise sırayla 8MW ve 4.5MW kurulu güce sahiptir. Tüketicilerin durumu da akıllı bir ağ yapısı ile takip edilerek kaynakların kullanımının simulasyonu yapılmıştır. Modellemeye simulasyon için bir adet prob eklenerek izlenebilirlik sağlanmıştır. Prob üzerinden şehir yükü, endüstriyel yük, dizel jeneratörün yükü, solar yük ve rüzgar yükü takip edilebilmektedir.

Şekil 5.34'da ise dizel jeneratörün modellemesi yapılmıştır. Bir adet prob kullanılarak sistemin P(MW) ve Q(VA) değerleri gözlemlenmiştir.



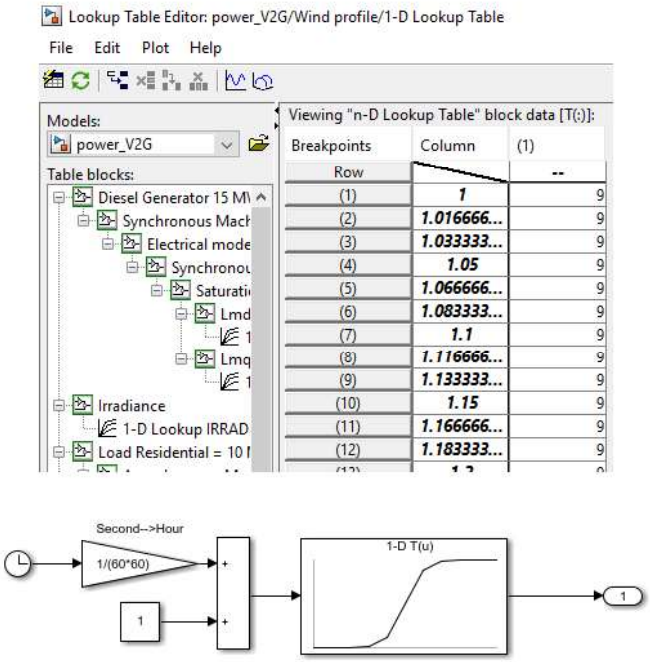
Şekil 5.34. *Örnek bir hibrit sistemin parçası olan dizel jeneratörün Simulink ile modellenmesi*

Şekil 5.35'de Matlab'a, simülasyonu yapılacak pilot bölge için solar radyasyon değerlerinin girildiği tablo ve blok diyagram gözlemlenmektedir.



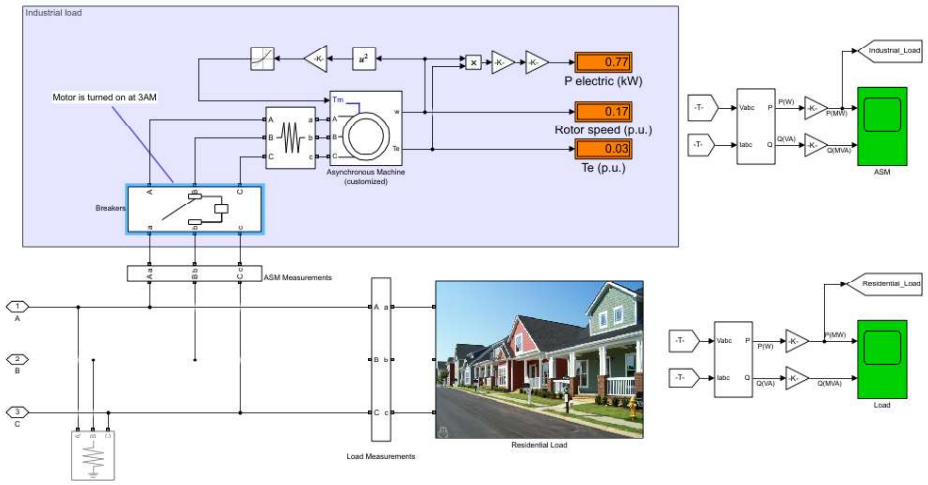
Şekil 5.35. *Örnek bir hibrit sistemde Güneş enerjisi için Irradiance değerlerinin MATLAB Simulink Lookup tablosuna işlenmesi*

Şekil 5.36'da ise simulasyonu yapılacak pilot bölgenin rüzgar profilinin girildiği tablo gözlemlenmektedir. Yapılacak test günlük olarak düşünülmüştür.



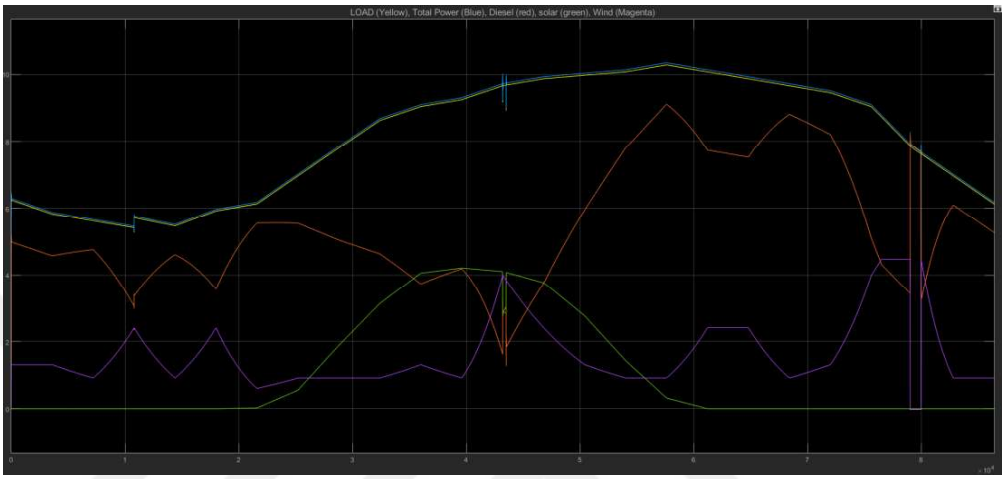
Şekil 5.36. *Örnek bir hibrit sistemde Rüzgar enerjisi için rüzgar profil değerlerinin MATLAB Simulink Lookup tablosuna işlenmesi*

Şekil 5.37'de ise tüketici tarafının modellemesi yapılmıştır. İki adet prob kullanılarak şehir yükü ve endüstriyel yükün izlenilebilirliği sağlanmıştır.



Şekil 5.37.*Örnek bir hibrit sistemde yük tarafının Simulink kullanılarak modellenmesi*

Tüketici tarafı enerji arzı simülasyonu için Şekil 5.38 incelendiğinde düzensiz bir yük dağılımı için sistemin tepkisi izlenilmiştir. Simülasyonda endüstriyel ve şehir yükü toplu olarak gösterilmiştir. Üretici tarafında bulunan yüklerin ise bu ihtiyacı karşılayacak şekilde simülasyonu yapılmıştır.



Şekil 5.38. *Örnek bir hibrit sistemin simülasyonu*

Grafik incelendiğinde solar enerjinin günün belli saatlerinde aktif olduğu ve rüzgar enerjisinin ortam koşullarına göre değişken yapısı gözükmektedir. Burada rüzgar profilinin etkilenmesi, akıllı şebeklere entegrasyonunda belirttiğimiz dış kaynak ihtiyacı ile karşılanmaktadır.

5.5.Yenilenebilir Enerji Sistemlerinde Şebeke Entegrasyon Teknikleri

Üretim ölçeğine bağlı olarak, yenilenebilir enerji sistemleri iletim veya dağıtım şebekelerine entegre edilebilir. Yenilenebilir enerji üretiminin büyük ölçekli bir parçası olan rüzgar santralleri doğrudan iletim sistemine, küçük ölçekli dağıtılmış üretim ise genellikle orta veya düşük gerilim sistemlerine bağlanabilir. Her iki ara bağlantı türü için sistemi tasarlamadan önce, içindeki farklı zorluklarla yüzleşmemek için ayrıntılı bir analiz yapılmalıdır.

Küçük hidro, PV solar, biyogaz, biyokütle ve küçük rüzgar türbini bazlı elektrik üretimi için çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarını kullanan sistemlerin, kaynakların dağılmasından dolayı genellikle küçük ölçekte gerçekleşmektedir ve üretim birkaç yüz kilowatt arasında değişmektedir. Dağıtılmış üretim veya dağıtılmış kaynaklar, bu küçük ölçekli elektrik üretim sistemleri için, genel olarak şebekeye birincil veya ikincil dağıtım düzeyinde bağlı oldukları anlaşılmaktadır. Dağıtılmış kaynaklar arasında hem

yenilenebilir hem de yenilenemez küçük ölçekli üretim ve enerji depolama sistemleri bulunmaktadır.

Küçük yenilenebilir üretim sistemleri ile üretilen enerji doğrudan şebekeye bağlanamaz. Üretim ve dağıtım şebekesi arasında bir çeşit ara yüz gereklidir. Örneğin, güç elektroniği tabanlı DC-AC dönüştürücü, şebeke ile Fotovoltaik paneller arasında olması gereklidir.

AC şebekesine doğrudan bağlantı, indüksiyon jeneratörü bazlı küçük hidro veya rüzgar yoluyla mümkün olsa da, geçici akımların başlatılması, enerji dönüşüm verimliliği ve güç kalitesi ile ilgili endişeleri önlemek için bir güç elektroniği dönüştürücüsü kullanılması gerekmektedir. Yaygın enerji üretimi türleri ve bunların tercih edilen ara yüz teknolojileri, aşağıda Tablo 5.6'da özetlenmiştir.

Tablo 5.6. *Yaygın enerji üretimi türleri ve bunların tercih edilen ara yüz teknolojileri*

Tip	***Bağlantı Teknolojisi***
Fuel Oil	*Güç Dönüştürücüsü*
Rüzgar	*İndüksiyon Jeneratörü/Güç Dönüştürücüsü*
Fotovoltaik	*Güç Dönüştürücüsü*

Senkron jeneratörlere bağlı olan hidro, buhar türbinleri veya jeotermal enerji ile çalışan santraller gibi geleneksel büyük ölçekli yenilenebilir enerji üretim sistemleri geleneksel teknolojileri kullanır. Ancak büyük ölçekli rüzgar çiftliği entegrasyonu, temel olarak jeneratörlerin değişken hızları ve rüzgârın düzensiz doğası nedeniyle farklı farklı zorluklar ile karşılaşmamızı sağlar.

Mevcut rüzgar enerjisi üretimindeki artış, 100 MW kapasiteden daha büyük olan büyük rüzgar santrallerinin gelişmesine neden olmuş ve genellikle bu santraller iletim şebekesine bağlanmıştır. Rüzgar hızı tahmin teknolojisinde birçok gelişme olmasına rağmen, rüzgar hızının doğru tahmin edilmesi hala zordur. Rüzgar formlarının geniş coğrafi alan dağılımında bazı ılımlılık etkisi olsa da, tüm rüzgar çiftliklerinden eşzamanlı düşük enerji üretme şansı tamamen ihmal edilemez. Yüksek gerilim iletim ağındaki kısa devre, kısa süreli gerilim düşmesine neden olur ve bu da birkaç bin megawatt rüzgar üretiminin şebekeden ayrılmasına ve güç sisteminde ciddi stabilite sorunlarına yol açar.

Türkiye'de rüzgar enerjisinin, iletim hatlarına entegrasyonunda artış gözlemlenmektedir. Bu rüzgar enerjisi entegrasyonlu hatların esnek yapısı sebebiyle

farklı noktalardan sisteme dahil edilme özelliği oldukça önemli bir özelliktir. Frekans ve gerilim kararlılığı bu entegrasyonlarda en çok üzerinde durulan konulardır. Dağıtım şebekeleri ise biraz farklılık göstermektedir. Dağıtım şebekelerine yenilenebilir enerji kaynakları entegrasyonu yapıldığında bazı özelliklerin bu yapıya uygun bir şekilde değişmesi gerekmektedir. Güç ve gerilim dalgalanmaları bu değişimler sonucunda problem oluşturabilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları şebekeye dahil edildiğinde karşılaşacağımız ilk problem dağıtım baralarında meydana gelebilecek gerilim dalgalanmalarıdır. Türkiye açısından incelediğimizde gerilim kontrolü TEİAŞ tarafından trafo merkezlerinde, sekonder gerilimin, kademe değiştiriciler tarafından yapılıyor olması gerilim yükselmeleri açısından problem teşkil etmektedir. Şimdi bu trafo merkezini incelediğimizde orta gerilim barasındaki gerilim değeri, son noktadaki fiderde oluşan gerilim düşümüne göre kontrol edilmekte ve ayarlanmaktadır. Güçlü bir üretim entegrasyonunda, trafo merkezinde gerilim istenilen değerde tutulması için iletilen güç miktarına bağlı olarak entegrasyonunun yapıldığı noktada gerilim artmasına sebep olmaktadır. Gerilim yükselmesi, yakınlarda bulunan dağıtım baralarının gerilimleri çok değişken olması sebebiyle, problem yaratabilecek gerilimlerin oluşmasına ve gücün kısıtlanmasına sebebiyet verebilecektir. Sonuç olarak dağıtım şebekeleri bağlantı noktalarında oluşabilecek gerilim yükselmesi üretim santrali baralarında daha yüksek olacaktır. İlk sistem tasarlanırken bu gerilim yükselmeleri göz önünde bulundurularak yapılmalıdır.

Elektrik enerjisi üretin sistemlerin entegrasyonunda takip edilmesi gereken diğer konu ise kısa devredir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonunda, kısa devre problemi yapılacak hesaplamalar ile tasarım aşamasında engellenebilir. Sistemin izlenebilirliği arıza sebebiyle oluşabilecek kısa devre katkılarının azaltılmasını sağlayabilir. Kısa devre katkısı değeri, kullanılan teknolojiye, enerji üretim santralinin tipine ve kapasitesinin büyüklüğüne bağlıdır. Örneğin rüzgar türbinlerinde çift beslemeli endüksiyon jeneratörü kullanımında (DFIG), tam ölçekte frekans konverteri kullanan (FC) yapılara göre 4 kat daha fazla kısa devre katkısı oluşmaktadır. Klasik üretim yapısını kullanan hidroelektrik santrallerde ise bu katkı, nominal akımın 6 katını bulabilmektedir. (http://otomasyondergisi.com.tr/arsiv/yazi/75-yenilenebilir-enerji-kaynaklarinin-sebekeye-entegrasyonu/,06.12.2019)

Kısa devre akımlarının yükselmesi sebebiyle bara, fider tasarım değerlerinin aşılmasına ve koruma sistemlerine ait kontrolün zarar görmesine sebebiyet verebilir. Entegrasyonda diğer önemli problemlerden biri ise harmoniklerdir. Bu harmoniklerin önüne geçebilmek için aslında uygun konverter kullanılması gerekmektedir. Güç kalitesi için önemli bir değişken olan "fliker", özetle enerji kırpışması etkisi, üretim santraline yakın yerlerde daha çok hissedilebilir. Fliker etkisinin önüne geçebilmek için üretim santralinin trafo merkezine yakın noktadan bağlanması gerekmektedir. Sonuç olarak daha az fliker oluşumu azalmasının sebebi, güç sistemindeki gerilim değişimlerinin azalmasıdır.

Diğer bahsetmemiz gereken problem ise adalaşma riskidir. Dağıtık üretim tesisleri için adalaşma riski ki bu belli bir tüketim bölgesi ile birlikte meydana gelmektedir, önemli risk teşkil etmektedir. Kısa devre ile bu adalaşma durumu ortaya çıkabilir. Sonuç olarak adalaşan bir yapıda frekans ve gerilim etkili bir şekilde kontrol edilemez ve bu sebepler mekaniksel ve yalıtımsal problemler ile karşı karşıya kalınabilir. Bu karşı karşıya kalınma ihtimali olan riskler, can ve sistem güvenliğini etkileyebilir. Gelecekte akıllı şebekeler uygulamaları başladığında lokal kontrol sistemlerinin geliştirilmesi gerekecektir. Şimdi "Microgrid" kavramı üzerine durmak gerekmektedir. Microgrid açıklama olarak mikro ölçekte şebeke anlamına gelmektedir. Bu yapı gelecekte merkezleşmenin önüne geçecektir ve enerji kalitesinin kontrol edilebilirliği bu yapı sebebiyle artacaktır. Microgrid yapısının oluşturulabilmesi için ayrıca depolama teknolojilerine ihtiyaç duyulacaktır.

6. SONUÇ

Bu çalışmada hibrit yenilenebilir enerji sistemleri ve akıllı şebekeye bağlı yenilenebilir enerji sistemleri hakkında yaklaşımlar ve bilgiler verilmiştir. Yenilenebilir enerji kaynakları insanlığın geleceği olduğundan, hibrit güç sistemleri bu geleceğin önemli temel taşlarından bir tanesidir.

Sürekli güç kaynağı, yenilenebilir enerji kaynaklarının en iyi kullanımı, düşük bakım maliyeti, yüksek verimlilik, daha iyi güç yönetimi, düşük emisyon temel avantajlardır. Karmaşık kontrol süreci, yüksek kurulum maliyeti ve amortisman uzunluğu, batarya ömrü, çok sayıda cihaz hibrit sistemlerin dezavantajlarıdır. Ancak, fosil enerji kaynaklarının dezavantajları ne olursa olsun tükeneceğini göz önünde bulundurarak hibrit yenilenebilir enerji sistemleri kullanmalı ve geliştirmeliyiz. Bu sistemler geliştirildiğinde akıllı şebeke sistemleri daha gelişmiş olacaktır. Akıllı sistemler ile şalt merkezlerini kontrol etmek, enerji sürekliliğini sağlamak ve elektrik kesintilerine cevap vermek, arıza sonrası kolay devreye almak, elektrik üretim sistemlerine akıllıca adapte etmek tüketicilere daha iyi güç kalitesi sağlayacaktır.

Bu tez ile hibrit sistemlerin oluşturulmadan önce modelleme yapılması gerektiğine vurgu yapılarak, oluşturulacak sistemlerin yer uygunluklarının, birbirlerini ikame edilebilirliklerinin bu modelleme esnasında incelenmesi konusu işlenmiştir. Çeşitli profiller incelenerek enerji arzının akıllı şebekler dahil edilerek nasıl karşılanacağı sorusuna cevap aranmıştır. Hibrit sistemleri farklı şekilde modellememiz mümkündür; ancak bu tezde güneş, rüzgar, akü ve dizel jeneratör hibrit sistemi örneklendirilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada belirtilen güç sistemlerinin modellenmeleri yapılmış, daha sonra akıllı şebekeler hakkında bilgi verilerek, entegrasyonu için modellemede elde ettiğimiz güç parametreleri kullanılmıştır. Yapılan simülasyonlar bize yenilenebilir enerji kaynaklarının pilot bölge için hangi yüzdelik ile belli bir sürede kullanılacağını göstermiştir.

Bugün ihtiyaç duyulan akıllı şebekeler, elektrikli araçların şarj istasyonlarında kullanılabilir ve yenilenebilir enerji kaynaklarını şebekeye entegre etmenin kolay bir yolunu sunabilir. Kendi elektriğini üreten, ihtiyaç tarafından kaynaklanan sorunlara hızlı ve güvenilir bir çözüm sağlanması amacından dolayı tercih edilmelidir. Yenilenebilir

enerji kaynaklarının en büyük etkileri; çevre dostudur ve sistem güvenilirliğini ve istikrarını arttırır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının modellenmesi, planlanması ve entegrasyonu alanlarında sorunlarla karşılaşabiliriz. Önemli soru, bu enerji kaynaklarının nasıl modelleneceğidir.

Enerji depolama sistemleri akıllı şebekenin ayrılmaz bir parçasıdır. Enerji depolaması, birçok cihazı, özellikle elektrikli araçların akülerini şarj etmek için önemlidir. Sadece yenilenebilir kaynaklardan tedarik edilen elektrik şebekelerinin kurulması hibrit sistemler geliştirecektir. Son olarak, hükümetlerin yenilenebilir hibrit güç sistemlerine öncelik ve teşvik vermelerini gerekliliğini vurgulanmalıdır.

Çalışma sonucunda, hükümetlerin akıllı şebekeye ve hibrit yenilenebilir enerji uygulamalarına odaklanması gerektiğini söyleyebiliriz. Yeni teknolojileri takip etmeleri, elektrik iletim ve dağıtım altyapısını değiştirmeleri gerekiyor. Fosil yakıtların azalması nedeniyle, yenilenebilir enerji teknolojilerinden enerji arzı güvenliğinin sağlanması gerekmektedir. Bu farkındalık yayılmalı ve tüketici tarafı eğitilmeli ve bu sisteme dahil edilmelidir.

Ekonomik ve güvenilirlik kriterlerine göre temiz bir enerji üretim sistemi elde etmek için, bir optimizasyon prosedürü çok önemlidir. Gelecekteki çalışmalarda, yük varyasyonları bu tez içerisinde belirtilen prosedürler ile dikkate alınacaktır; ayrıca sistemin işleyişinde önemli bir etkiye sahip olacak, sistem kayıpları göz önünde bulundurulacak ve daha sonra bu kontrol kanularının pratik olarak gerçekleştirilmesi için uygulanabilirliği daha iyi hale getirecektir.

KAYNAKÇA

Tutuş, A. (2006) *Türkiye'de Elektrik Enerjisinin Tarihsel Gelişimi Ve Yeni Piyasa Düzeni İçerisinde Hidroelektrik Enerjinin Yeri*, TMMOB Su Politikaları Kongresi, TMMOB Su Politikaları Kongresi Bildiriler Kitabı 1. Cilt, 318-330

Çağlar, M., (2010). YEK, *Dünya ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji Kaynakları*

Sumathi, S., Kumar, L. Ashok and Surekha, P. (2015*), Solar PV and Wind Energy Conversion Systems, An Introduction to Theory, Modeling with MATLAB/SIMULINK, and the Role of Soft Computing Techniques*, eBook ISBN 978-3-319-14941-7

Enerji Verimliliği Destekleri, https://www.enerji.gov.tr/tr-tr/sayfalar/enerji-verimliligi-destekleri (12.12.2019)

Karagöl, E. Tanas ve Kavaz, İ., (2017) *Dünyada Ve Türkiye'de Yenilenebilir Enerji*, Seta | Siyaset, Ekonomi Ve Toplum Araştırmaları Vakfı, Sayı: 197

Enerji İşleri Genel Müdürlüğü, (2018) *Rüzgar Enerjisi* http://www.yegm.gov.tr/yenilenebilir/ruzgar-ruzgar_enerjisi.aspx (12.12.2019)

Hydropower Status Report*,* (2019), *Sector Trends and Insights,* IHA-International Hydropower Association

EGEC Geothermal, (2019), *EGEC Geothermal Market Report*, The Voice of Geothermal in Europe*,* Copyrights: European Geothermal Energy Council 2019

GAZBİR Türkiye Doğal Gaz Dağıtıcıları Birliği Derneği, (2017), *Akıllı Şebekeler*

Uzunoğlu M., Erdinç O., (2013), *Akıllı Şebekelere Giriş* 4. Ve 3.bölümler Eylül-2013, ISBN 978-605-133-619-0

Li, H., Wang L., (2011) *Research on technologies in smart substation*, Energy Procedia 12, 113-119

Akcanca, Muhammet A. Ve Taşkın, S., *Akıllı Şebeke Uygulanabilirliği Açısından Türkiye Elektrik Enerji Sisteminin İncelenmesi,* Celal Bayar Üniversitesi, Manisa

Quadrennial Energy Review, *Transforming The Natıon's Electricity System: The Second Installment Of The QER*, (2017)

Kocaman, B. Ve Efe, Serhat B., (2017), *Yenilenebilir Enerji Kaynaklı Hibrit Sistemin Fiziksel Olarak Gerçeklenmesi ve Analizi*, Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan), Bitlis Eren Üniversitesi, Bitlis

Nazri, G.A. and Pistoia, G., 2009. *Lithium Batteries: Science and Technology*, Springer Science and Business Media, Newyork, pp. 8-11.

Erdinç O., Uzunoğlu M., Vural B. 2011. *Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri*, Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ.

Jens R.Rostrup-Nielsen and Thomas Rostrup-Nielsen, (2002) *Large Scale Hydrogen Production* ,CATTECH, Volume 6, No.4,

Çetinkaya, Hasan B., (2014) ICSG İSTANBUL *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Şebekeye Entegrasyonu*, SIEMENS A.Ş. Altyapı ve Şehirler / Akıllı Şebekeler, pg 72-75

Dönmez, M., (2013) *Akıllı Şebekeler ve Entegrasyon*, Akıllı Şebekeler Ve Türkiye Elektrik Şebekesinin Geleceği Sempozyumu Bildiriler Ve Sunumlar

Mohamed, Mohamed A. and Eltamaly, Ali M., (2018), *Modeling and Simulation of Smart Grid Integration with Hybrid Renewable Energy Systems,* Springer International Publishing, ISSN 2198-4182, Minia University, Mansoura University, Egypt

Singh, O. and Rajut, Saurabh K., (2016), *Mathematical Modelling and Simulation of Solar Photovoltaic Array System*, Gautam Buddha University, Madhav Institute of Technology & Science Gwalior, DOI: 10.1109/RAINS.2016.7764395

Meziane, S., Feddaoui, O., and Toufouti, R., (2013), *Modeling and simulation of hybrid wind-diesel power generation system*, International Journal of Renewable Energy, Vol. 8, No. 2, University Mohamed Cherif Messaadia Souk Ahras, Algeria

Bayraç, H. Naci (2009) *"KÜRESEL ENERJİ POLİTİKALARI VE TÜRKİYE: PETROL VE DOĞAL GAZ KAYNAKLARI AÇISINDAN BİR KARŞILAŞTIRMA".* Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 10 / 1 (Mart 2009): 115-142

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ömer AYDIN

Yabancı Dil : İngilizce, Fransızca

Doğum Yeri ve Yılı : İzmir /1988

E-Posta : aydinomer35@gmail.com

Eğitim ve Mesleki Geçmişi:

- 2012, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği
- 2013, Gazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği
- 2012, Anadolu Üniversitesi, İşletme Fakültesi, İşletme
- 2020, Eskişehir Teknik Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, İleri Teknolojiler A.B.D., Enerji Kaynakları ve Yönetimi
- 2014, İşletme Mühendisi, Türkiye Şişe ve Cam Fabrikaları A.Ş., Teknik Müdürlük
- 2019, Enerji Yöneticisi, Marelli MAKO Turkey Elek. San. Tic. A.Ş., Bakım Yöneticiliği

Yayınları ve/veya Bilimsel/Sanatsal Faaliyetleri:

- Aydın, Ö. ve Demir, Z., (2019). Smart Grid Integrated With Hybrid Renewable Energy Systems. Eskişehir Technical University Journal of Science and Technology A - Applied Sciences and Engineering Cilt (20).

Ödülleri:

- 2012, Üçüncülük, Makine Mühendisleri Odası Gazi Üniversitesi Bölüm Üçüncülüğü Plaketi, Ankara