

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE
BİREYSEL KULLANIM İÇİN HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ
SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Barış BİTEK

HAZİRAN- 2023

T.C.
KIRKLARELİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE
BİREYSEL KULLANIM İÇİN HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ
SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bariş BİTEK

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz GÜVEN

Haziran – 2023

“YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE BİREYSEL KULLANIM İÇİN HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ” adlı tez çalışması adlı tez çalışması **Barış BİTEK** tarafından hazırlanmış olup aşağıdaki jüri tarafından **OY BİRLİĞİ** ile Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans Tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı:

Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz GÜVEN
Kırklareli Üniversitesi

.....

Jüri Üyeleri:

Doç. Dr. Murat Tuna
Kırklareli Üniversitesi

.....

Dr. Öğr. Üyesi Sıtkı Kocaoğlu
Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

.....

Tez Savunma Tarihi: 13/06/2023

Doç. Dr. H. Hale KARAYER
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ETİK BEYAN

Kırkırelı Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez ve Proje Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum bilgileri, verileri ve dokümanları, değişik sonuç verebilecek şekilde araştırma araç gereçleri kullanmadan, işlem veya kayıt sonuçlarını değiştirmeden akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Barış BİTEK
13/06/2023

ÖZET

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE BİREYSEL KULLANIM İÇİN HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİNİN ANALİZİ

Barış BİTEK

Yüksek Lisans Tezi

Kırklareli Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz GÜVEN

Haziran 2023, 107 sayfa

Bu çalışmada, müstakil bir ev için güneş ve rüzgâr hibrit bir güç sisteminin analizi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ülkemizdeki enerji çeşitliliği ve yenilenebilir enerji kullanımı ile ilgili olarak genel bilgi verilerek, 3 farklı durum senaryosu için hibrit sistemin Kırklareli örneği üzerinden analizi gerçekleştirilmiştir. Sistem bileşenleri ve parametreleri hakkında bilgi verilerek, özellikle sistemin yeterliliği ve konum özelliklerine göre optimizasyonu üzerinde durulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Hibrit Sistemler, Güneş Enerjisi, Rüzgâr Enerjisi, Simülasyon

ABSTRACT

RENEWABLE ENERGY AND ANALYSIS OF HYBRID RENEWABLE ENERGY SYSTEMS FOR INDIVIDUAL USE

Barış BİTEK

MSc Thesis

Kirklareli University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Supervisor: Asst. Prof. Yılmaz GÜVEN

June 2023, 107 pages

In this study, analysis and simulation of a solar and wind hybrid power system for a detached house is carried out. By giving general information about the energy diversity and renewable energy use in our country, the analysis of the hybrid system for 3 different scenarios was carried out on the example of Kirklareli. By giving information about the system components and parameters, the optimization of the system according to the adequacy and location characteristics of the system is emphasized.

Keywords: Hybrid Systems, Solar Energy, Wind Energy, Simulation

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasını hazırladığım sırada desteklerini ve bilgilerini esirgemeyen başta danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yılmaz Güven'e, eşime, aileme ve tüm öğretmenlerime teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	x
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE’NİN DURUMU.....	3
2.1. Enerji	3
2.2. Türkiye’nin Mevcut Enerji Durumu.....	8
2.3. Fosil Yakıt Kaynakları ve Türkiye’nin Rezervleri.....	13
2.3.1. Kömür	13
2.3.2. Enerji Üretiminde Kullanılan Petrol ve Türevleri	17
2.3.3. Enerji Üretiminde Kullanılan Doğalgaz	20
2.4. Nükleer Enerji ve Türkiye’nin Planlanan Nükleer Geleceği.....	22
2.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları.....	25
2.5.1. Rüzgâr Enerjisi	25
2.5.2. Rüzgâr Enerji Santralleri	26
2.5.3. Güneş Enerjisi.....	28
2.5.4. Hidrolik Enerji-Hidroelektrik Enerji	30
2.5.5. Jeotermal Enerji	31
3. TÜRKİYE’ DE ENERJİ KAYNAKLARININ GÖRÜNÜMÜ VE HİBRİT KULLANIMI.....	35
3.1. Enerji Sistemleri	35
3.2. Türkiye’de Enerji.....	36
3.3. Türkiye’de Yenilenebilir Enerji	37
3.3.1. Türkiye’de Biyokütle ve Biyoyakıt	38
3.3.2. Türkiye’de Rüzgar Enerjisi.....	40
3.3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (PV)	41

3.3.4. Türkiye’de Jeotermal Enerji	42
3.3.5. Türkiye’de Hibrit Enerji Sistemleri	43
3.4. Hibrit Enerji Sistemi ve Yöntemleri	44
3.4.1. Hibrit Enerji Sistemi	45
3.4.2. Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri Bileşenleri.....	48
3.5. Rüzgar Enerjisi Dönüşüm Sistemlerini İçeren Hibrit Sistem.....	52
3.6. Hibrit Enerji Sisteminde Depolamanın Rolü.....	53
3.6.1. Hidrojen Bazlı Depolama	53
3.6.2. Pil ve Süper Kapasitör Tabanlı Depolama.....	54
3.7. Hibrit Enerji Sisteminin Kontrolü	54
3.7.1. Bağımsız Sistemde Kontrol	55
3.7.2. Şebekeye Bağlı Sistemde Kontrol	55
3.8. Güç Yönetimi Kontrolü.....	55
4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE BİREYSEL KULLANIM İÇİN HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA.....	57
4.1. Tanım.....	57
4.2. Literatür	57
4.3. Simülasyonda Kullanılan Hesaplamalar.....	64
4.3.1. Güneş Paneli Kullanılan Hesaplamalar	64
4.3.2. Rüzgâr Türbini Kullanılan Hesaplamalar	66
4.4. Simülasyon	67
4.4.1. Maksimum Güç Kontrolü	67
4.4.2. DC-DC Çevirici	69
4.4.3. PLL & Ölçüm	70
4.4.4. Rüzgar Türbini Matlab Simülasyon Uygulaması	71
4.4.5. Hibrit Sistem Matlab/Simulink Uygulaması.....	74
4.4.6. DC-AC Dönüştürücü	75
4.4.7. Transformatör	76
4.4.8. Güç Kalitesi	77
4.5. Simülasyon Parametreleri.....	78
4.6. Birinci Senaryo	85
4.7. İkinci ve Üçüncü Senaryolar	90
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	95
KAYNAKLAR.....	97
ÖZGEÇMİŞ.....	107

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge 4.1. Sistem parametreleri.....	80
Çizelge 4.2. Örnek tüketim tablosu	84
Çizelge 4.3. Simülasyon Senaryoları.....	85



ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil 4.1. Güneş enerjisi güç simulink modeli	65
Şekil 4.2. Güneş enerjisi sistemi simulink modeli.....	66
Şekil 4.3. MPPT kontrol algoritması	68
Şekil 4.4. MPPT kontrol pulse jeneratör	68
Şekil 4.5. MPPT kontrol subsystem	68
Şekil 4.6. DC -DC yükseltici konvertör kullanılarak oluşturulan PV sistem simulink modeli.....	70
Şekil 4.7. PLL dönüştürücü simulink modeli.....	71
Şekil 4.8. Rüzgâr türbin blok şeması.....	72
Şekil 4.9. Rüzgâr türbini güç sistemi.....	73
Şekil 4.10. 3 fazlı jeneratör simulink modeli.....	73
Şekil 4.11. Jeneratör ölçülen güç değeri tablosu	74
Şekil 4.12. Hibrit sistem matlab/simulink blok şeması	74
Şekil 4.13. DC/AC dönüştürücü simulink blokları	75
Şekil 4.14. AC dönüştürücü sinusoidal simulink grafiği.....	75
Şekil 4.15. Transformatörün simulink blok şeması.....	76
Şekil 4.16. Transformatör giriş genliği simulink grafiği	77
Şekil 4.17. Transformatör çıkış genliği simulink grafiği	77
Şekil 4.18. Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı ve hakim yönü dağılımı.....	78
Şekil 4.19. Türkiye yıllık toplam global güneş radyasyonu dağılımı.....	79
Şekil 4.20. Kırklareli bölgesi ortalama rüzgar hızı.....	79
Şekil 4.21. Kırklareli bölgesi günlük ortalama kısa dalga güneş enerjisi.....	80
Şekil 4.22. Güneş panelleri karakteristiği.....	81
Şekil 4.23. VSC kontrol grafiği	81
Şekil 4.24. Güneş panelleri çıkış değerleri	82
Şekil 4.25. Güneş enerjisi üretiminin bir yıllık değişimi.....	82
Şekil 4.26. Rüzgar enerjisi üretiminin bir yıllık değişimi	83
Şekil 4.27. Güneş ve Rüzgar hibrit enerjisi üretiminin bir yıllık değişimi.....	84
Şekil 4.28. Birinci senaryoda üretilen güç miktarı	86
Şekil 4.29. Jeneratör destekli sistem.....	87
Şekil 4.30. Jeneratör simulink modeli	87

Şekil 4.31. Bulanık mantık kontrol blok şeması.....	88
Şekil 4.32. Bulanık mantık kural kümesi	88
Şekil 4.33. Bulanık mantık jeneratör kontrolü	89
Şekil 4.34. Aylara göre tüketilen enerjinin karşılanma oranları.....	89
Şekil 4.35. Bulanık mantık batarya kontrol blok şeması	90
Şekil 4.36. Batarya kontrol kural kümesi	90
Şekil 4.37. Bulanık mantık batarya kontrolü.....	91
Şekil 4.38. İkinci senaryoda hibrit sistem tarafından üretilen gücün aylık değişimi.....	91
Şekil 4.39. Üçüncü senaryoda hibrit sistem tarafından üretilen gücün aylık değişimi ..	92
Şekil 4.40. Farklı senaryolarda üretilen gücün aylık değişiminin karşılaştırılması.....	93



SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklamalar

K_m	Michaelis-Menten sabiti
V_{mak}	Maksimum hız
$v \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Gerilme titreşimi
μL	Mikrolitre

Kısaltmalar

Açıklamalar

AC	Alternatif Akım
BAT	Pil
BTU	British Thermal Unit
CC	Şarj Döngüsü
DC	Doğru Akım
EL	Elektrolizör
FC	Yakıt Hücresi
FV	Fotovoltaik Panel
GEN	Jeneratör
HOMER	Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources
HT	Hidrojen Depolama Tankı
JEN	Dizel Jeneratör
PV	Fotovoltaik
RT	Rüzgâr Türbini

1. GİRİŞ

Endüstriyel devrimlerle birlikte hızla gelişen teknoloji, son yüzyılda insanoğluna çok hızlı bir ilerleme dönemi sağlamıştır. Bu dönem doğal kaynakların çok hızlı bir şekilde tüketildiği, seri üretim teknolojileri sayesinde tüketimin aşırı arttığı bir dönemdir. Teknolojik ilerlemelerin insan hayatına olumlu etkileri tabi ki tartışılmaz. Ancak kullanılan kaynakların sınırsız olmaması ve çok kısa sürede tüketilen fosil kaynakların, aslında çok uzun zaman içerisinde meydana gelmiş olması sorunun temelini oluşturmaktadır.

Bu yüzden özellikle son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelim artmıştır. Yenilenebilir ve sürdürülebilir kaynakların kullanımı teşvik edilmiş ve bu alana yönelik yeni teknolojiler geliştirilmiştir. Güneş ve Rüzgâr enerjisinin, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde en çok kullanılan enerji türlerinden olması şaşırtıcı değildir. İkisi de hemen hemen her coğrafyada rahatlıkla bulunabilen, doğal döngüye uyumlu, basit yöntemlerle elektrik enerjisine dönüştürülebilen enerji türleridir. Ancak kurulum maliyeti ve verimlilik açısından henüz diğer elektrik enerjisi üretme yöntemlerinden geride oldukları aşikardır.

Özellikle kişisel kullanım için birçok avantaj sunan güneş ve rüzgâr enerjisi sistemleri, hibrit sistemler ile daha verimli ve sürdürülebilir hale gelmiştir. Güneş ve Rüzgârın farklı doğası ve mevsimsel değişimleri, iyi bir hibrit sistem aranan uyumu sağlamaktadır. Şebekenin bulunmadığı yerlerde çok iyi bir çözüm olarak karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca tüm müstakil binalarda, şebeke ile bütünleşmiş biçimde kullanıma da uygundur. Önümüzdeki yıllarda hızla gelişen teknolojilerin bu yönde hızlı bir ilerlemeye fırsat sağlayacağı gelişmiş ülkeler tarafından şimdiden anlaşılmıştır. Birçok ülkede yenilenebilir enerji kullanımı devlet teşviği ile arttırılmaya çalışılmaktadır.

Bu çalışmada, müstakil bir ev için güneş ve rüzgâr hibrit bir güç sisteminin analizi ve simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Ülkemizdeki durum hakkında bilgi verilerek, farklı durum senaryolarında hibrit sistemin Kırklareli örneği üzerinden analizi gerçekleştirilmiştir. Sürekli değişen maliyetlerden dolayı, bir maliyet analizi

yapılmamıştır. Ancak sistemin yeterliliği ve konum özelliklerine göre optimizasyonu üzerinde durulmuştur.



2. ENERJİ KAYNAKLARI VE TÜRKİYE’NİN DURUMU

2.1. Enerji

Enerji sosyal bir özelliğe sahiptir ve iş, güç ve dinamizm oluşturmak için kullanılmaktadır (Talınlı, 2018: 12). Enerji, fizik bilimi terminolojisinde iş yapabilme yeteneğini tanımlamak için kullanılmaktadır. Ekonomide ise, tüm gerekli malzemeler ve önemli miktarda fiziksel enerji dahil olmak üzere doğal kaynaklar ve malları ifade etmektedir. Doğal gaz, kömür, petrol, propan gibi enerji ve bunlardan üretilen elektrik temel malzeme olarak kullanılmaktadır. Bu malzemeler insan hayatında yemek pişirme, hareket gücü, aydınlatma, su ısıtma ve diğer birçok hizmet için kullanılmaktadır. Bunlar aynı zamanda enerji tarafından sağlanan hizmetler olarak da tanımlanmaktadır (Sweeney, ve ark. 1993: 127-134).

James Watt tarafından endüstrinin temelini oluşturan buhar makinesinin keşfi, dünyada sanayi devriminin başlamasına yol açmıştır. Bu olaydan sonra makineleşme, üretim kapsamının değişmesi, hammadde temini ve demiryolu ile uzak yerlere ulaşım önceki dönemlere göre muazzam bir artış göstermiştir. Teknoloji ve gelişme ülkelerin büyümeleri için temel dinamiklerdir. Bu temel dinamiklerin işlemesi ve gelişmesi ise enerji kaynaklarının bolluğuna ve etkili kullanımına bağlıdır (Michaelides, 2012: 43).

Günümüzde insanlığın ve bilgi toplumunun tüm alanları için ihtiyaç duyulan enerjinin önemi giderek artmaktadır. Kaynakların artan enerji ihtiyacını karşılamada yetersiz kalması ve fosil yakıtlar başta olmak üzere klasik yöntemlerle üretilen enerjinin üretimi ve tüketimi doğada geri dönüşü olmayan zararlara neden olması alternatif enerji kaynakları bulma ve geliştirme çabalarına yansımıştır (Tiwari ve Mishra, 2012: 25).

Enerji, tüm ekonomik faaliyetleri yönlendiren vazgeçilmez güçtür. Başka bir deyişle, enerji tüketimi ne kadar fazlaysa, ülkedeki ekonomik faaliyet o kadar fazla olur ve bunun sonucunda daha büyük bir ekonomi ortaya çıkmaktadır (Shehiel Alam, 2006). Enerji evrensel olarak ekonomik büyüme ve insani gelişme için en önemli girdilerden biri olarak kabul edilmiştir. Ekonomik gelişme ile enerji tüketimi arasında güçlü bir çift yönlü ilişki vardır. Bir yandan ekonomik ve çevreci enerji kaynaklarının mevcudiyeti

konusunda küresel rekabet gücü olan bir ekonominin büyümesi, diğer yandan ekonomik gelişme düzeyinin enerji talebine bağlı olduğu gözlemlenmiştir (Tüzün ve ark. 2018).

Enerji, herhangi bir endüstriyel operasyonda birincil girdidir. Enerji, ev ve sanayi sektörlerinde ihtiyaç duyulan geniş hizmet yelpazesinin yanı sıra ticaret, ulaşım ve telekomünikasyon vb. sektörlerde de önemli bir girdidir (Anubha, 2002). Enerji, sadece kimyasal enerjiyi değil, kinetik enerjiyi, mekanik enerjiyi, elektrik enerjisini, ısıma enerjisini ve termal enerjiyi de belirtmek için kullanılmaktadır. Bu altı enerji kaynağı, bir ulusun ekonomik kalkınmasında hayati bir rol oynamaktadır.

Enerji neredeyse tüm varoluşun temelidir ve insan yaşamının tüm yönlerini kapsamaktadır (Rangaswamy, 2002) Ekonomik ve teknolojik gelişmede çok önemli bir faktör olan enerji, her zaman insanın en büyük hedeflerinin ve daha iyi bir dünya hayallerinin anahtarı olmuştur. Enerji temel doğal kaynaktır ve bu nedenle uygun enerji arzının yokluğunda insanın istekleri karşılanamamaktadır. İnsan ırkının tarihi boyunca, medeniyetteki büyük ilerlemeler artan enerji tüketimi ile yakından ilişkili olmuştur. Kişi başına düşen enerji tüketimi ile kişi başına düşen gelir arasında pozitif bir ilişki vardır. Bu nedenle, makul bir maliyetle yeterli enerji arzı, bir ülkenin neredeyse ilerlemesinin kilit faktördür. (Promilakadian, 2003).

Enerji, ekonomik büyümenin ana itici gücüdür ve modern bir ekonomiyi ve toplumu sürdürmek için hayati öneme sahiptir. Gelecekteki ekonomik büyüme, büyük ölçüde uygun fiyatlı, erişilebilir ve güvenli kaynaklardan gelen enerjinin uzun vadeli mevcudiyetine bağlı olacaktır (Venkata, 2000).

Enerji kaynakları açısından petrol ve doğal gaz, fosil enerjinin iki önemli kaynağıdır. Her geçen gün dünya arenasında bu iki kaynağa olan ihtiyaç artmaktadır. Fosil yakıtlar bugün hala dünyadaki toplam enerji kaynaklarının %80'inden fazlasını temsil etmektedir. Ancak yeni teknolojik gelişmelerle birlikte gelecekte yeni enerji kaynaklarına yönelik eğilimin değişeceği düşünülmektedir. Enerji, ülkelerin ekonomisi için de önemli faktör olmaya devam etmektedir. Nüfus, sanayileşme ve küreselleşme gibi faktörlerin etkisiyle enerji kaynaklarına olan talep sürekli artmaktadır. Günümüzde sanayiden ulaşım ve savunma sektörüne kadar tüm alanlarda enerji kullanılmaktadır. (York, 2012: 441-443).

Uluslararası ilişkiler perspektifinden bakıldığında; enerjinin rolü, enerji kaynakları ve hatları, enerji/bölgesel güvenlik, çatışmalar önemli alanlar olmaktadır. Aynı zamanda, enerji ülkeler tarafından kullanılan stratejik bir silahtır. Geçmişten günümüze ve geleceğe iktidar ilişkilerinin incelenmesinde ve ulusal dış politika açısından siyaset, demografi ve ekonomi arasındaki ilişkinin incelenmesinde de enerji politikalarını ve enerji kaynakları önemli rol oynamaktadır. Bu anlamda doğal kaynaklar ve coğrafi faktörler önemli hale gelmektedir. Jeopolitik alanda “Kara Hâkimiyet Teorisi”ni ortaya atan Mackinder bu konuya değinmiş ve enerjinin önemine dikkat çekerek “enerji-politik eksenin çağdaş dünya siyasetini şekillendireceğini ve coğrafi faktörlere sahip doğal kaynaklar ve bu kaynakların elde edilmesi ve dağıtılmasının çok önemli olduğuna” vurgu yapmıştır (Özey, 2017: 12).

Küreselleşmeye bağlı olarak ekonomik büyüme tüm dünyada hızla artmaktadır ve enerji, tüm ülkelerin sosyal ve ekonomik kalkınmasında temel unsur olmaya devam etmektedir. Ekonomik kalkınma ile enerji kaynaklarına sahip olmak arasında doğru bir orantı bulunmaktadır. OPEC ve IEA gibi uluslararası örgütlerin ortaya çıkması, enerjinin tüm devletleri birbirine bağlayan bir ağ olduğu ve bu ağların kesilmesinin dünyanın bazı yerlerinde çatışmalara öncülük edebileceğinin göstergesidir (Abas, Kalair ve Khan, 2015: 31-49)

Günümüz siyasi konjonktüründe; enerjiye sahip olmak için devletler arasında mücadeleler yaşanmaktadır. Enerji kaynaklarına sahip olmak devletlerin ekonomik kalkınması ve zenginliği açısından önemli bir faktördür. Küresel açıdan değerlendirildiğinde enerji piyasaları, özellikle petrol ve gaz segmentlerinde sıklıkla kıtlık ya da artan talep yaşanmaktadır. Bu segmentlerdeki yatırım eksikliği ve Çin, Brezilya, Rusya ve Hindistan gibi ülkelerde artan endüstriyel büyüme hızı ve küresel üretim stratejileri nedeniyle, gelişmekte olan piyasalar petrol ve gazı makul fiyatlarla almakta zorlanabilmektedir. Ayrıca, son yıllarda enerji arzındaki sorunlar karmaşık hale gelmiştir. Enerji arzının olmaması, büyüklüğü ve süresi ile değerlendirilmekte ve piyasaları hatta toplumları işleyişini bozma potansiyeline sahip olabilmektedir. Bu nedenle enerji arz güvenliği, ulusal güvenliğin belirleyicisi olması açısından en kritik politika kararlarından biridir (Bazilian ve Onyeji, 2012: 1-5).

Günümüzde enerji, ülkelerin siyasetini ve diplomasisini önemli ölçüde belirlediği için diplomasi ve ekonominin en önemli unsuru haline gelmiştir. Dünyada enerji açısından

güçlü bir aktör olabilmek için enerji piyasasına ve kaynaklarına doğru ve olumlu müdahalelerde bulunulması gerekmektedir. Ayrıca enerji arz güvenliğinin sağlanması, konut ve sanayi dallarının ucuza sağlanması, elektrik kesintilerinin en aza indirilmesi ve çevre dostu enerji üretim ve tüketim modelini benimseyen politikaların uygulanması önem arz etmektedir (Mercure ve ark. 2018: 588-593).

Enerjiyi ekonomiden ayırmak mümkün değildir. Piyasaya müdahale aracı olan vergi teşvikleri ve sübvansiyonları enerji alanını büyük ölçüde etkilemektedir. Düşük vergi maliyeti politikası ilk bakışta kamu bütçesinde bir gelir kaybı gibi görünse de sektörün teşviklerle desteklenen büyümesi ülkeye makro kazanımlar getirmektedir. Bu doğrultuda teşviklerin doğru planlanması ve düzenlenmesi, kamu kaynaklarının verimli dağılımına ve sektörün gelişmesine katkı sağlayacaktır (Altunakar, 2014: 57).

Enerji piyasalarında ortaya çıkan sorunların temel nedenlerinin arz yönündeki siyasi kararlar, teknik arızalar, aşırı hava koşulları, beklenmeyen yüksek ekonomik büyüme olduğu görülmektedir. OPEC üyelerinin kararları ve jeopolitik stratejilerin petrol fiyatları üzerinde güçlü etkisi vardır. Petrol üreten ülkeler, ülke büyümesini gelecekte sürdürülebilir bir düzeye getirmek için siyasi belirsizlik altında kararlar almaktadır. Bu ülkelerde kişi başına düşen GSYİH'deki artış, petrol fiyatını güçlü bir şekilde yukarı yönde etkileyebilmekte ve üretimde düşüşe yol açabilmektedir. Her geçen gün petrol rezervlerinin azalması da küresel açıdan ilerleyen dönemlerde petrol fiyatlarının yükseleceğini göstermektedir (Altuntaşoğlu, 2011: 56-63).

Doğal gaz piyasası ise daha kırılgan bir yapıya sahip bir piyasadır. Örneğin söz konusu piyasa, hava koşullarındaki değişikliklerle güçlü bir şekilde ilişkilidir. Ayrıca üretici ülkelerin sayısının azlığı pazarın dengesini etkilemektedir. Kömür piyasası ise fiyatın arz maliyetleriyle ilişkili olması nedeniyle nispeten daha rekabetçi bir piyasadır. Rezervler, oldukça tutarlı bir şekilde dağılmıştır ve bu da piyasa risklerini önemli ölçüde azaltmaktadır. Uranyum piyasası ise kaynaklar tükendiği için gelecekte ciddi risklere işaret etmektedir. Gelecekteki olası nükleer katkı maddesi kıtlığı nedeniyle uluslararası ticaret ve enerji güvenliğinin etkilenmesi beklenmektedir (Akbulut, 2008. 98).

Küresel enerji piyasası risklerini sadece petrol ve gaz piyasası riskleri olarak değerlendirmek yanlış olacaktır. Çünkü piyasa arz ve üretim açısından daha çok enerji arz güvenliği tarafından motive edilerek çeşitlenmektedir. Bunlardan biri olan elektrik

Üretim piyasası için temel risk, santrallere yapılan yetersiz yatırımdır. Bir meta olarak elektrik depolanamaz, bu da talebin herhangi bir zamanda üretime eşit olduğu anlamına gelir. Elektrik talebi mevsimsel etkilerden dolayı büyük bir oynaklığına sahiptir. Bu nedenle santrallerin kapasitesi ve dağıtım şebekesi kapasitesi pik talebi karşılayabilecek kapasitede olmasını gerektirir (Sevim, 2012: 4378-4391).

Şebeke iletimi ve bakımı, dikkatle yönetilmesi gereken başka risk kaynaklarındandır. Enerji, doğası gereği hem talep hem de arz yönünde esnek değildir. oklara verilen tepki dikkate alınarak piyasanın dikkatli bir şekilde analiz edilmesi gerekmektedir. Arz tarafı, üretim kapasitesine yapılan yatırımlar nedeniyle bir yıldan on yıla kadar bir süre gerektirmektedir. Enerjinin mesken kullanımı da kısa vadede esnek değildir ve üretim tarafı, uygun maliyetli fırsatlar sağlamak için olası yakıtlar arasında geçiş yapabilmektedir. Bu nedenle planlama, seçenekler arasında geçiş yapmada önemli bir unsur haline gelmektedir (Inshakov ve ark. 2019: 135-148).

Örneğin Avrupa Birliği ve ye devletler, özellikle rüzgâr ve güneş enerjisi için yatırımı kısmen sübvanse etmek için çalışmalar yapmaktadır. Gaz ve elektrik şebekeleri, özellikle depolamanın zorlukları düşünüldüğünde çok önemli bir role sahiptir. İşletme ağları ve yönetim pazarları, genişlemeyi sınırlayan karmaşık bir yapıda hareket etmektedir. Piyasaların tasarımıda farklılıklar ve sınır ötesi enerji ticaretini sınırlayan sistem operatörlerinin koordinasyonunda sorunlar bulunmaktadır (Litvinenko, 2020: 59).

Gelecekte Amerika Birleşik Devletleri ve gelişmekte olan başta Çin, Brezilya, Rusya ve Hindistan gibi ekonomilerin baını çektiği ülkelerin enerji talebinin artması beklenmektedir. Dünya açısından artık sera gazları sürdürülebilir değildir ve enerji arzının karbonsuzlatırılması gereklidir. Ayrıca küresel piyasalar açısından kömür, petrol ve gazın en aktif pazarlar olarak devam etmesi beklenmektedir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) tahminlerine göre, 2030 yılına kadar bu talep artıını karşılamak için 26 trilyon dolarlık yatırıma ihtiyaç duyulmaktadır (Melin, 2020).

Enerji piyasalarının güçlü bir şekilde birbirine bağlı olduğu göz önüne alındığında, bir enerji türünün fiyatı, baskın bir elektrik arz kaynağı olan doğal gaz durumunda olduğu gibi, diğer enerji ürününün çıktı fiyatını etkilemektedir. Yani değişen gaz, petrol veya kömür fiyatları, elektrik ve bölgesel ısıtmayı doğrudan etkilemektedir. Bir enerji segmentinin serbestleştirilmesi bu nedenle diğerlerini etkilemektedir. Gelişmiş enerji

piyasalarının çoğunda üretim, dağıtım ve satıştan sorumlu ayrı şirketler bulunmaktadır. Ancak bu şirketlerden bazıları, kamu düzenleyici otoritesinin izin verdiği ölçüde, aynı sahiplere ve aynı koordinasyona ait olabilmektedir. Bu, dikey entegrasyona ve piyasa gücünün potansiyel olarak kötüye kullanılmasına yol açmaktadır (Menichetti ve ark. 2019: 75).

Son olarak gelişmekte olan piyasalarda petrol tüketiminin (5,8 milyon tep) genel eğilimin aksine OECD ülkelerinin (5,5 milyon tep) üzerinde olmasıyla birlikte, OECD dışı ülkelerin enerji sektöründe önemi artmaktadır. Bu eğilimin küresel açıdan gelecekte iklim değişikliğiyle ilgili soruları gündeme getirmeye devam etmesi beklenmektedir (Chang ve ark. 2018: 65-77). Enerji fiyatlarındaki oynaklık enerji yatırımlarını olumsuz etkilemektedir. Bununla birlikte gelişmekte olan pazarlara ve temiz enerji yatırımlarına yönelik artan talep devam etmektedir. Çalışmamız kapsamında sonraki bölümde enerji piyasalarının yapısı incelenecektir.

2.2. Türkiye'nin Mevcut Enerji Durumu

Osmanlı İmparatorluğu dönemindeki ilk elektrik jeneratörü, 1902 yılında Tarsus'ta bir su değirmenine bağlı olarak kurulmuştur. Bu jeneratör 2 kW'lık bir dinamoya sahiptir. İlk büyük elektrik santrali ise Macar şirketi tarafından 1914 yılında Haliç kıyısında kurulmuştur. Onu besleyen kömür ise Zonguldak'tan getirilmiştir. 1952 yılına kadar İstanbul'un belirli kesimlerine tek başına elektrik sağlayan Silahtarağa Santrali, Türkiye geneline üretilip dağıtımını yapmıştır. 1952'den sonra İstanbul'un elektrik ihtiyacını karşılaması için kurulan Ambarlı Santrali ve Silahtarağa Santralleri ise 1983 yılında kapatılmıştır (Engin, 2010: 243).

Türkiye elektrik piyasasındaki ilk kurumsallaşmayı 1970 yılında 1312 sayılı Türkiye Elektrik Kurumu Kanunu ile gerçekleştirmiştir. Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planında, elektriği tek elden yönetmek ve nüfusun daha geniş bir kesimine ulaşmak için Türkiye Kurum ekonomisinin kurulması önerilmiştir. Böylece çıkarılan bir kanunla Türkiye Elektrik Kurumu kurulmuş ve kamu iktisadi teşekkülü olarak enerji alanında faaliyetlerine başlamıştır (Engin, 2010: 243).

Türkiye Elektrik Kurumu elektriğin iletim ve dağıtımında tekel olarak üretimden sorumlu olmuştur. Böylece Türkiye Elektrik Kurumu aracılığıyla elektrik piyasasında dikey bütünleşmiş bir yapı oluşturulmuştur. 1973 yılında Petrol Krizi ile birlikte dünya

ekonomisinde maliyetler artmış, kamu mülkiyetindeki elektrik sektöründe özelleştirme ve neo-liberalleşme önem kazanmaya başlamıştır (Ünal, 2007: 84). Bu durum Türkiye'ye de yansımıştır.

1980 yılında Türkiye iç pazarının, uluslararası ticaret ve finansın neo-liberalleşmesine büyük ölçüde tanık olmuştur. Bu yeni piyasa odaklı rejimde özelleştirme, kamu sektöründe yaygın olan verimsizliklerin üstesinden gelmek için bir araç olarak görülmüştür. Ayrıca, özelleştirmenin diğer bir nedeni de 1990'larda Türkiye'de yüksek bir kamu açığı ve borç sıkıntısı olmasıdır. Elektrik talebindeki hacimli artışla birlikte Türk hükümeti, üretim kapasitesini artırmak adına gerekli yatırımlar için özel sektör yatırımcılarını elektrik sektörüne çekerek kamu bütçesi üzerindeki yükü azaltmaya çalışmıştır (Atiyas, Çetin ve Gülen, 2012: 21).

1982 yılında 2705 sayılı Kanun ile Türkiye Elektrik Kurumu'nun elektrik üretimi, iletimi ve dağıtımında tekel olması, elektrik üretiminin önünü açarak özel sektörün özel teşebbüsün piyasaya girmesini sağlamıştır. 1984 yılında 3096 sayılı Kanun ile yerli ve yabancı özel şirketlere elektrik üretimi dışında, iletim, dağıtım ve ticareti serbestleştirilmiştir. Elektrik piyasasında arz tekeli esnetilmeye ve rekabetçi bir yapı oluşmaya başlamıştır (Çetintaş ve Bicil, 2015: 10).

1994 yılında Türkiye Elektrik Kurumu, istihdam ve özelleştirme politikaları doğrultusunda daha etkin ve verimli bir şekilde, Türkiye Elektrik Üretim-İletim A.Ş. (TEAŞ) ve Türkiye Elektrik Dağıtım A.Ş. (TEDAŞ) adı altında iki ayrı iktisadi devlet işletmesi adı altında faaliyetlerine devam etmiştir. Elektrik piyasasında özel sektör faaliyetlerinin yoğunlaştırılmasına ve kamu sektörü kaynaklarının eksikliğine alternatif olarak; 1994, 1996, 1997 ve 1999 yıllarında YİD, Yİ ve işletme hakkı devri uygulamaları başlamıştır (Çetintaş ve Bicil, 2015: 10).

Bu anlaşmalar kapsamında alıcı belirli bir miktarda elektriği önceden belirlenmiş fiyatlar veya 15-30 yıl süreyle satın almayı taahhüt eden anlaşmalarla satın alabilmektedir (Atiyas ve ark. 2012: 22). YİD modeli, kamu yatırımları için bir tür finansman yöntemidir YİD'e göre, özel şirketler santrali kamu ihaleleri yoluyla kurabilir ve belirli bir süre sonra kamuya devredebilir. İşletme sırasında kamu, sözleşme ile belirlenen elektriği belirlenen fiyatlardan satın almayı taahhüt etmektedir. Yİ modeline göre yatırımcılar kamu ihaleleri yoluyla termik santral kurup işletebilmektedir.

Başlangıçta imzalanan anlaşmalarla, halkın belirli bir miktarda enerjiyi belirli fiyatlardan satın alması garanti altına alınmıştır (Zenginobuz, 2000: 120).

İşletme hakkının devri, belirli bir bölge için elektrik enerjisi üretim, iletim, dağıtım ve ticaret faaliyetlerinin belirli bir süre için kamu ihalesi yoluyla şirkete devredilmesidir. İşletme hakkının devrinde ihaleyi alan firmaya fiyat ve satın alma garantisi verilmektedir (Zenginobuz, 2000: 120). Ancak bu anlaşmalar tartışmaları da beraberinde getirmiştir (Atiyas ve ark. 2012: 22). Örneğin; bazı sözleşmeler, özellikle 3996 sayılı Kanunla yapılan bazı YİD sözleşmeleri, rekabetçi bir prosedür olmaksızın önceden seçilmiş şirketlerden toplanan tekliflere dayanılarak verilmiştir.

Bu sözleşmeler, piyasada rekabet için bir çerçeve sağlamamakta daha çok rekabetçi tekliflere tabi olmaktadır (Çakarel ve House, 2004: 6). İkincisi, sözleşmelerdeki tarifeler, maliyetlerin erken tahsil edilmesini sağlamak için ağırlıklı olarak önden yüklenmiştir. Bu nedenle devlet tarafından satın alınan elektrik, özellikle sözleşmelerin ilk yıllarında pahalı olmuştur. Ayrıca devletin sözleşmeler konusunda yeterince pazarlık yapmadığı ve zayıf pazarlık sergilendiği de düşünülmektedir (Zenginobuz, 2000: 120).

2001 yılına gelindiğinde, elektrik piyasasının serbest rekabet piyasasına geçişi ile TEAŞ, TEİAŞ ve TETAŞ olmak üzere üç ayrı ekonomik devlet işletmesine ayrılmıştır. 2001 yılında 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile rekabete açık bir piyasa için gerekli altyapı hazırlanmış olup, elektrik enerjisinin üretimi, iletimi, dağıtımı ve halka arzına ilişkin düzenleme ile elektrik enerjisi piyasasındaki faaliyetlerin etkin bir şekilde yürütülmesini sağlamak için yerli ve yabancı yatırımcıların ön plana çıktığı görülmektedir (Çakarel ve House, 2004: 6).

TEAŞ, piyasada faaliyet göstermek isteyen yerli ve yabancı şirketlere üretim ve dağıtım için gereken dönem lisansları ile elektrik iletimini sağlayan tek mercii olmuştur. Kanun ile dikey bütünleşmiş yapıda piyasadan üretim ve satış faaliyetlerinin rekabet ortamında devam ettirilmesi ve doğal tekeller olan dağıtım ve iletim faaliyetlerinin düzenlendiği bir piyasa ortamına dönüştürülmesi amaçlanmaktadır.

Ayrıca 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile EPDK kurulmuş; piyasa takibi, lisans dağıtımı, fiyatlandırma esaslarının belirlenmesi ve denetlenmesinden sorumlu tutulmuştur. Türkiye elektrik piyasası elektrik üretimi, üreticinin yüksek gerilim iletim hatlarından aldığı enerjinin iletimi, perakende piyasasına enerji ve elektrik temini,

bölgesel dağıtım şebekesi üzerinden iletimde yüksek veya alçak gerilim çıkışı iletim olarak üç birime dayanmaktadır. (Özkan, 2016: 56).

2001 yılında TEAŞ; Türkiye Elektrik Üretim A.Ş. (EÜAŞ), TEİAŞ ve TETAŞ olarak yeniden yapılandırılmıştır. Daha sonra TEAŞ, üretim, iletim ve toptan satışın ayrı ayrı yürütüldüğü EÜAŞ, TEİAŞ ve TETAŞ olmak üzere üç alt kuruluşa bölünmüştür. Aynı zamanda TEDAŞ, elektrik dağıtım işini 21 yerel bölgeye ayırmış ve her bölge için ayrı distribütörlere devretmiştir (Özkan, 2016: 56).

2001 yılında 4628 sayılı Elektrik Piyasası Kanunu ile elektrik piyasasının üretim ve dağıtım aşamasında yerli ve yabancı yatırımcılara verilen lisanslar ile rekabetçi bir yapıya geçiş başlatılmış, rekabete açılmayan ve doğal tekel olarak devam eden iletim, düzenlemelerle kontrol altında tutulmuştur (Özel, Büyüktanır ve Özel, 2013: 2075). Rekabete açık olan elektrik üretimi aşamasında, kamu kuruluşu EÜAŞ'ın yanı sıra, özel yatırımcılar ve YİD, Yİ devri ile faaliyet gösteren oto üreticileri işletme hakkı ile faaliyet göstermektedir (Karaçor ve Güvenek, 2010: 147-166).

2012 yılında 12/09/2012 tarih ve 4019 sayılı EPDK kararı ile dağıtım lisansı kapsamındaki şirketlerin perakende elektrik satışlarının iptaline ve her faaliyet için ayrı tüzel kişiliğe sahip olmasına karar verilerek piyasada daha fazla satıcı oluşmasına neden olunmuştur. Öte yandan, dağıtım lisansı sahibi şirketler, sağladıkları enerjiyi, dağıtım lisanslarında belirtilen bölgelerde ayrı iletim tesisleri kurulmasının getirdiği yüksek ek maliyetler nedeniyle doğal tekel olarak TEİAŞ'ın kurduğu ve işlettiği iletim tesislerinden sağlamaktadır (Özel, Büyüktanır ve Özel, 2013: 2075).

TEDAŞ ise 21 yerel dağıtıcıya bölünmüş ve 2013 yılında son dağıtım şirketinin özelleştirilmesiyle elektrik dağıtım faaliyeti tamamen özel sektöre devredilmiştir (Özdemir, 2014: 67). Görüldüğü gibi elektrik enerjisinin üretim ve dağıtım tarafında rekabet varken, iletim aşamasında TEİAŞ doğal tekel olarak faaliyet göstermektedir. Ayrıca 2001 yılında EPDK'nın kurulmasıyla birlikte elektrik sektöründe kamu mülkiyetinin azaltılması süreci başlamış ve özel sektörün piyasaya girişi günümüze kadar devam etmiştir (Özdemir, 2014: 67).

Türkiye elektrik piyasasının Türkiye Elektrik Kurumu'na tahsis edilmesi sürecinde ve sonrasında bölgesel dağıtımçıya elektrik dağıtım tekelini verilmesi; kurulu güç, elektrik üretiminde kullanılan enerjinin türü ve kaynağı, enerji ithalatındaki değişim, kayıp ve

kaçak oranları ve birçok faktör piyasa ve enerji politikaları açısından önemlidir. TEİAŞ'ın Türkiye'deki santrallerinin kurulu gücünden elde edilen veriler ışığında, büyümenin ardından 2011 yılında genel yükseliş trendi birlikte kazanmış ve kurulu güç 2017 yılında bir önceki yıla göre %49 artarak 85200.0 Megawatt'a ulaşmıştır. 2019 yılında ise toplam kurulu güç 91.267,00 Megawatt olmuştur (Koç ve Gülşen, 2018: 37-51).

Enerji piyasalarında neo-liberalleşme 1990'ların başında birçok ülkede başlamış ve yasal düzenlemelerle enerji piyasaları oluşmaya başlamıştır. Türkiye, Elektrik Kurumu'nun kuruluşunun yansıması ile başlayan süreci TEDAŞ'tan sonra Elektrik Üretim A.Ş. ve TEAŞ ile devam ettirmiştir. Kamunun elektrik sektöründeki payı 2019 yılında %21,5'e gerilemiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'na (IEA) göre özelleştirme sürecinin tamamlanmasının ardından özel sektörün payının en az %90'a ulaşacağı tahmin edilmektedir (Koç ve Gülşen, 2018: 37-51).

Kamuya ait tüm termik santrallerin ve bazı hidroelektrik santrallerinin (8 termik santral ve toplam 12 GW kapasiteli 49 hidroelektrik santrali) özelleştirilmesi planlanmaktadır. Ocak 2015 itibarıyla Seyitömer, Kangal, Hamitabat, Yatağan, Yeniköy ve Kemerköy termik santralleri ve Ocak 2015 itibarıyla Çatalağzı, Soma, Orhaneli ve Tunçbilek termik santralleri özelleştirilmiştir (Koç ve Gülşen, 2018: 37-51).

2019 yılında üretilen elektriğin yaklaşık yarısı doğalgaz ve kömür gibi fosil yakıtlardan üretim yapan termik santrallerde üretilmiştir. Rüzgâr, güneş ve jeotermal gibi yenilenebilir kaynaklardan üretim son yıllarda ön plana çıksa da ağırlıklı üretim fosil yakıtlarla devam etmektedir. Bu noktada fosil yakıtlar ve enerjide dışa bağımlılık ön plana çıkmaktadır. 2019 yılında üretilen toplam 91.267.0 Megawattlık enerjinin 43.604,0 Megawattlık kısmı yenilenebilir kaynaklardan oluşurken, 47.663.0 Megawattlık kısmı taşkömürü, linyit, akaryakıt gibi yenilenemeyen kaynaklardan elde edilmiştir (Karadağ, 2021: 11-23).

2009 yılında enerji kaynaklarına dayalı en yüksek üretim 29.339,0 megawatt ile kömür, doğalgaz ve fosil yakıtlardan olan diğer yakıtlarla çalışan termik santrallerden elde edilmiştir. Bu üretim miktarı, toplam üretimin yaklaşık %65,5'ine tekabül etmektedir. Sıralamada 15.422.0 megawatt ile yenilenebilir enerji kaynağı olan hidroelektrikten üretilen santraller takip etmektedir (Karadağ, 2021: 11-23).

Güneşten ve jeotermal kaynaklardan üretim son 10 yılda önemli ölçüde artarken fosil yakıtlardan elektrik üretimi toplamda azalmıştır. Türkiye, IEA olmak üzere ülkeler arasında yer alan yenilenebilir elektrikte en iyi penetrasyon oranına sahiptir. Elektrik üretiminin ağırlıklı olarak fosil yakıtlardan yapılması dikkat çekicidir. Türkiye güneş, rüzgâr ve jeotermal dâhil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynakları için yüksek potansiyele sahiptir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elde edilen enerjinin %48,64'ü biyokütle ve hayvansal atıklardan, kalan kısmı ise hidrolik, güneş, rüzgâr ve jeotermal enerjiden elde edilmektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak ithal fosil yakıtların oranını düşürmek ve yenilenebilir enerji ile çevreye verilen zararı azaltmak mümkündür (Karadağ, 2021: 11-23).

2.3. Fosil Yakıt Kaynakları ve Türkiye'nin Rezervleri

2.3.1. Kömür

Kömür, 2019 yılında toplam birincil enerji arzının (TPES) %28'ini temsil ederek, petrol (%29) ve doğal gazın (%25) hemen ardından Türkiye'deki üçüncü en büyük birincil enerji kaynağı olmuştur (Bilim, 2016). TPES'de kömürün payı son on yıllarda sabit kalmış, ancak toplam nihai tüketimdeki (TFC) tüketimi azalırken, elektrik üretimindeki payı artmıştır. Türkiye, başta linyit olmak üzere büyük yerli kömür kaynaklarına sahiptir ve kömür üretimi, toplam yerli enerji üretiminin %42'sini oluşturmaktadır (Mishra, Panda ve Akcil, 2021).

Kömür ithalatı, artan talebi karşılamak için son on yılda artmıştır. Toplu olarak yerli kömür üretimi, 2019 yılında toplam kömür arzının %71'ini oluştururken, enerji açısından yerli üretim, TPES'in %42'sini karşılamıştır. Hükümet, ülkenin enerji ithalatına olan bağımlılığını sınırlamak için yerli kömür üretimini daha da artırmak istemiş ve bu nedenle hem madencilik hem de yerli kömürden kömür elektrik üretimi için ek destekler sağlamıştır. Türkiye'nin enerji sisteminde kömürün sahip olduğu yüksek pay, ülkedeki sera gazı emisyonlarının önemli bir nedenini oluşturmaktadır (Emeksiz ve Fındık, 2021).

2018'de kömür yakma, enerjiyle ilgili CO₂ emisyonlarının %43'ünü oluşturmuş ve son on yılda kömürle ilgili emisyonlar yaklaşık %32 artmıştır. Ayrıca, yerli linyit üretimi ve tüketimi, son zamanlarda uygulanan daha katı kirlilik kontrollerine rağmen yerel hava

kirliliğini arttırmaktadır. Türkiye'de kömür talebi istikrarlı bir şekilde (mutlak bazda) artmaktadır. Toplam kömür tüketimi (enerji açısından) on yılda %39 artarak 2008'deki 29,4 Mtep'ten 2018'de 40,8 Mtep'e yükselmiştir (Kayar, Niyazi ve Carlak, 2021).

Bu eğilim, son on yılda neredeyse ikiye katlanan kömür yakıtlı enerji üretimindeki hızlı büyümeden kaynaklanmaktadır. Mayıs 2020 itibarıyla, Türkiye'nin toplam kömür yakıtlı elektrik üretim kurulu gücü 20,3 gigawatt (GW) olup, toplam kurulu gücün %22'sine tekabül etmektedir ve toplam elektrik üretiminin %37'si kömürden sağlanmaktadır. 2018'deki toplam kömür talebinin %65'i elektrik ve ısı üretimi sektörlerine harcanmaktadır, bunu sanayi (%26), hizmetler (%5) ve konut (%4) izlemektedir. Elektrik ve ısı üretiminde kömür talebi özellikle son yıllarda hızla artarak 2013'ten 2018'e kadar %71 oranında büyümüştür. (Kayar, Niyazi ve Carlak, 2021).

2018 yılında hizmet sektöründeki kömür talebi bir önceki yıla göre %49 azalırken, diğer sektörlerdeki kömür talebi son 10 yılda görece sabit kalmıştır. Yerli kömür üretimi, toplam kömür arzının kütle olarak %71'ini, enerji açısından ise yaklaşık %42'sini karşılamaktadır. Çünkü yerli üretim ağırlıklı olarak düşük ısı değere sahip linyit kömürden oluşmaktadır. Ayrıca, son on yılda yerli üretim dalgalı bir seyir izlerken, ithalat istikrarlı bir şekilde artmıştır. 2009-2015'te düşen kömür üretimi, 2015-2019 arasındaki dört yılda %38 artarak 2019'da 90 milyon tona (Mt) veya 17,7 Mtep'e ulaşmıştır.

Kömür üretimindeki büyüme hem madencilığe hem de enerjiye yönelik politikalarla desteklenmektedir. Yerli kömür üretiminin çoğu elektrik üretiminde kullanılan linyittir. 2019 yılında toplam yerli kömür üretiminin (kitlese olarak) %96'sını linyit oluşturmaktadır. Türkiye'nin linyit kaynaklarının enerji içeriği düşüktür; Linyitin %79'unun ısı değeri 2500 kcal/kg'ın altındadır (IEA, 2022). Yerli üretimin dalgalı bir seyir izlemesiyle, Türkiye'nin elektrik üretiminde artan kömür talebini karşılayabilmesi için kömür ithalatı daha önemli hale gelmiştir (Kavaz, 2021).

Türkiye 2019'da 38,1 Mt kömür ithal etmiştir. Söz konusu bu ithalatın %48'ini Kolombiya, %36'sını Rusya, %8'ini Avustralya ve %3'ünü Amerika Birleşik Devletleri'nden yapmıştır. Kolombiya'dan kömür ithalatı 2003 yılında başlamış ve 2016'dan sonra en büyük ithalat kaynağı haline gelmiştir. İthal edilen kömürün çoğu, enerji üretimi ve sanayi için kullanılmaktadır. Türkiye'nin kömür madenciliği ve kömür yakıtlı üretime yaklaşımı, ekonomik ve enerji güvenliği amaçlarıyla ithal doğal gaza

bağımlılığı azaltma stratejisine dayanmaktadır. Gaz tüketimini azaltma stratejisi, sanayi gibi diğer sektörlerle kıyasla gazdan kömüre geçişin daha kolay olduğu enerji sektörüne odaklanmaktadır. Bu nedenle hükümet, Türkiye'nin oldukça büyük kömür rezervlerinin yerli üretimini ve tüketimini artırmak için çalışmaktadır (IEA, 2022).

Özellikle linyit enerji üretiminde kullanılmak amacıyla yönelik olarak kalkınma için öncelikli bir alandır. Taşkömürünün daha çok sanayi sektöründe kullanılması amaçlanmaktadır. Bununla birlikte hükümet, evlerin ısınmasında kömür kullanımını doğal gaz lehine azaltmaya çalışmaktadır. Devlete ait iki kömür madenciliği şirketi, Türkiye Kömür İşletmeleri (TKİ) ve Türkiye Taşkömürü İşletmeleri (TTK), linyit ve taş kömürü aramakta ve üretmektedir. TTK, taşkömürü üretimi, işlenmesi ve dağıtımında fiilen tekele sahiptir. TKİ ve TTK, taşkömürü ve linyit için düşük yerli fiyatlar belirlemiştir. Örneğin 2017 yılında TTK taşkömürünün ortalama satış fiyatı ton başına 309 TL (46 ABD Doları) olup, o yılki Newcastle FOB fiyatlarının yaklaşık yarısı seviyesindedir (OECD, 2019).

TKİ'nin ürettiği kömür, büyüklük ve ısı değerlerine göre sanayiye, termik santrallere ve hanelere satılmaktadır. 2019 yılında TKİ'nin ortalama satış fiyatları ton başına sanayi, termik santral ve mesken için sırasıyla 363 TL (64 ABD Doları), 114 TL (20 ABD Doları) ve 503 TL (89 ABD Doları) olarak gerçekleşmiştir. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü'ne göre Türkiye'de 19,14 milyar ton linyit ve 1,6 milyar ton (kanıtlanmış) taşkömürü rezervi bulunmaktadır. Sanayileşme ve nüfus artışına paralel olarak enerji talebini karşılamak amacıyla hükümet, yeni kömür sahaları bulma ve mevcut madenlerin gelişimini hızlandırma çalışmalarını hızlandırmıştır (IEA, 2020).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü'ne bağlı Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü, kurulduğu 1935 yılından bu yana Türkiye'de arama faaliyetlerine destek vermektedir. 2005 yılında başlayan arama faaliyetlerine göre 2019 yılına kadar enstitü tarafından 3,35 milyon m² aranmıştır. 5'i büyük rezerve sahip 18 yeni kömür sahası keşfedilirken, mevcut 3 saha büyük rezerv artışı sağlanmıştır (IEA, 2020).

Genel olarak, 2005 ile 2019 arasında 10,64 milyar ton linyit kaynağı eklenmiş ve toplam kaynaklar %128 artışla 19,14 milyar tona ulaşmıştır. Türkiye, üretimi artırmak amacıyla kömür madenciliği sektörünün daha fazla özelleştirilmesini teşvik etmektedir. Bu kapsamda TTK ve TKİ'nin üretim yapmayan alanları bölünerek yeniden

ruhsatlandırılmıştır. Maden mahallinin yakınına termik santral kurulması şartıyla özel sektöre ihale edilen maden sahalarında işletmeye açılması ile birlikte kömür üretim ve tüketiminin artacağı öngörülmektedir.

Maden varlıkları ihaleleri, teknik şartnameleri kapsayan fizibilite çalışmalarına dayanmaktadır. Ayrıca tüm ihalelerdeki telif hakkı oranı da fizibilite çalışmalarından elde edilen bulgulara dayanmaktadır. Devlet, belirli bir ihaleye bağlı olarak (yatırımcılar için kur riskini en aza indirmek için ABD Doları bazında sabitlenmiş) sabit bir fiyat üzerinden 15 yıl boyunca (devlete ait elektrik şirketi EÜAŞ aracılığıyla) elektrik satın alma garantisi vermektedir.

Devlete ait madencilik şirketleri, işçi sağlığı ve güvenliği ile ilgili endişelere yanıt olarak son yıllarda maden sahalarında iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını iyileştirme çabaları arttırılmaktadır. Ağırlıklı olarak özel şirketler tarafından yönetilen yer altı madenciliğinde makineleşmeyi teşvik etmek için yeni mevzuat çalışmaları devam etmektedir. Devlet, özel yeraltı madenciliği için (arama için olmasa da) emek ve üretim yöntemlerine dayalı olarak üretim sübvansiyonları sunmaktadır. Özellikle, SOMA madeninin (Türkiye'nin en büyük madencilik alanı) bir bölgesinde 2014 yılında meydana gelen bir felaketin ardından, hükümetin sağlık ve güvenlik standartlarını iyileştirmeye yönelik düzenleyici değişikliklerinin bir sonucu olarak, hükümet tarafından işçilik maliyetlerinin iki katına çıktığı tahmin edilmektedir (IEA, 2020).

Türkiye, ithal enerji kaynaklarına bağımlılığı azaltma stratejisinin bir parçası olarak, 2027 yılına kadar 7,5 GW'lık yeni linyit elektrik üretim kapasitesi eklemek istemektedir. Mayıs 2020 itibarıyla yerli kömür kullanımına yönelik kurulu elektrik kapasitesi 11.313 megawatt (MW) (10.097 MW linyit, 811 MW taşkömürü, 405 MW asfaltit) olup, toplam kurulu gücün %12,3'ünü temsil etmektedir. İthal kömür kurulu gücü ise 8967 MW'dir. Birlikte toplam enerji üretim kapasitesinin %22'sini oluşturmaktadırlar. Genel olarak devlet, kömüre dayalı üretim kapasitesindeki büyümenin, toplam üretim kapasitesi artışlarına ayak uydurarak kömürün elektrik karışımındaki payını orta vadede sabit tutmayı planlamaktadır (IEA, 2020).

Türkiye'nin kömür yakıtlı jeneratörlerin inşasını teşvik etme çabalarına rağmen, sektör son yıllarda, büyük ölçüde kömür santralleri için kredi temin etmedeki zorluklar nedeniyle dikkate değer bir yavaşlama yaşamaktadır. Kömürlü termik santrallerin kurulmasına yönelik bölgesel ve yerel muhalefetlerde planlarda gerilemeler

yaşanmasına neden olmuştur. Bununla birlikte devlet, öncelikle enerji güvenliği nedenleriyle özel sektör tarafından işletilen mevcut elektrik jeneratörlerinin kapatılmasını önlemeye çalışmaktadır. Bu amaçla, Ocak 2018'de Elektrik Piyasası Kapasite Mekanizması Yönetmeliği ile elektrik piyasası kapasite mekanizması diye adlandırılan bir mekanizma getirilmiştir. Yeterli kurulu ve yedek üretim kapasitesinin sağlanması amaçlanmaktadır. Sistem işletmecisi olan TEİAŞ, kapasite mekanizmasının yönetiminden sorumlu kuruluştur. Bu çerçevede, uygunluk kriterlerini sağlayan santrallere aylık kapasite ödemesi yapılmaktadır (IEA, 2020).

Kapasite ödemesi alabilmek için katılımcıların belirli eşik değerleri karşıladığını kanıtlaması gerekmektedir; son dört çeyrek ağırlıklı ortalama kapasite kullanım oranları dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Yerli kaynak kullanan santraller için eşik %10, diğerleri için %15'tir. Ödeme tutarları, birim bazlı üretim maliyetleri, jeneratörlerin sistemde kalması için gerekli maliyetler ve saatlik elektrik satış ve alım oranları dikkate alınarak yönetmelikte belirlenen formüle göre hesaplanmaktadır. Yerli kömür kaynaklarını kullanan üretim tesisleri için ödemeler önceliklendirilmektedir. Kapasite ödemelerinde 2018 yılında 1,4 milyar TL (298 milyon ABD Doları) ödenirken, 2019 yılında 2 milyar TL (352 milyon ABD Doları) ve 2020 yılı için 2,2 milyar TL (333 milyon ABD Doları) bütçelenmiştir (IEA, 2022).

2.3.2. Enerji Üretiminde Kullanılan Petrol ve Türevleri

Petrol ismi, eski Yunanca Petra, kaya ve yağ anlamına gelen oleum kelimesinden gelmektedir. Petrol, hidrokarbonların, inorganik kimyasal elementlerin ve bir dizi fiziksel safsızlığın bileşik bir karışımıdır. Eski zamanlarda bitkiler, büyük hayvanlar ve algler sığ denizlerde yaşıyordu. Zamanla öldüler ve toprak altında kaldılar. Milyonlarca yıl önce yüksek sıcaklık ve basınç altında bu organizmaların artıkları fosil yakıtlara dönüşmüştür.

Petrol de benzer koşullarda oluşan bir fosil yakıttır. Petrol, dünya yüzeyinin altında üç şekilde bulunmaktadır; sıvı, gaz veya katı. Petrolün sıvı ve gaz fazları, birincil fosil yakıtların temel formlarını oluşturmaktadır. Doğalgaz ve petrol sızıntısı ile yüzeye çıkması nedeniyle eski zamanlardan beri bilinmektedir. Petrol, tarihsel açıdan incelendiğinde, petrol bazı ilaçlarda ve su yalıtım maddelerinde kullanıldığı görülebilmektedir (Donohue ve Barrie, 2021).

Dünyada ilk endüstriyel ölçekte petrol üretim faaliyetleri 1859 yılında ABD'nin Pennsylvania eyaletinde başlamıştır. İlk yıllarda sadece gazyağı şeklinde ve sadece aydınlatma amaçlı kullanılan petrol, 20. yüzyılın ilk yıllarında içten yanmalı motorlar vasıtasıyla otomobillerde yakıt olarak kullanılmaya başlanmıştır. Petrol, Pennsylvania'da ilk kez 27 Ağustos 1859'da Edwin Drake tarafından kuyular ve pompalar yardımıyla çıkarılmaya başlanmıştır (Drake, 2020). Petrol endüstrisinin ortaya çıkması ile kömürden petrole dönüşümün başlaması devletleri petrol aramaya yöneltmiş ve bu da yeni uluslararası güvenlik sorunlarına neden olmuştur. Sanayi Devrimi sonrasında günümüze kadar savaşların çıkmasında enerji politikaları kilit rol oynamıştır (Pena-Ramos, Bagus ve Amirov-Belova, 2020: 17).

Bu kapsamda Petrol sahip olduğu arz payı ile dünyadaki birincil enerji kaynakları arasında stratejik bir yere sahiptir (TPAO, 2012: 2). Bununla birlikte birincil enerji kaynakları arasında doğal gaz ve kömürden sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Türkiye'de son on yılda ham petrol arzı %15 azalırken, doğal gaz arzı %121 artmıştır. 2021 yılında TPAO, yaklaşık 25,2 milyon varil olan Türkiye ham petrol üretiminin yaklaşık 18,4 milyon varilini (%73), 415 milyon m³ olan Türkiye doğal gaz üretiminin ise 330,6 milyon m³'ünü (%80) gerçekleştirmiştir. Türkiye, petrolün büyük bölümünü ithal etmek zorunda olduğundan, arz güvenliği ve siyasi kaygılar açısından çeşitli risklerle karşı karşıyadır. Bu nedenle, ülkenin petrole bağımlılığını ve petrol ithalatını azaltmak hükümetin önceliklerinden biridir (Uzuner, 2018).

Petrol, Türkiye'nin toplam nihai tüketiminde (TFC) en büyük enerji kaynağı ve toplam arzda ikinci en büyük enerji kaynağı olmaya devam etmektedir. 2000 yılında petrolün toplam arzdaki payı %41, TFC'deki payı ise %45; paylar sonraki yıllarda nispeten sabit kalmış ve 2009'da toplam arzın %31'i ve TFC'nin %38'i iken 2019'da %31,7'ye ve 2018'de TFC'nin %38'ine yükselmiştir. Türkiye'de en çok petrolü ulaştırma sektörü tüketmektedir ve ulaştırma sektöründeki artan enerji talebi, toplam petrol tüketiminde hızlı bir büyümeye yol açmıştır (Küsmez ve Çoban, 2022).

Türkiye'de petrol tüketiminde özellikle dizel yakıtlar hakimdir. Ulaştırma sektöründe talep azaltma ve yakıt değiştirme, petrol talebinin daha fazla artmasını önlemek için önemli olacaktır. Toplam petrol tüketimindeki büyüme, arz güvenliğini sağlamak için etkili acil müdahale sistemlerine olan ihtiyacı da artırmaktadır. Türkiye hem ham petrol hem de rafine edilmiş ürünlerin net ithalatçısıdır. Petrol arz kaynakları ve güzergâhları

çeşitlendirilmiştir. Ham petrol, boru hatları ve tankerler aracılığıyla sağlanmaktadır (petrol ürünleri yalnızca tankerlerle sağlanır). Türkiye 2019 yılında 16 ülkeden ham petrol ve 30'dan fazla ülkeden petrol ürünleri ithal etmiştir. 2019 yılında günde 623,7 bin varil (kb/d) ham petrol ve tüketilen 271,8 kb/d petrol ürünü ithal edilmiştir. 2019 için tahmini veriler, ülkedeki toplam petrol tüketiminin %5 artarak 991 kb/d olduğunu göstermektedir (Küsmez ve Çoban, 2022).

Türkiye’de özellikle 2003 yılından itibaren petrol arama ve sondaj faaliyetlerine hız verilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda 2002 yılında 231 milyon dolar olan yatırım 2011 yılında 1,418 milyar dolara çıkarılmıştır. 2018 yılında ise 9,5 milyar dolara yükselmiştir. Tahmini yerli petrol üretiminin önümüzdeki on yılda önemli ölçüde azalması beklenmektedir. Öte yandan, yurt dışı ham petrol üretim miktarının önümüzdeki yıllarda ikiye katlanması beklenmektedir.

Yerli ham petrol üretimi azdır ve mevcut tüm lisansların çoğunu elinde bulunduran ve son ihale turlarında tüm yeni lisansları alan Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı'nın (TPAO) hakimiyeti altındadır. Daha fazla uluslararası yatırım çekmek, özellikle Türk lirasının 2015'ten bu yana ABD doları karşısında önemli ölçüde değer kaybetmesi göz önüne alındığında, yerli üretimi artırmaya ve Türkiye'nin petrol ithalatına bağımlılığını azaltmaya yardımcı olabileceği düşünülmektedir (IEA, 2020).

Türkiye'de yerli üretim on yılda %24 artarak 2009'da 48,5 kb/d'den 2019'da 60,3 kb/d'ye yükselmiştir. Bununla birlikte, 2019'da toplam ham petrol arzının %91'ini net ithalat oluşturmaktadır. Ham petrol net ithalatı, 2010-14'te yaklaşık 350 kb/d'den sonraki yıllarda yaklaşık 400-500 kb/d'ye ve 2018'in sonlarında STAR rafinerisinin açılmasının ardından 2019'da 600 kb/d'nin üzerine çıkmıştır. İthalatın çoğu geleneksel olarak Orta Doğu'dan sağlanmaktadır. 2018 verileri incelendiğinde İran İslam Cumhuriyeti, Irak ve Suudi Arabistan'ın toplam ithalatın neredeyse dörtte üçünü oluşturduğu görülmektedir (IEA, 2020).

Son on yılda ithalattaki artış İran ve Irak'tan gelen ham petrolle karşılanırken, Rusya Federasyonu'ndan yapılan petrol ithalatı 2008-2018 döneminde azalmıştır. Bununla birlikte ABD yaptırımları nedeniyle İran'dan yapılan ithalat 2019'da önemli ölçüde düşmüş ve Mayıs 2019 itibarıyla tamamen durmuştur. 2018'de İran'dan ithal edilen ham petrol toplamın %34'ünü oluştururken, bu oran 2019'da %7'ye gerilemiştir. Ortaya çıkan fark, 2019'da Rusya ve Irak'tan ham petrol ithalatı ile ikame edilmiştir (IEA, 2020).

Rusya, 2019 yılında %33'lük payla ülkenin en büyük ham petrol tedarikçisi olurken, onu %30 ile Irak ve %10 ile Kazakistan izlemiştir (EPDK, 2020). Ayrıca Kazakistan, Libya ve Nijerya'dan yapılan ham petrol ithalatında da artışlar görülmektedir. Ham petrol tedarik yollarını daha da çeşitlendirmek amacıyla 2019 ve 2020'de Norveç, Türkmenistan ve Tunus da dahil olmak üzere birkaç yeni petrol satıcısı ile anlaşmalar yapılmıştır.

2.3.3. Enerji Üretiminde Kullanılan Doğalgaz

Doğal Gaz temiz ve ekonomik bir enerji yakıtıdır ve büyük miktarda hidrokarbon içeren bir gaz karışımıdır. Metan (CH₄), Azot (N), Karbon dioksit vb. tüm gazlar atmosferin bir parçasıdır. Doğal Gaz, CO₂ emisyonunun azaltılması yoluyla karbon hacminin azaltılmasını teşvik etmek için maliyeti yönetebilen hidrokarbon enerji kaynaklarından biridir. Doğal Gaz, petrole göre daha fazla dağıtım çeşitliliğine sahiptir ve petrole göre daha fazla dağıtım çeşitliliğine sahiptir (Konak, 2019).

Doğal Gazın büyük bir yüzdesi, gaz üreten bölge ve ülkelerden (örneğin Norveç, Rusya, Katar, Hazar bölgesi ve Kuzey Afrika) onu tüketen bölge ve ülkelere taşınmaktadır. (ör. Japonya, Çin ve Avrupa). Doğal Gaz, ticari çekiciliği olan boru hatlarıyla bir yüzyıldan fazla bir süredir taşınmaktadır. Boru hatları, günümüz pazar ve arz koşullarına uygun olup, boru hattı projelerinin talep ettiği istikrar ve uzun vadeli arz ve çekiş güvenliğini sağlamaktadır. Bu nedenle, yüksek basınçlı boru hatları, üreticiler ve tüketiciler arasında güvenilir ilişkiler sağlamaktadır (Mokhatab ve Wood, 2007).

Doğal gaz ithalatına olan aşırı bağımlılığı, ödemeler dengesi ve yarattığı enerji güvenliği açıkları göz önüne alındığında, Türkiye'nin doğal gaz konusundaki kapsayıcı önceliğinin ithal gazın payını azaltmak ve diğer yerli enerji kaynaklarının payını arttırmak olduğu görülmektedir. Özellikle, Vizyon 2023 politikasının bir parçası olarak hükümet, elektrik üretiminde doğal gazın payını On Birinci Kalkınma Planı'na göre 2018'de %29,8'den 2023'e kadar %20,7'ye düşürmeyi hedeflemektedir (Taşkın ve Yılmaz, 2018).

Gaz piyasasının serbestleştirilmesi, Türkiye'nin ithalat bağımlılığını azaltma stratejisinin önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Bu amaçla, son yirmi yılda Türkiye, petrol ve elektrik gibi diğer sektörlerde olduğu gibi gaz piyasalarını da liberalleştirmek için iddialı bir çaba içerisine girmiştir. 2001 ve 2007 yıllarında doğal gaz yasalarında

yapılan değişiklikler bu çabaların temelini oluşturmaktadır. Piyasa reformu, lisanslar, tarifeler, piyasa sertifikaları, iletim şebekesi işletimi, dağıtım ve tüketiciler hizmetleri ve tesisler (altyapılar ve ekipman) ile ilgili ikincil mevzuatla desteklenmiştir. Doğal Gaz Piyasası Kanunu Temmuz 2008'de değiştirilerek hem spot hem de uzun vadeli LNG ithalatı serbestleştirilerek BOTAş'ın yeni LNG sözleşmeleri akdetmesine ve özel şirketlerin BOTAş'ın hâlihazırda ithalat anlaşmaları bulunan ülkelerdeki şirketlerle sözleşmeler yapmasına imkan tanınmıştır (Taşkın ve Yılmaz, 2018).

EPDK'nın 22 Aralık 2011 tarih ve 3577 sayılı Kurul Kararı ile toptan satış şirketleri tarafından uygulanan toptan satış fiyatlarının eşit taraflar arasında herhangi bir ayırım yapılmaksızın serbestçe belirlenmesi öngörülmektedir. İleriye bakıldığında, Türkiye gaz piyasasının liberalleşmesini ilerletmek için ek adımlar planlanmaktadır. Türkiye gaz piyasasında işlem gören ürün için mevcut 54 saatlik zaman ufkuna ek olarak 2, 5 ve 7 günlük ürünlerde işlemler Haziran 2020'de hayata geçirilmiştir. Market fiyat keşfini artırmayı ve piyasa oyuncularına riskten korunma araçları sağlamayı amaçlayan Doğal Gaz Vadeli İşlemler Piyasası mevzuatı, EPIAş ile iş birliği içinde hükümet tarafından hazırlanmaktadır (IEA, 2020).

Son olarak devlet, gaz piyasasına son are olarak bir tedarikçinin getirilmesi için gerekli yasal ve operasyonel hazırlıkları da yapmaktadır. Doğal gaz E&P faaliyetleri, 6491 sayılı Türkiye Petrolleri Kanununa göre MAPEG tarafından verilen E&P lisansları kapsamında yürütölmektedir. EPDK'dan alınan ilgili lisansa istinaden gaz üreticiler tarafından pazarlanabilmektedir. 2018 yılında Türkiye'nin doğal gaz rezervi 3,8 milyar metreküp olarak ölçölürken, aynı yıl TPAO'nun rezervi ise 1,9 milyar metreküp olmuştur (Hüseyin ve Güler, 2020).

Türkiye'nin doğal gaz üretimi sınırlıdır ve ağırlıklı olarak Trakya ve Batı Karadeniz bölgelerinden gelen küçük gaz sahalarıdır. Türkiye'de doğal gaz üretimi son yıllarda azalma eğilimindedir. Yeni gaz sahaları keşfedilmezse yakın gelecekte üretim tamamen duracağı düşünölmektedir. Bununla birlikte Trakya Havzasında tükenen doğal gaz sahalarının bir kısmı üretime son verildikten sonra depolama amacıyla kullanılabilir (IEA, 2020).

Türkiye, ithalat bağımlılığını azaltma çabalarının bir parçası olarak, konvansiyonel olmayan gazın yerli potansiyelini belirlemek için arama çalışmaları yürötmektedir. Türkiye'de ilk kaya gazı araması, daha detaylı değerlendirmeler yapmak için ek

alışmalara ihtiyaç duyulsa da potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Trakya Havzasında (Hamitabat formasyonu) ve Güneydoğu Anadolu Havzasında (Dadaş formasyonu) şeyl arama çalışmaları devam etmektedir. Akdeniz ve Karadeniz başta olmak üzere açık deniz gaz rezerv potansiyelinin belirlenmesine yönelik arama faaliyetleri de devam etmektedir (Hüseyin ve Güler, 2020).

21 Ağustos 2020'de, Karadeniz'deki Tuna-1 Bölgesi'nde TPAO tarafından Sakarya Gaz Sahası'nın keşfedilmiştir. Tahmini 320 milyar metreküp doğal gaz rezervi ile Türkiye tarihinin en büyük gaz keşfidir ve ülkenin yıllık gaz tüketiminin yaklaşık altı ila yedi yılına eşittir. Sahanın büyüklüğü ve açıklanan üretim hedefi tarihi (2023) göz önüne alındığında, orta vadede Türkiye'nin gaz ithalat bağımlılığını %36 ve enerji ithalat faturasını %10 oranında azaltabileceği ve Türk ithalatçılarının müzakere pozisyonunu iyileştirebileceği dşnlmektedir (Hüseyin ve Güler, 2020).

Türkiye'nin uzun vadeli gaz ithalat sözleşmelerinin çoğunun süresi dolmak üzereyken Türkiye'nin kuzeybatısındaki Zonguldak kömür havzasında ve diğer linyit havzalarında da kömür yatağı metan potansiyeli değerlendirmeleri devam etmektedir. Bu ve diğer alanlarda kömür yatağı metan üretimine izin vermek için Haziran 2016'da Türk Petrol Kanunu'nda bir değişiklik yapılmıştır. Kömür yatağı metan potansiyeli hakkında çalışmalar devam etmektedir. Bugüne kadar, kömür yatağı metan için bir üretim kiralaması yapılmıştır. En az 5 milyon TL (742 000 ABD Doları) tutarındaki sondaj yatırımları, ikinci yatırım bölgesinde uygulanan bölgesel teşviklerden yararlanabilmektedir (IEA, 2020).

2.4. Nükleer Enerji ve Türkiye'nin Planlanan Nükleer Geleceği

Nükleer enerji, 380.000 megawatt termal (MWe) toplam kapasitesi ile dünya elektriğinin yaklaşık %11'ini ve OECD lkelerindeki elektriğin %21'ini sağlayan, dünya çapındaki en önemli enerji kaynaklarından biridir. 31 ülkede faaliyet gösteren yaklaşık 440 ticari nükleer güç reaktörü bulunmaktadır ve yaklaşık 65 reaktör de halen yapım aşamasındadır (Akyüz, 2016). Hızla büyüyen ekonomisi ve nüfusu nedeniyle artan enerji talebini karşılamak için nükleer santral (NGS) inşa eden bu ülkelerden biri de Türkiye'dir.

Son altmış yıldır Türk hkmetleri, ülkenin kalkınması, özellikle enerji bağımsızlığı ve teknolojik ilerleme için gerekli olduğu gerekçesiyle bir nükleer enerji santralinin

inşasını savunmaktadır. Bu amaçla, 1970'lerde, Türkiye'nin ilk Nükleer Santrali'nin (NGS) inşası için Doğu Akdeniz kıyısındaki küçük bir körfez olan Akkuyu seçilmiştir. Ancak, 1970'lerin sonundaki ilk girişimler, çevre ve sağlık üzerindeki etkiler, atık yönetimi ve nükleer kaza riskleri gibi ekolojik karmaşıklık, belirsizlik ve geri çevrilemezlik, uzun süredir devam eden ve henüz çözülmemiş bir ekolojik dağıtım çatışmasına yol açmıştır (Konca, 2018).

Türkiye'nin enerji politikalarına, arz güvenliği, enerji fiyatlarının karşılanabilirliği ve rekabet gücü kaygıları hakim olmuştur. Bu endişeler hem enerji hem de çevre politikaları açısından ülke için bir dizi önemli zorluk ve sorumluluğu beraberinde getirmektedir. 75 milyonu aşan nüfusu ve yaklaşık 900 milyar dolarlık GSYİH'si ile Türkiye, kapsayıcı modernleşme ve ilerleme ideolojisi doğrultusunda, daha fazla enerji tüketimini ülkenin ekonomik ve sosyal kalkınmasının ön koşulu olarak görmektedir. Buna göre, Türkiye'nin enerji stratejisini şekillendiren iki ana eğilim vardır: enerji ve elektrik talebindeki hızlı artış ve ülkenin başta doğal gaz, petrol ve sert yakıt olmak üzere ithal fosil yakıtlara bağımlılığı. Günümüzde ülkede tüketilen tüm enerjinin yaklaşık yüzde 76'sı yurt dışından ithal edilmektedir (Konca, 2018).

Elektrik üretimi için durum, birincil enerji arzının dağıtımına benzemektedir. Eylül 2016 itibarıyla Türkiye, elektriğinin önemli bir bölümünü kömür ve doğal gazdan üretmektedir ve bunların büyük bir kısmı ithal olarak sağlanmaktadır. Türkiye'nin enerji sorununa fosil yakıtlar (özellikle yerli linyit) nükleer, hidro ve yenilenebilir kaynaklarla birlikte önemli bir katkı sağlayacaktır. Nitekim yukarıdaki stratejinin kökleri, 2007-2008 küresel ekonomik krizinin ardından 2009 yılında Yüksek Planlama Kurulu Sekreteryası tarafından yayınlanan Enerji Arz Güvenliği Stratejisine dayanmaktadır. Ülkenin cari açığı üzerinde oldukça önemli etkisi olan enerji kaynaklarında (özellikle hidrokarbonlarda) dışa bağımlılığı azaltmak amacıyla Türkiye yeni bir kömür arama planı hazırlamıştır. 2012'yi yeni bulunan linyit ile "Kömür Yılı" ilan edilmiştir. Türkiye'nin enerji stratejisi, ülkenin farklı bölgelerinde, yani Akkuyu, Sinop ve İğneada'da üç nükleer enerji santralinin (NES) inşa edilmesini gerektirmektedir.

NES 'nin inşa edilmesinden yana olan temel argüman, ülkenin ekonomik büyümesi için nükleer enerjiye ihtiyaç duyması ve daha da önemlisi, santrallerin Türkiye'nin modernleşme hedeflerinde bir kilometre taşı olması ve yüksek bir prestij kaynağı olarak görülmesidir. Ancak, Çernobil felaketinin yıkıcı etkilerini yaşayan Türkiye, çok aktif bir

nükleer karşıtı harekete sahiptir. Bir nükleer santralin inşası, işletmenin büyük ölçekli olması ve üst düzey teknik bilgi gerektirmesi nedeniyle kolay bir iş olmadığından, santrali inşa edecek ve işletecek özel bir şirket bulma girişimleri birçok kez başarısızlıkla sonuçlanmıştır (Şahin, 2011). Türk hükümeti, nükleer santrallerde klasik yap-işlet-devret yöntemlerinin işe yaramayacağını düşünerek 2010'da farklı bir yol izlemiştir. Böylece Akkuyu (2010'da) ve Sinop (2013'te) olmak üzere sırasıyla Rusya ve Japonya ile iki anlaşma imzalanmıştır (Aras, 2021).

Türkiye, enerji kaynakları bakımından zengin olmadığı için net enerji ithalatçısıdır. Bugün Türkiye 24,4 Mtep enerji üretirken 87,8 Mtep tüketmektedir. Türkiye'nin enerji ithalat oranı %72,21'dir. Türk hükümet yetkilileri, bunun 2012'ye kadar her yıl yaklaşık %8-10 oranında artacağını ve bunun da yaklaşık 51,65 GW kurulu güç üretim kapasitesi gerektireceğini öne sürmektedir. Bununla birlikte Türkiye'nin elektrik için hidrolik güç kapasitesi 245 milyar kWh ile sınırlıdır (Demirbaş, 2001).

Türkiye'nin sahip olduğu yenilenebilir enerji kaynakları gelecekteki enerji talebini karşılamada yetersiz kaldığı için Türkiye'nin nükleer enerjiye geçmesi kaçınılmazdır. Nükleer santrallerin kullanılabilirlik oranları diğer enerji türlerine göre daha yüksektir. Ayrıca gerekli önlemler alındığında güvenli bir enerji kaynağıdır. Türkiye de nükleer enerji üretimi için gerekli olan uranyum ve toryuma sahiptir (Ulutaş, 2005; Köktener, 2010). Nükleer enerji, Türkiye'nin sürdürülebilir enerji arzı geleceğinde çok önemli bir rol oynayacağı düşünülmektedir. Toplam kurulu gücü 5.000 MW olan nükleer santrallerin 2020 yılına kadar devreye alınması beklenmektedir (Aras, 2021).

Türkiye'deki nükleer santrallerde uranyum, toryum ve plütonyum gibi atomik yakıtlar kullanılabilir. Türkiye 9.129 ton uranyum rezervine ve 380.000 ton toryum rezervine sahiptir. Bu nedenle geleceğin nükleer yakıtı olarak toryum Türkiye için ayrı bir öneme sahiptir. Toryum rezervleri gerekli teknolojik adımlar atıldığı takdirde nükleer enerji üretimi için kullanılabilir (Unak, 2000). VVER-1200 tipi ilk nükleer santral Silifke yakınlarındaki Akkuyu bölgesinde inşa edilmesi planlanmaktadır. Deniz kenarında 8,9 km²'lik bir alanı kapsayan Akkuyu nükleer santral sahası, uluslararası kriterlere göre uygun görülmektedir (Aras, 2021).

2.5. Yenilenebilir Enerji Kaynakları

Nispeten kısa sürelerde yenilenebildikleri için doğada sınırsız miktarda bulunan enerjilerdir. Bunlar aynı zamanda “temiz” veya “geleneksel olmayan” kaynak olarak da bilinir, çünkü çevre üzerindeki etkileri yok denecek kadar azdır. 1973 petrol krizinden sonra geniş çapta kullanılması düşünülmüştür.

Günümüzde, yenilenebilir enerji üretimi genellikle daha pahalı olmasına rağmen gün geçtikçe yenilenebilir enerjinin maliyeti azalmaktadır. Güneş enerjisi, Rüzgâr enerjisi, Hidro enerji, Okyanus termal enerjisi, Gelgit veya Dalga enerjisi, jeotermal enerjiler yenilenebilir enerji kaynaklarına örnek olarak verilebilir (Gençoğlu, 2002: 57-64).

2.5.1. Rüzgâr Enerjisi

Güneşin yüzeyi ve atmosferi ısıtmasıyla oluşan sıcaklık ve basınç farkından dolayı hava akımı oluşmaktadır. Rüzgâr, hava kütlelerinin atmosfer ile dünya yüzeyi arasında yer değiştirmesiyle oluşmaktadır. Güneşin dünyaya gönderdiği enerjinin %1-2'si gibi küçük bir miktar rüzgâr enerjisine dönüşür (Aydın, 2013). Rüzgâr enerjisi, bol, temiz, çevreye duyarlı, erişilebilir, ekonomik, istihdam yaratıcı özelliği, arz güvenliğini artırması ve enerji bağımlılığını ortadan kaldırması nedeniyle güneş enerjisi kadar önemli bir enerji kaynağıdır.

Rüzgâr enerjisi, rüzgâr enerjisinin faydalı bir enerji formuna dönüştürülmesi olarak tanımlanabilir. Rüzgâr türbinleri, rüzgardaki kinetik enerjiyi türbinde dönme kinetik enerjisine ve daha sonra herhangi bir amaç için ulusal şebeke aracılığıyla sağlanabilecek elektrik enerjisine dönüştürmek için kullanılmaktadır. Dönüşüm için mevcut olan enerji, esas olarak rüzgâr hızına ve türbin kanatlarının süpürülen alanına bağlıdır (Pınar, Buldur ve Tuncer, 2020).

1986 yılında, bölgenin koşullarına bağlı olarak yılda yaklaşık 100.000 kWh üreten Çeşme Altın Yunus'ta Türkiye'nin ilk 55 KW'lık rüzgâr enerjisi santrali kurulmuştur (Özdamar, 2000). 1998 yılında Çeşme Germiyan'da ilk rüzgâr çiftliği kurulmuştur. REPA'ya (Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası) göre Türkiye normal bir rüzgâr potansiyeline sahiptir. Rüzgâr enerjisi santralleri (RES), en fazla potansiyele sahip olduğu için çoğunlukla Türkiye'nin batısında yoğunlaşmıştır (Turşucu ve Ülgen, 2019).

Türkiye Rüzgâr Enerjisi İstatistikleri Raporuna (2018) göre bölgelere göre işletmede olan RES'ler şu şekildedir: Ege %39,06, Marmara %33,74, Akdeniz %13,38, İç

Anadolu %8,56, Karadeniz %3,91 ve Güneydoğu Anadolu %1,35. Açık deniz rüzgâr potansiyeli, kara potansiyelinden nispeten daha düşüktür. Türkiye'nin ortalama rüzgâr potansiyeli 7,0 m/s ile 8,0 m/s arasındadır. Türkiye'nin rüzgâr enerjisi kapasitesi 47.849 MW'tır (29.259 MW iyi potansiyel, 12.994 MW mükemmel potansiyel, 5.400 MW üstün potansiyel ve 196 MW süper potansiyel). Bununla birlikte, henüz elde edilmemiş çok fazla rüzgâr potansiyeli vardır. Şu anda hizmette olan 164 rüzgâr santrali ve yapım aşamasında olan 26 rüzgâr santrali bulunmaktadır (Yanıktepe ve Osman, 2021).

2020 yılı itibarıyla Türkiye'nin toplam kurulu gücü 8.832 MW'dır. Türkiye'nin başarılı bir rüzgâr enerjisi stratejisi izlediği söylenebilir. Devletin yenilenebilir enerji hedefleri doğrultusunda rüzgâr enerjisi kapasitesini artırmış olup halen potansiyel işletmektedir. 10 yılda rüzgâr üretimini 146,3 MW'tan 47 kat artışla 6.872,15 MW'a çıkarabilir (TÜREB, 2018). 2000'li yıllardan bu yana, inşa edilen rüzgâr santrallerinin sayısı artmıştır. Ancak 2015'ten bu yana bürokratik engeller ve lisans sorunları nedeniyle bu ivme durmuştur (Yanıktepe ve Osman, 2021).

Rüzgâr santrali inşaatı Ocak 2012'den Temmuz 2015'e kadar artmıştır ancak hükümet kararları nedeniyle 2015'ten sonra yavaşlamıştır. 2019 ve 2020'de bazı inşaatlar tamamlanmıştır, ancak trend yavaşlamıştır. Üreticiler için lisanslama prosedürleri bir sorundur. Hükümet, YEKA adlı büyük ölçekli bir lisans programı başlatmış ve 2017'de Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ilk rüzgâr enerjisi ihalesini yapmıştır. Siemens, Türkerler ve Kalyon konsorsiyumu 1.000 MW'lık ihaleyi kWh başına 3,48 ABD doları sent bedelle kazanmıştır (DW, 2017). Konsorsiyum, 10 yıllık bir süre için, türbin üretimi, tesis yazılımı ve teknik araştırma da dahil olmak üzere rüzgâr enerjisinin çeşitli alanlarında Ar-Ge faaliyetleri yürütmeyi kabul etmiştir (Yanıktepe ve Osman, 2021).

1.000 MW'lık rüzgâr enerjisi için ikinci ihale, her biri 250 MW kapasiteli dört ayrı alanla (Balıkesir, Çanakkale, Aydın ve Muğla) 2019 yılında ilan edilmiştir. Rüzgâr enerjisi Pakistan'da muazzam bir potansiyele sahiptir. 2013 yılında ülke, Fauji Fertilizer Company Energy Limited'in (FFC) çabalarıyla 50 MW'lık ilk rüzgâr santralini kurmuştur (Ghafoor ve ark, 2016).

2.5.2. Rüzgâr Enerji Santralleri

Güneş, rüzgâr, biyokütle, jeotermal vb. enerji teknolojileri yenilenebilir enerji kaynakları olduğu için günümüzde daha da fazla önem kazanmaktadır. Yenilenebilir

enerji, ülkenin kırsal kesimleri başta olmak üzere birçok alanda ekonomik bir güç kaynağıdır (Gültekin, 2019).

Rüzgâr, güneş ışınlamından kaynaklanır. Dünya yüzeyinin farklı ısınması havanın hareketine neden olur. Rüzgâr enerjisi üretim uygulamalarının bazı dezavantajları vardır. Bunlar şöyledir;

- İlk yatırım maliyetinin yüksek olması,
- Düşük kapasite faktörleri,
- Değişken enerji üretimi.

Dezavantajlarının yanı sıra avantajları da vardır;

- Yenilenebilir, temiz ve çevre dostudur,
- Güvenilir, sürekli ve uygun maliyetli bir kaynaktır,
- Bakım ve işletme maliyetleri düşüktür,
- Tesis teknolojisi ve işletimi basittir,
- Devreye alma süresi çok kısadır.

Bu bilgiler doğrultusunda rüzgâr enerjisinden elektrik üretiminin fosil yakıtlara göre çok daha temiz ve ekonomik olduğu görülmektedir. Türkiye 36-42 kuzey enlemleri ile 26-45 doğu boylamları arasında yer almaktadır. Türkiye'de, yerden 50 m yükseklikte ve 7,5 m/s'nin üzerinde rüzgâr hızlarında, km alan başına 5 MW rüzgâr santrali kurulabilmektedir. Bu varsayımlar doğrultusunda, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı tarafından Orta ölçekli dijital hava tahmin modeli ve mikro ölçekli rüzgâr akış modeli kullanılarak üretilen rüzgâr kaynağı bilgilerini içeren Potansiyel Rüzgâr Enerjisi Haritası (PWEM), hazırlanmıştır (Gültekin, 2019).

Buna göre Türkiye'nin rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW olarak tahmin edilmektedir. Bu potansiyele eşdeğer toplam alan, Türkiye'nin toplam yüzölçümünün sadece %1,30'udur. Bugün rüzgâr tükettiği enerjinin yaklaşık %6'sını karşılayan ülkemizin ilk rüzgâr santrali 1985 yılında Çeşme'de 55 kw kapasite ile kurulmuştur. 1998 yılında Alaçatı'da 1,5 MW kapasiteli ikinci rüzgâr enerjisi santrali kurulmuştur (Pınar, Buldur ve Tuncer, 2020).

Bununla birlikte 1998 yılında Alaçatı'da 7.2 MW kapasiteli 12 türbinden oluşan bir başka rüzgâr enerjisi santrali daha kurulmuştur. Türkiye'de 10,2 MW kapasiteli üçüncü rüzgâr santrali 2000 yılında Bozcaada'da kurulmuş ve 600 kW gücünde 17 rüzgâr türbini bulunmaktadır (Kenisarın ve ark, 2006; Kaygusuz, 2002; Akkaya ve Gencer, 2007). 2000'li yılların başından itibaren rüzgâr enerjisine dayalı santrallerin kurulumları artmış ve günümüze kadar devam etmiştir.

Türkiye'nin yıllık ortalama rüzgâr enerjisi yoğunluğu (W/m²) ve rüzgâr hızı (m/s) değerleri bölgelere göre değişmektedir. Yüksek rüzgâr gücü yoğunluklarına bağlı olarak rüzgâr hızları Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu'da yüksek değerler almaktadır. Marmara bölgesi rüzgâr hızı değerlerinin en yüksek olduğu bölge olarak görünmektedir. Marmara bölgesinde yıllık ortalama rüzgâr hızları 3,29 m/s değerini almaktadır. Bu nedenle rüzgâr santralleri ağırlıklı olarak rüzgâr hızının yüksek olduğu Marmara, Ege ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde kurulmaktadır (Pınar, Buldur ve Tuncer, 2020).

2.5.3. Güneş Enerjisi

Geleneksel güç üretme yöntemi, çevreyi kirleten emisyonları ve sera etkisini artıran petrol ve doğal gazın yanmasına dayanmaktadır. Ayrıca, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından yapılan bir araştırma, dünya çapında iki milyardan fazla insanın ciddi bir elektrik sıkıntısı çektiğini ortaya çıkarmıştır. Güneş enerjisi temiz, bol, sessiz ve güzel, sınırsız ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır, ayrıca çevreyi kirleten emisyonları olmadığı için çevre dostudur (Camacho ve Berenguel, 2012).

Dünya yüzeyine ulaşan güneş enerjisi miktarı yaklaşık olarak $1,8 \times 10^{11}$ MW'dır. Bu enerji miktarı, mevcut ortalama enerji tüketiminden daha fazladır, bu da güneşin tüm gezegenin talebini karşılamaya yetecek kadar enerji ürettiği anlamına gelmektedir (Karamanav, 2007). Yirmi yıl öncesinden bugüne kadar, elektrik firmaları çabalarını, dünyayı nesiller boyu güvenli ve yenilenmiş tutmak için mükemmel bir seçim olarak yenilenebilir enerjiye adanmışlardır. Güneş radyasyonu yararlı ve pratik olan farklı formlara dönüştürülebilmektedir. Çoğu yenilenebilir enerji kaynağı, enerjisini doğrudan veya dolaylı olarak güneşten alır, örneğin, dalga ve rüzgâr enerjileri dolaylı olarak elde edilmektedir (Wahab ve ark. 2019).

Dünya güneş enerjisini emdiğinde, okyanus akıntıları ve rüzgarlar şeklinde yeryüzüne dağıtmaktadır. Ayrıca, güneş radyasyonu, denizlerdeki suyun buharlaşmasını uyarır ve

bu da sonunda yağmura yol açar ve hidroelektrik enerjisi adıyla enerji üretmek için kullanılabilecek akan su oluşturmaktadır. Ayrıca güneş ışınlarının yardımıyla fotosentez işlemi sayesinde biyoyakıtlar da üretilmektedir (Ajder, 2011).

Güneş enerjisi, yenilenebilir bir enerji kaynağı olarak en önemli rolü oynamaktadır. Diğer ülkeler gibi Türkiye de muazzam miktarda güneş enerjisi almaktadır. Türkiye'nin güney kesiminde insanlar çoğunlukla güneş enerjisinden elektrik üretmekte ve bunu ısınma kaynağı olarak da kullanmaktadır. 21. Yüzyıl için Yenilenebilir Enerji Politika Ağı'na (2018) göre Türkiye'de günde 7,2 saat ve yılda 2.460 saat güneş radyasyonu vardır. Bu diğer birçok Avrupa ülkesinden daha fazladır, ancak ne yazık ki şu ana kadar kullanılmamaktadır. Güneş enerjisi, tüketilen toplam enerjinin %0,7'sini ve toplam kurulu gücün %5,8'ini oluşturmaktadır (Karamanav, 2007).

Güneş enerjisi ve farklı teknolojileri, ülkenin enerji ihtiyacının büyük bir bölümünün karşılanmasında önemli bir kaynak olarak kabul edilebilir (Evrendilek ve Ertekin, 2003; Kılıçkaplan ve ark. 2017). Türkiye'de uluslararası şirketler için oldukça cazip bir güneş enerjisi piyasası vardır. Türk hükümeti, yerli üreticileri çekmek için 2017'de yeni bir vergi koymayı kabul etmiştir. Birincil motivasyon, vergi geliri elde etmek için sözleşmeler vermek ve kendi ülkelerindeki üretim kapasitelerinin büyümesini ödüllendirmektir.

Sonuç olarak, Haziran 2016'dan bu yana, Türkiye Ekonomi Bakanlığı diğer ülkelerden PV modüllerinin ithalatını katı bir şekilde kısıtlamıştır. Bununla birlikte, Çin'den modül ithalatı için ek bir anti-damping kuralı önerilmiştir. 1 Nisan 2017'de buna karşılık gelen bir yasa çıkarılmıştır. Ayrıca lisanssız güneş enerjisi santrallerinin (GES) cihaz kullanım ücretleri 1 Ocak 2018 itibarıyla üç katına çıkmıştır. Santrallerden elde edilen gelirlerin %20 oranında düşmesi beklenmektedir. Sonuç olarak hükümet, öncelikle Yenilenebilir Enerji Kaynak Alanları (YEKA) ve yerli modül üreticileri şeklinde güneş enerjisi üretimini onaylamıştır (Kaya, 2018).

Türkiye'deki Mevzuata göre, ideal koşullarda güneş enerjisi ile üretilen her kilowatt elektrik için 0,13 ABD doları kazanç vardır. Hâlihazırda 17.400 MW Kurulu güce sahip 700 santral YEKDEM'den (Yenilenebilir Enerji Kaynaklarını Destekleme Mekanizması) yararlanmaktadır. YEKDEM yerel piyasalara sözleşmeli veya günlük elektrik satışı yapmaktadır. TEİAŞ piyasa fiyatlarını ve garantili fiyatları kontrol

etmektedir. 2017 yılından sonra devlet ve yerel santrallerin işini kolaylaştırmak için hükümet güneş enerjisi lisanslamalarını sürdürmeye başlamıştır (Kaya, 2018).

Aralık 2015'ten Aralık 2020'ye kadar “ulusal tarife” uygulamalarına devam edilmiştir. Ancak, Türkiye'nin 21 bölgesinde geri ödeme gereklilikleri ile hesaplanan dağıtılmış enerji arasındaki dengesizlik tarifenin sürekli olarak uygulanmasını gerektirecek; aksi halde doğu kesimde elektrik tarifeleri batı kesime göre daha fazla olacaktır (Erdem ve Kadir, 2015). Bu, doğu kısmı için uygun değildir çünkü düşük ekonomik gelişme seviyeleri daha düşük elektrik fiyatları gerektirmektedir. EPDK, yerleşik, ticari kullanıcı ve sanayici tüketicilerin uygun olması ve yasal olarak kayıtlı olması durumunda karşılıklı sözleşmelerden daha yüksek olamayacak tarifeleri yönetmiştir (Cihan, 2019).

Merkezi olmayan güneş enerjisi satın alınarak bu harcamalar azaltılmaktadır. Hükümet de yerelleşme hareketlerinden etkilenmiş ve sonuç olarak daha verimli bir enerji sistemi oluşturmuştur. Dikey bütünleşme yerine, hükümet planlama ve yasama yoluyla daha yatay olarak dağıtılmış bir bütünleşme elde etmeye çalışmıştır. Sorumluluğu tek bir büyük şirketten birçok küçük şirkete devretmeyi başarmıştır, özelleştirmeyi teşvik etmiş ve daha rekabetçi bir piyasa yapısı sağlamıştır (Külekcı, 2009).

2.5.4. Hidrolik Enerji-Hidroelektrik Enerji

İnsanlar hidroelektrik enerjisini uzun süredir, çoğunlukla tarım veya sulama amaçlı olarak kullanmışlardır. İlk hidroelektrik santrali 1902'de inşa edilmiş ve hızla Türkiye için önemli bir yerli enerji kaynağı haline gelmiştir. Bayındırlık Bakanlığı tarafından 1930'larda başlatılan hidroelektrik santralleri Elektrik İşleri Planlama ve Etüt İdaresi (EİE), Türkiye'nin enerji talebini değerlendirmek, hidroelektrik ve diğer kaynak potansiyelini geliştirmek amacıyla 1935 yılında kurulmuştur (Erdoğan, 2011).

1954 yılında ise Devlet Su İşleri (DSİ) kurulmuştur. DSİ'nin temel amacı, hidroelektrik santralleri ve barajlar inşa ederek ve işleterek su kullanımını arttırmaktır. 2004 yılına kadar DSİ ve kamu sektörü 537 baraj ve 133 hidroelektrik santral inşa etmiştir (Öztürk, 2009). Halihazırda 645 hidroelektrik santrali bulunmaktadır (524 nehir tipi, 118 hidro baraj) (TEİAŞ, 2019). Türkiye'nin hidroelektrik kapasitesinin yaklaşık 45.000 MW ve 140 TWh/yıl olacağı tahmin edilmektedir; bu, küresel kapasitenin %1'ini ve Avrupa kapasitesinin %14'ünü oluşturmaktadır (Erdoğan, 2011).

Hidroelektrik, kömür ve doğal gazın yanı sıra Türkiye'nin ana enerji kaynaklarından biridir. 1980'lere kadar elektrik üretmek için yaygın olarak kömür ve hidroelektrik kullanılmaktadır (Greenpeace, 2015). 1990'lı yıllarda doğal gazın yaygınlaşmasıyla birlikte sonraki yıllarda her iki kaynağın da payı azalmaya başlamıştır (Erdoğan, 2011). 2005 yılında Küçük Hidroelektrik (SHP), rezervuar alanı 15 kilometrekareden az olan bir hidroelektrik santrali olarak tanımlanmıştır. YEKDEM kapsamında kaynaklara göre elektrik üretimini (MWh) göstermektedir. Bu terim, daha sonra FIT mekanizması ile desteklenebilecek özel sektör tarafından bir fabrika kurulmasına izin vermektedir. Hükümet, 2010 yılında küçük ölçekli hidroelektrik santrallerini özelleştirmeye başlamıştır (Greenpeace, 2015).

YEK düzenlemelerinin ve diğer değişikliklerin yürürlüğe girmesinin ardından, hidroelektrik projeleri önemli ölçüde ilgi görmüştür. HES sahipleri, yerli malı kullanmaları halinde kilowatt saat başına 7,3 ABD doları artı ekstra prim ödeyen FIT mekanizmasından yararlanmıştır. On yıl içinde kurulu kapasite neredeyse ikiye katlanmıştır (IRENA, 2018). Ocak 2019 itibarıyla işletmede olan 642 hidroelektrik santrali bulunmaktadır (TEİAŞ, 2019). Tüm YEK'ler arasında en fazla elektriği hidroelektrik üretmektedir. Son yıllarda, hidroelektrik enerji talebi dalgalanmıştır. Hidroelektrik sonunda rüzgâr ve güneş gibi diğer RES ile değiştirilmiştir. Kısa vadeli oynaklığa rağmen, uzun vadede hidroelektrik üretimi artmaktadır. Hükümet, 2023 yılına kadar toplam 32.000 MW Kurulu güce sahip olmayı hedeflemiştir. DSİ, 2030 yılına kadar 127,8 TWh'ye ulaşmayı hedeflemektedir (Öztürk ve diğerleri, 2009) ve Greenpeace (2015), hidroelektrik elektrik üretiminin 2050 yılına kadar %30 artacağını tahmin etmektedir.

2.5.5. Jeotermal Enerji

Artan nüfusla birlikte enerji ihtiyacının karşılanması, kirlilik ve iklim değişikliği ile mücadele gibi nedenlerle sürdürülebilirlik kavramı uluslararası gündemde ön plana çıkmıştır. Bu kapsamda, küresel ısınmanın sınırlandırılması ve sera gazı emisyonlarının azaltılması gibi temel hedefleri içeren Paris Anlaşması, 4 Kasım 2016 tarihinde 196 ülke tarafından kabul edilmiştir. Anlaşma, iklim değişikliğiyle mücadele için yasal olarak bağlayıcı ilk uluslararası anlaşma olması nedeniyle bir kilometre taşıdır (Lund ve Toth, 2021).

Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) (2021), iklim değışikliğı sorununun öncelikle bir enerji sorunu olduğunu ve politika yapıcılarının iklim değışikliğiyle ilişkili riskleri azaltmak için yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneldiğini iddia etmektedir. IEA'nın Global Energy Review raporuna göre, 2021'de yenilenebilir enerjiye olan küresel talep %3 artmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji, temel olarak termal enerjinin yüzeyin altında kalan ve enerji üretmek için kullanılan kısmını ifade etmektedir (Manzella ve ark. 2019). Jeotermal enerji yer altı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözünmüş mineral, tuz ve gaz içermektedir.

Jeotermal enerji kaynaklarının dünyadaki oransal dağılımı ve iklim koşullarından daha az etkilenen bir enerji türü olması yenilenebilir enerji kaynağı olarak tercih edilme avantajına sahiptir. Jeotermal sistem, yerkabuğunun derinliklerindeki ısı kaynağı, ısı taşıyan akışkan, akışkanı içeren rezervuar kaya ve ısı kaybını önleyen örtü kayadan oluşmaktadır. Yer kabuğundaki sığ derinliklere ve yerkürenin merkezinde tektonizmanın oluşturduğu kırıklı zonlardan yer yüzeyine ulaşan magma faaliyetleri, jeotermal sistemin ısı kaynağını oluşturmaktadır. Derinlemesine ısıtılan su, gözenekli ve geçirgen olan rezervuar kayasında toplanır (Arslan ve ark., 2001).

Bu suyun bir kısmı fay hattı boyunca yükselir ve jeotermal kaynakları oluşturmak üzere yeryüzüne ulaşır. Çevresi geçirimsiz örtü kayası ile çevrili olduğu için yeryüzüne ulaşamayan rezervuar kayasındaki jeotermal akışkan sondaj yapılarak yeryüzüne getirilir (Arslan ve ark., 2001). Dünyadaki yüksek sıcaklık kuşakları, levha sınırlarında, volkanik faaliyetlerin ve depremlerin yaygın olduğu bölgelerde yer almaktadır (Kervankıran, 2012). Jeotermal enerji açısından önemli kuşaklar ve ülkeler şu şekildedir;

- And volkanik kuşağı; Venezuela, Kolombiya, Ekvador, Peru, Bolivya, Şili ve Arjantin'i kapsar. Aktif volkanizmanın varlığı nedeniyle yüksek sıcaklıkta jeotermal kaynaklar bulunmaktadır.
- Alp-Himalaya kuşağı; İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Myanmar ve Tayland'ı içerir. Dünyanın en büyük jeotermal kuşaklarından biridir.
- Doğu Afrika Rint sistemi; Zambiya, Malavi, Tanzanya, Uganda, Kenya, Etiyopya ve Cibuti'yi kapsar. Aktif bir sistemdir.
- Karayip Adaları

- Orta Amerika volkanik yayı; Guatemala, El Salvador, Nikaragua, Kosta Riko ve Panama'yı içerir (Ilgar, 2005).

Yüzyıllardır jeotermal enerji ısıtma, tedavi, banyo yapma, yemek pişirme, tuz üretme gibi amaçlarla kullanılmaktadır (Stober ve Bucher, 2021). Roma ve Osmanlı İmparatorluğu'nda şehirlerde halka açık sıcak su havuzları bulunmaktadır. Bu havuzlar kültürel ve kamusal alanların yanı sıra kişisel hijyenin sağlandığı yerlerdir. Ayrıca birçok medeniyet termal suyu şifalı olarak değerlendirmiştir. Termal su ilk kez 14. yüzyılda Fransa'nın Chaude Aigues kentinde konut ısıtması için kullanılırken (Barbier, 2002), enerji üretimi için kullanımı ise 19. yüzyılın ikinci yarısına kadar başlamamıştır. 1827 yılında kuzey İtalya'nın Lardello bölgesinde jeotermal enerjiye sahip ilk düşük basınçlı buhar kazanı inşa edilmiş ve 1904 yılında buhar motoru kullanılarak ilk elektrik enerjisi üretilmiştir.

1909'da İzlanda'nın Reykjavik kentinde ilk ev ısıtma sistemi kurulmuştur (Barbier, 2002). 1913 yılında Lardeolla'da jeotermal enerji kaynağına sahip ilk elektrik santrali açılmıştır. 1920'lerde jeotermal enerji Reykjavik'te evleri ve seraları ısıtmak için yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır (Stober ve Bucher, 2021). 1950'lerde jeotermal enerjinin kullanımı yaygınlaşmış ve Yeni Zelanda jeotermal kaynakları ticari kullanım için değerlendirmeye başlamıştır. 1960'lı yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde jeotermal kaynaklardan elektrik üretilmeye başlanmış ve ısı pompaları yaygınlaşmıştır. Günümüzde birçok ülkede jeotermal enerji santralleri bulunmaktadır. IEA Jeotermal Raporuna (2020) göre son 5 yılda yıllık 500 MW kapasite artışı olmuştur ve bu artışların kaynağı genellikle gelişmekte olan ülkelerdir (Stober ve Bucher, 2021).

Jeotermal enerji alanları sıcaklıklarına göre üç temel gruba ayrılmaktadır ve kullanım alanları sıcaklık değerlerine göre değişmektedir.

1- Sıcaklığı 20 °C ile 70 °C arasında olan alanlar düşük sıcaklık bölgeleri olarak kabul edilmektedir. Balık çiftliklerinde sıcaklığın 20 °C olduğu bölgelerde jeotermal enerji kullanılmaktadır. Sıcaklık arttıkça jeotermal enerji sırasıyla yüzme havuzlarında, fermentasyonlarda, damıtma tesislerinde, toprak ısıtma faaliyetlerinde, mantar yetiştiriciliğinde, hamamlarda, seralarda, ahırlarda, kümeslerde ısıtma ve soğutma amaçlı kullanılmaktadır.

2- 70 °C ile 150 °C arasında sıcaklığa sahip alanlar orta sıcaklıklı alanlardır. Bu alanlarda soğutma, toprak ve sera ısıtma, balık, organik madde ve çimento kurutma, damıtma yoluyla sıcak su elde etme, şeker ve tuz sanayi, konserve, çiftlik ürünlerinin kurutulması, alüminyum üretimi gibi faaliyetler gerçekleştirilmektedir.

3- 150 °C ve üzeri sıcaklığa sahip alanlar yüksek sıcaklıklı alanlardır. Bu alanlarda jeotermal enerjiden kereste ve balık kurutmada, diatomitlerin kurutulmasında, ağır su ve hidrojen sülfür üretiminde ve elektrik üretiminde kullanılmaktadır (Külekçi, 2009; Arslan ve ark, 2001, Barbier, 2002).

Jeotermal enerji kullanımları, elektrik üretimi ve doğrudan kullanım olarak ikiye ayrılmaktadır. 150 °C 'nin altındaki alanlar direkt kullanıma, üzerindeki alanlar ise elektrik üretimine uygundur. Barbier (2002), doğrudan kullanım için bir sıcak su dağıtım şebekesinin kurulması gerektiğini iddia etmektedir. Jeotermal santrallerde elektrik üretilir. Birçok ülke jeotermal enerjiden doğrudan kullanım veya elektrik üretimi olarak faydalanmaktadır.

3. TÜRKİYE’ DE ENERJİ KAYNAKLARININ GÖRÜNÜMÜ VE HİBRİT KULLANIMI

3.1. Enerji Sistemleri

Enerji sistemleri, ulaşım, sağlık, iletişim, bilgi teknolojisi, otomotiv, konut ve endüstriyel tüketiciler gibi çeşitli kamu sektörlerinde gelişme ve büyümede önemli bir rol oynamaktadır. Hızlı sanayileşme ve büyüme nedeniyle elektrik talebi sürekli artmaktadır. Sınırlı kaynaklarla farklı lokasyonlarda büyük miktarda talebi karşılamak zorlu bir iştir. Enerji sisteminin temel olarak üretim, iletim, dağıtım ve tüketim olmak üzere dört ana bileşeni vardır. Elektrik üretimi için enerji kaynakları birincil olarak kullanılan bileşenlerdir. Yenilenebilir ve yenilenemez olmak üzere iki bölüme ayrılmaktadırlar. En sık kullanılan yenilenebilir enerji kaynakları güneş, rüzgâr, hidro, jeotermal, biyokütle, gelgit ve yenilenemeyen kaynaklar kömür, petrol ve doğal gazdır (Çakmak, Kurban ve Dokur, 2020).

Yenilenemeyen enerji kaynakları, çevreye olan zararlı etkileri, sınırlı miktarda ve daha uzun sürede yenilenmesi nedeniyle günümüzde enerji üretiminde ilk tercih olarak tercih edilmemektedir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise sürdürülebilirlik, çevre dostu üretim, yerel enerji üretimi ve ücretsiz bulunabilirlik gibi birçok fayda nedeniyle ilgiyi arttırmıştır. Günümüzün teknolojik yenilikleri, elektrik üretim ve dağıtım sistemlerindeki zorluklara çözüm getirmektedir. Enerji üretiminin dağıtımına yönelik süreçinde güvenilirlik, şebeke altyapıları, dağıtık enerji kaynaklarının entegrasyonları, verimlilik ve çevre düzenlemeleri parametreler önemlidir (Kumbur ve ark. 2005).

Enerji sektöründe hibrit terimi faydaları nedeniyle önem kazanmaktadır. Tek bir enerji kaynağının kullanılması yerine iki veya daha fazla enerji kaynağının birlikte kullanılması Hibrit Enerji Sistemleri olarak adlandırılır. Bu sistemler uzak yerlerde, özellikle yerel alanlarda elektrik üretimi için daha etkilidir. Ayrıca, her bir enerji kaynağı herhangi bir karmaşık ağ altyapısı olmaksızın etkin bir şekilde kullanılabilir. Son zamanlarda ortaya çıkan teknolojiler, bağımsız izole edilmiş şebekeler oluşturmak için farklı yenilenebilir enerji kaynaklarını entegre etmek için daha kullanışlıdır (Akyüz, 2010).

Hibrit enerji sistemindeki enerji kaynaklarının davranışını anlamak için, farklı çevre koşullarında her bir kaynak üzerinden güç üretiminin doğru verilerini izlememiz gerekir. İzleme sistemleri, tesislerin ve şebeke hizmeti işlevinin performansını ve güvenilirliğini iyileştirmek için enerji yönetim sistemlerinin (EMS) önemli bir parçasıdır. Enerji üretimi, dağıtımı ve iletimi doğrudan maliyetle ilişkilidir, bu nedenle bireysel enerji kaynaklarının performansını ve güvenilirliğini anlamak gerekir. Bir EMS, karmaşık enerji sistemlerini optimize ederken tüketicilere olduğu kadar hizmet tedarikçilerine de daha fazla fayda sağlamaktadır (Akyüz, 2010).

3.2. Türkiye’de Enerji

Ülkenin sosyal ve ekonomik gelişimi nedeniyle, Türkiye’de enerjiye ve özellikle elektriğe olan talep hızla artmaktadır. Türkiye’nin doğal enerji kaynakları oldukça çeşitlidir; örneğin taşkömürü, linyit, asfalt, petrol, doğal gaz, hidro, jeotermal, odun, hayvan, bitki atıkları, güneş ve ikincil enerji kaynakları, kok ve briketler. Bu kaynaklar ülke içinde üretilmekte ve tüketilmektedir. Türkiye büyük fosil yakıt rezervlerine sahip değildir. Bu nedenle gelecekte petrol, doğal gaz ve hatta kömürde öngörülen talebi karşılamak çok zor olacak gibi görünmektedir (Satman, 2007).

Türkiye’nin ana fosil enerji kaynağı, yıllardır yerli olarak üretilen ve ülkenin toplam enerji tüketimindeki payı yaklaşık %24 olan kömürdür. Ağırlıklı olarak enerji üretimi, çimento üretimi ve çelik üretimi için kullanılır. Türkiye dünyanın en büyük linyit üreticilerinden biridir. Bu, ağırlıklı olarak, 7339 milyon ton linyitin ekonomik olarak kullanılabilir olduğu Güneybatı ve Güneydoğu Afşin-Elbistan Havzası yataklarından gelmektedir. (Kocaman, 2019).

Türkiye’nin coğrafi konumu, yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğunun yaygın kullanımı için çeşitli avantajlara sahiptir. Avrupa’nın büyük bölümünü, yakın doğuyu ve batı Asya’yı içine alan nemli ve sıcak iklim kuşağı üzerindedir. Demografik projeksiyonlar ve ulusal enerji talebi ile üretim arasındaki büyüyen fark, Türkiye’nin ulusal enerjide önemine etki etmektedir. Türkiye’nin yenilenebilir enerji kaynakları bol ve kapsamlıdır. Yenilenebilir enerji üretimi, toplam birincil enerji arzının yaklaşık %14,4’ünü oluşturmaktadır ve yenilenebilir kaynaklar, kömürden sonra ikinci en büyük yerli enerji kaynağını temsil etmektedir (Yılankırkan ve Doğan, 2020).

Temiz, yerli ve yenilenebilir enerji sadece Türkiye için değil tüm dünya için geleceğin anahtarı olarak kabul edilmektedir. Bunun başlıca nedeni, yenilenebilir enerji kaynaklarının fosil yakıtlara göre bazı avantajlarının olmasıdır. Türkiye, enerji tüketiminde fosil yakıtların payını azaltmak için yeni uzun vadeli enerji stratejileri benimsemek zorundadır. Hava kirliliği önemli bir sorundur ve hükümetin tahminlerinin gösterdiği gibi, mevcut eğilimler devam ederse karbon emisyonları keskin bir şekilde artabilir (Yılankırkan ve Doğan, 2020).

Türkiye, petrol ve gaz zengini Hazar bölgesini Akdeniz'e ve Batı'nın talep merkezlerine bağlayan bir geçiş ülkesi olarak coğrafi konumundan yararlanmaya çalışmaktadır. Çeşitli boru hattı projeleri yapım aşamasındadır. Birçok tüketici ülkede arz çeşitliliği ve güvenliği üzerinde olumlu bir etkiye sahip olabilmektedir. Ayrıca İstanbul Boğazı'ndan geçen deniz yollarında daha fazla çevresel baskının önlenmesine yardımcı olabileceği düşünülmektedir (Harunoğulları, 2020).

Hidroelektrik enerjisi ve çevredeki denizler, Türkiye'nin ana potansiyel yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Ayrıca Batı Anadolu'nun yüzeyinin altındaki jeotermal enerji; Batı, Doğu ve Orta Anadolu'da bulunan rüzgâr ve güneş enerjisi ile Anadolu'da bol miktarda bulunan toryum ve uranyum cevherlerinin nükleer enerjisi ve Karadeniz'in denizaltında biriken hidrojen potansiyeli Türkiye'deki diğer potansiyel yenilenebilir enerji kaynaklarıdır. Bu bağlamda, Türkiye'de yenilenebilir enerji araştırmalarının ana alanları hidroelektrik, güneş termal, rüzgâr, jeotermal, fotovoltaik enerji ve hidrojen enerjisi, yakıt pilleri vb. gibi yeni programlardır (Harunoğulları, 2020).

3.3. Türkiye'de Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, daha verimli üretim süreçleri ile çevresel iyileştirme, yakıt çeşitliliğinin artması, enerji fiyatlarındaki oynaklığın ekonomi üzerindeki etkilerinin azaltılması, ulusal ekonomik güvenlik ve ekonomik üretkenliğin ve GSYİH'nın artması gibi çok sayıda kamu yararı oluşturmaktadır. Fosil yakıt kaynaklarına aşırı derecede bağımlı bir dünya ve sera gazlarının (GHG) neden olduğu zararın yeni bir şekilde anlaşılmasıyla, sürdürülebilir bir gelecek oluşturmak için yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerektiği giderek daha açık hale gelmektedir (Güllü ve Kartal, 2021).

Yenilenebilir enerjiler, enerjinin kaynağının güneşin olduğu enerjiler (Güneş Enerjisi) ve başka bir kaynaktan geldiği enerjiler (Güneş Dışı Enerjiler) olarak ikiye ayrılabilir. Güneş enerjileri biyokütle, biyoyakıt, güneş enerjisi, hidro enerji ve rüzgâr enerjisini içermektedir. Yenilenebilir Güneş Dışı enerjiler, gelgit enerjisi ve jeotermal enerjiyi içermektedir. Türkiye'de hemen hemen her türlü enerji kaynağı mevcuttur. Ancak linyit ve hidrolik enerji dışındaki bu kaynaklar ülkenin enerji ihtiyacını karşılamaya yetmemekte; dolayısıyla bu ihtiyacın yarısından fazlası ithal enerji ile karşılanmaktadır (Koç, 2021).

Türkiye'nin bulunduğu güneş kuşağına bağlı olarak elektrik üretimi açısından teknik güneş enerjisi potansiyeli 6105 TWh/yıl ile çok yüksek olup, bunu 290 TWh/yıl tahmini değeri ile rüzgâr enerjisi potansiyeli takip etmektedir. Biyokütle, jeotermal ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının diğer yaygın enerji kaynakları kadar ekonomik olarak kullanılabilir olduğu görülmektedir (Koç, 2021).

3.3.1. Türkiye’de Biyokütle ve Biyoyakıt

Biyokütle, enerji üretim endüstrisi için, bir zamanlar canlı bir organizma olan ve yenilenebilir enerji üretiminde kullanılabilen odun, metan üreten atık, şeker kamışı, yaprak, çöp veya palmye gibi ağaçlar gibi herhangi bir malzemedir. Biyokütle, biyokütle tipine ve gereken yakıt tipine bağlı olarak birkaç farklı yöntem kullanılarak biyoyakıtı dönüştürülebilir. Biyokütle genellikle elektrik üretimi için türbinlere güç sağlamak üzere buhar üretmek için ham ürün olarak yakılır. Farklı yenilenebilir enerji türleri arasında, biyokütle enerjisi Türkiye'deki en önemli kaynaklardan biridir (Atelge, 2021).

Türkiye'nin yurtiçi enerji tüketimi, toplam enerji tüketiminin yaklaşık %37'sini oluşturmaktadır. Bunun yaklaşık %52'si biyokütle bazlı yakıtlardan kaynaklanmaktadır. Türkiye'de biyokütle, orman ve tarımsal kalıntılara dayalı gelişmiş kırsal enerji hizmetleri sağlamak için büyük bir potansiyele sahiptir. Tahıl tozu, buğday samanı ve fındikkabuğu gibi çeşitli tarımsal artıklar ve evsel katı atıklar enerji kaynağı olarak Türkiye'de ekonomik olarak mevcuttur. Türkiye'nin önemli biyokütle enerji kaynaklarının ve hayvansal katı atıkların potansiyeli belirlenmiş ve bunların termal üretim sistemlerinde elektrik ve termal enerji üretmek için bir yakıt kaynağı olarak potansiyelleri incelenmiştir (Ayan, 2022).

Biyokütle enerjisinin Türkiye'deki en önemli kaynaklardan biri olması nedeniyle tarımın önemi giderek artmaktadır. Tarımsal faaliyetler, örneğin zeytin, pamuk çekirdeği, ayçiçeği, fındık vb. yenilebilir yağlar gibi endüstriyel ürünlerin üretiminde kullanılan endüstriyel bitkilerin üretimine yoğunlaşmıştır. Bu gıda işleme endüstrileri, enerji için kullanılabilecek büyük miktarlarda artıklar üretir. Türkiye'deki mevcut tarımsal ve hayvansal atıkların kabaca Türkiye'deki enerji tüketiminin %22-27'sine eşit olduğu tahmin edilmektedir (Sinem ve Yavuz, 2022).

Tarımsal artıkların kullanımı olumsuz toprak-karbon etkilerine sahip olabilir (toprak yüzeyinden organik materyalin uzaklaştırılması). Bununla birlikte, odunsu veya çimenli enerji bitkileri, işlenen topraklara ekilirse toprak karbonunu artırabilir. Tarımsal atık kullanımı Türkiye'de bazı endüstrilerde küçük ölçekte zaten mevcuttur. Ancak, biyokütle enerjisinin önündeki mali ve teknik engeller ile Türkiye'deki mevcut petrol ve gaz fiyatları ve yetersiz politika/piyasa enstrümanları nedeniyle, özel sektör henüz biyokütle ve atık yakıtlı enerji santrallerine ciddi bir ilgi göstermemektedir (Sinem ve Yavuz, 2022).

Türkiye'de uzun yıllardır doğrudan yakma işleminde yakacak odun, hayvan atıkları, tarımsal ürün artıkları ve tomruk atıkları kullanılmıştır. Bu kaynaklar genellikle ticari olmayan enerji kaynakları olarak adlandırılır, ancak Türkiye'de yakacak odun, kırsal ve kentsel yoksul mahalleler için birincil yakıt olduğundan ticareti yapılabilir bir topluluktur. Sıvılaştırılmış petrol gazlarının (LPG) tüketimi sürekli arttığından, toplam enerji ile karşılaştırıldığında orman biyokütlesi tüketimi son on yılda %22'den %14'e düşmüştür. LPG pahalı değildir, taşınması ve yakılması kolaydır, ayrıca temiz bir yakıttır (Yılmaz, 2019).

Odunun LPG'ye kıyasla sera gazı faydaları olmasına ve yenilenebilir ve yerel olmasına rağmen, LPG muhtemelen daha temiz yanan bir yakıttır (yeni odun sobalarından çıkan emisyonlara bağlıdır). Geleneksel yakıtlar kırsal alanlarda baskındır; biyokütle enerjisinin tamamına yakını kırsal kesimde yaşayan insanların ısınma, temizlik ve yemek pişirme ihtiyaçları için ev sektöründe tüketilmektedir. Türkiye'nin ilk biyokütle enerji projesi 45 MW Kurulu güçle Adana ilinde geliştirilmektedir. Mersin ve Tarsus illerinde toplam 30 MW kapasiteli diğer ikisi fizibilite çalışması aşamasındadır (Yılmaz, 2019).

ABD'li bir firma tarafından, Ankara Mamak'ta çöpten çıkan çöp gazını kullanacak 10 MW kapasiteli YİD (yap, işlet ve devret) elektrik santrali kurması planlanmaktadır. İstanbul, İzmir, Bursa, Adana, Antalya gibi büyük belediyelerde de benzer bir potansiyel vardır. Kullanılabilir biyokütleden elektrik üretimi (yaklaşık 17 Mtep/yıl) kişisel ve kurumsal gelirden 4.4 milyar dolarlık net etkiye sahiptir ve 160.000'den fazla istihdamı temsil etmektedir. Biyokütleyi kimyasal olarak piroliz yağına dönüştürmek için ısı kullanılır. Katı biyokütle malzemeye göre depolanması ve taşınması daha kolay olan petrol, daha sonra elektrik üretmek için petrol gibi yakılmaktadır (Karaaslan, 2019).

3.3.2. Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi

Artan güç talebi ve konvansiyonel yakıt kaynaklarının tükenmesi, dünyayı yenilenebilir enerjiden sürdürülebilir bir şekilde elektrik üretmeye zorlamaktadır. En uygun maliyetli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri rüzgâr enerjisidir. Rüzgâr enerjisi üretimindeki keskin artış, tüm dünyada kolaylıkla tespit edilebilir ve Türkiye de bir istisna değildir. Türkiye, yenilenebilir enerji ihtiyacını karşılamak için ilk adım olarak 2015 yılına kadar 12 GW'lık rüzgâr enerjisi üretiminin inşasına izin vermiştir. Ülkenin batı bölgesi büyük rüzgâr potansiyeline sahiptir. Türkiye'nin üç sınırı denizlerle, batıda Ege Denizi, kuzeyde Karadeniz, güneyde Akdeniz ve iç deniz olarak Marmara ile çevrilidir (Barlas, 2019).

Ege, Marmara ve Doğu Akdeniz kıyıları yüksek rüzgâr potansiyeline sahiptir. 12 GW'lık yeni rüzgâr enerjisi üretimi öncelikle Türkiye'nin batı bölgeleri, güney bölgelerinde inşaa edilmiştir. Rüzgâr çiftlikleri, geleneksel enerji santrallerininkine benzer kontroller gerektirmektedir. Geleneksel enerji santralleri gibi rüzgâr çiftlikleri için güç kalitesi, sistem voltajının ve frekansının düzeyine ve dalgalanmasına yansımaktadır. Şebeke bozulmaları anında, bir elektrik santrali çok hızlı tepki vermeli ve şebekeyi gerektiği gibi desteklemelidir (Barlas, 2019).

Konvansiyonel enerji santralleri için voltaj ve frekans kontrolü ve uyarım sistemi yanıtları tarafından kolayca sağlanabilmektedir. Ancak, büyük miktarda yenilenebilir enerjinin entegrasyonu, iyi planlanmadığı takdirde, voltaj ve frekans kontrolünün etkinliğini değiştirecek ve bu da büyük ölçekli elektrik kesintilerine yol açabilecektir. Şebekeye gerekli desteğin sağlanabilmesi için şebeke kodlarına ek gereklilikler eklenmelidir (Ünsal, 2019).

3.3.3. Türkiye’de Güneş Enerjisi ve Fotovoltaik (PV)

Türkiye konumu itibariyle oldukça zengin bir güneş potansiyeline sahiptir. Güneş enerjisi değerlendirmelerine göre, Güneydoğu Anadolu Bölgesi Türkiye'nin en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir ve Akdeniz Bölgesi, Türkiye'nin ikinci en yüksek güneş enerjisi potansiyeline sahiptir. Bu yüksek potansiyele rağmen güneş enerjisi üretimi ancak düz plaka güneş kolektörleri ile gerçekleştirilmektedir. Sıcak su üretmek için çoğunlukla güneşli kıyı bölgelerinde kullanılır (Bolat, Arifoğlu ve Demiryürek, 2020).

Kurulu güneş kolektörü alanı 2001 yılında 7,5 milyon m² ve 2011 yılında 12 milyon m² olarak kaydedilmiştir. Akdeniz ve Ege bölgelerinde yaygın olarak kullanılan bu kolektörlerden 2001 ve 2011 yıllarında sırasıyla 290 ve 450 ktep/yıl civarında ısı enerjisi sağlanmıştır. Zengin potansiyel nedeniyle Türkiye'nin diğer bölgelerinde de güneş enerjisinden faydalanmak mümkündür. Güneş enerjisinden elektrik üretimi, PV ve güneş kolektörleri ile gerçekleştirilmektedir. Ne yazık ki, PV'lerin kurulum maliyetleri yüksektir; dolayısıyla günümüzde ekonomik bir kullanımları mevcut değildir.

Türkiye'de Çevre ve Orman Bakanlığı (orman gözetleme kuleleri), Türk Telekomünikasyon Şirketleri (transfer istasyonları), Karayolları Dairesi Başkanlığı (acil çağrı, trafik yönetim sistemleri), EİE (demonstrasyon uygulamaları) ve çeşitli araştırma dernekleri (çoğu şebekeden bağımsız) 300 kW'lık ortak bir kurulu PV kapasitesine sahiptir. Almanya, Avrupa'da 1229 MWe (2008) ile en fazla kurulu fotovoltaik güce sahiptir ve ayrıca Avrupa'nın kurulu fotovoltaik gücünün yaklaşık %84'ü Almanya'da bulunmaktadır. Türkiye'nin organize bir ticari ve yerel fotovoltaik (PV) programı yoktur. Yapılan teknik hesaplamalar sonucunda solar teknik potansiyel 6105 TWh/yıl olarak belirlenmiştir. Bu teknik potansiyelin (305 TWh/yıl'a eşdeğer) sadece %5'i ekonomik olarak elektrik üretimi için kullanılabilir (Yolcan ve Ramazan, 2020).

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl'dır. Bu potansiyel, elektrik enerjisi üretimi için toplam kurulu gücü 56.000 MW olan doğal gaz santraline eşdeğerdir. Türkiye'deki konut sayısı 18 milyon civarında ve 4 milyon konut çeşitli şekillerde güneş enerjisinden yararlanmaktadır. Bedava güneş enerjisi ülke ekonomisine 600 milyon dolar kazandırmaktadır. Türkiye'nin Güney, Batı ve Doğu Anadolu'su güneş enerjisi toplama için iyi bir aday olabilir, ancak ihtiyaç duyulan dizi büyüklüğü ve enerji

iletim altyapısı nedeniyle bu fikir maliyet bazında engelleyicidir ve daha fazlasına kadar ticari olarak uygulanabilir değildir (Yolcan ve Ramazan, 2020).

Bununla birlikte, bu tür projeler için gerekli olan altyapı, büyük miktarda sermaye gerektirecektir ve üretilen elektriğin birim başına maliyeti genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı diğer fosil yakıtlardan daha yüksektir. Halihazırda güneş teknolojilerinin mali yükü nedeniyle Türkiye'de büyük ölçekli güneş enerjisi tesisleri bulunmamaktadır. Ancak, güneş enerjisi teknolojileri yatırımcılar için finansal olarak uygun hale geldikçe, Türkiye'de büyük ölçekli güneş enerjisi santrali kurulumlarının olması beklenmektedir (Aksu, 2021).

3.3.4. Türkiye’de Jeotermal Enerji

Jeotermal enerji kullanımı hidrotermal sirkülasyona dayalıdır. Jeotermal enerjinin kullanımı çok eskilere dayanmakla birlikte 1904 yılında elektrik üretiminde kullanılmaya başlanmıştır. Bugün ülkede jeotermal enerjiden elektrik üretimi 8912 MW'a ulaşmıştır. Türkiye potansiyeli ile ilk yedi ülke arasında yer almasına rağmen 28,3 MWe (Denizli-Kızıldere'de 20,4 MWe ve Aydın-Salavatlı'da 7,9 MWe) kurulu gücü ile son sırada yer almaktadır (Takan ve Kandemir, 2021).

Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü'nün 1962 yılından bu yana yaptığı çalışmalarda Ege Bölgesi, Kuzeybatı Anadolu ve Orta Anadolu'da 170 jeotermal saha tespit edilmiştir. Ancak bu alanların sadece %7'si yüksek entalpiye sahiptir ve elektrik üretimi için uygundur. Türkiye'de Rankine ve flaş çevrimleri ile elektrik üretimi için yeterli olduğu bilinen 11 jeotermal saha bulunmaktadır. Bu sahalar kurulacağı düşünülen jeotermal enerji santrallerinden 2010 yılına kadar 500 MWe, 2020 yılına kadar ise 1000 MWe'ye ulaşılması hedeflenmekle birlikte, uygulama düzeyi bu hedeflere ulaşmaktan oldukça uzaktır (Takan ve Kandemir, 2021).

Türkiye'nin jeotermal brüt teorik, teknik ve kullanılabilir ısı potansiyelleri sırasıyla 31.500, 7500 ve 2843 MWt'dir. Kanıtlanmış jeotermal teorik ve kullanılabilir elektrik potansiyeli miktarı sırasıyla 500 ve 350 MWe'dir. Mevcut potansiyelden elde edilebilecek elektrik üretimi yaklaşık 1400 GWh/yıl'dır. Aralık 2011 itibariyle, Türkiye'de 125.000 hanenin (1003 MWt) ihtiyacına eşdeğer jeotermal enerji kullanan bir bölgesel ısıtma kaydedilirken, 232 kaplıca merkezi yılda yaklaşık 11.000.000 kişiye (468 MWt) termal turizm sektörüne hizmet vermektedir. Ayrıca jeotermal enerjiden

toplam ısı kullanımının 2011 yılında 1500 MWt'a (1098.000 ton/yıl fuel-oil eşdeğeri) ulaştığı kaydedilmiştir. Tüm bu jeotermal faaliyetler sonucunda ilgili CO2 üretimi 136.000 ton/yıl olarak kaydedilmiştir (Alper, 2019).

3.3.5. Türkiye’de Hibrit Enerji Sistemleri

Enerji üretmek için iki veya daha fazla farklı kaynağın bir arada kullanıldığı enerji üretim sistemleri Hibrit Enerji Sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Rüzgâr, güneş, biyokütle, jeotermal ve hidro başlıca yenilenebilir enerji kaynak sistemleridir. Hibrit enerji sistemlerini tasarlamak için farklı enerji sistemlerini birleştirmek zordur, ancak hibrit sistemler enerji üretiminde sürdürülebilirliği sağlamak için önemlidir. Her kaynak, günlük olarak bir süreliğine etkinliğini kaybedebilir. Bu dönemde enerji üretimi kesintiye uğramadan sürdürülmelidir. Bu nedenle her enerji kaynağı birbirinden bağımsız olarak enerji sağlamak zorundadır (Alakour, 2022).

Rüzgâr ve güneş, herhangi bir ek uygulamaya ihtiyaç duymadan dünyanın hemen her yerinde bağımsız enerji kaynakları olarak kullanılabilir. Diğer kaynaklar jeolojik ve çevresel gerekliliklere bağlıdır. Biyokütlenin kullanılabilir malzeme üretebilmesi ve etkin bir şekilde kullanılabilmesi için prosese ihtiyacı vardır. Jeotermal enerji, yeraltında ve üretilmesi mümkün olan sınırlı miktarda kaynağa sahip olan her yerde mevcut değildir. Proje alanında kullanılabilir jeotermal kaynak varsa, bu hibrit sisteme jeotermal eklemenin çok etkili bir yoldur. Hydro, hibrit sistemlere uygulamada benzer engellere sahiptir (Yıldız ve Bingöl, 2019).

Proje alanı uygun jeolojik şekillerden oluşmalıdır. Hidroelektrik, yüksek verim değerleri nedeniyle önemli bir güç kaynağıdır ve bu kaynağı bu tür sistemlerde kullanma şansı vardır. Ancak hidroelektrik dahil olmak üzere hibrit sistemlerin tasarlanması, diğer kaynaklar üzerindeki jeolojik etkiler nedeniyle kolay olmamaktadır. Rüzgâr türbinleri, yalnızca bir rüzgâr türbini ile megawatt cinsinden yüksek kapasitelere sahip olabilir. Fotovoltaik paneller gibi güneş enerjisi sistemleri, sayıları bir araya geldiğinde yüksek kapasitelere sahip olabilir. Böylece, genellikle PV'ler kilowatt cinsinden enerji üretir (Yıldız ve Bingöl, 2019).

Bir sistemde bazen tek bir rüzgâr türbini ile talebin karşılanmaması mümkündür. Ayrıca iki veya daha fazla türbin talep edilen değer üzerinde enerji üretebilir. Karşılanmayan enerji ihtiyacı fotovoltaik sistem ile tamamlanabilir. Alternatif olarak, güneşten daha az

rüzgâr kaynağı olabilir ve rüzgar türbini kullanmak güneş sistemlerinden daha pahalı olabilir. Güneş kaynağı daha etkili olduğunda daha fazla güneş enerjisi kullanmak zorunluluğu bulunmaktadır. Böylece hibrit sistem, proje lokasyonundaki kaynak kapasitesine göre şekillenmektedir. Ekonomi, bir enerji sistemi tasarımı için başka ve önemli bir konudur. Yatırım ve bakım maliyetleri bölgeden bölgeye değişkenlik gösterebilir. Hibrit enerji sistemleri kullanılarak proje yeri dikkate alınarak ekonomik açıdan en faydalı sistemler tasarlanabilir (Yıldız ve Bingöl, 2019).

3.4. Hibrit Enerji Sistemi ve Yöntemleri

Hibrit enerji sisteminde iki veya daha fazla enerji kaynağı kullanılmalıdır. Kaynaklardan biri fosil kaynak olabilir, ancak bir veya birden fazla yenilenebilir enerji kaynağının kullanılması sistemin sürdürülebilirliğini sağlamaktadır. Geliştiriciler, birçok hibrit enerji sistemi türü üzerinde çalışmaktadır. Kömür, Doğal Gaz, Petrol, Rüzgâr, Güneş, Hidro, Biyokütle ve Jeotermal enerji kaynakları birleştirilerek hibrit enerji sistemi tasarlanabilmektedir. Hibrit sistemlerin genel uygulamasında bir fosil kaynak ve bir veya daha fazla yenilenebilir kaynak kullanılmaktadır (Lian ve ark. 2019).

Fosil kaynak, sisteme enerji sağlama garantisi vermektedir. Ancak rüzgâr, güneş, hidro, jeotermal, biyokütle gibi sürekliliği olan ölçülü ve güvenilir yenilenebilir kaynaklar varsa, enerji üretmek için yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilebilmektedir. Sadece yenilenebilir kaynakların kullanılması çevre için daha faydalıdır. Yenilenebilir sistemlerde karbon emisyonu ve hava kirliliği yoktur. Hibrit enerji sistemlerinde en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı güneş enerjisi sistemleridir (Lian ve ark. 2019).

Güneş ışığı her yere ulaşabilmektedir. Bu etki, dünyanın şekli ve dönüşü nedeniyle bölgeden bölgeye değişmektedir. Ancak dünyanın her yeri farklı ölçülerde güneş ışığı alabilirken, fosiller veya yenilenebilir kaynakları gibi diğer kaynaklar sahanın jeolojik veya kimyasal yapısı gibi koşulları gerektirmektedir. Bu nedenle hibrit enerji sistemleri için ana enerji kaynağı güneş enerjisidir. Güneş enerjisi kaynağı diğer tüm enerji kaynakları ile birlikte kullanılabilir. Örneğin, daha güçlü bir elektrik santrali yapmak için sadece kömür kullanan bir enerji sistemine güneş enerjisi üniteleri eklenebilmektedir (Eriksson ve Gray, 2019).

Sistemde enerji üretmek için sadece doğal gaz veya petrol olabilmektedir. Güneş de bu kaynaklarla birlikte kullanılabilir. Bu da karbon salınımının azaltılmasına destek

olur ve fosil kaynaklara uzun ömür sağlar. Yenilenebilir kaynakları bir sistem içinde kullanmak, enerji üretmenin çok faydalı ve verimli bir yoludur. Sistemi oluşturmak için bazı koşullar uygun olabilir. Bir hidro enerji sistemi, hidroelektrik santrali tasarlamak için gerekli olan jeolojik bir  ekle ihtiyaç duymaktadır. Kaynak alanının yukarısında bir jeotermal enerji sistemi kurulmalıdır. Proje konumundan uzakta olan jeotermal kaynaklardan enerji  retilenmemektedir (Eriksson ve Gray, 2019).

Bir enerji üretim sistemi, biyokütle enerji sisteminde olduğu gibi, herhangi bir kaynağın konumuna ihtiyaç duymadan tasarlanabilmektedir. Biyokütlenin bazı kimyasal yöntemler uygulandıktan sonra enerji sistemi alanına taşınması gerekmektedir. Biyokütle, diğer yenilenebilir kaynaklar gibi değildir. Kaynağın taşınması, ortak biyokütle enerji sistemleri yapmak için bir engeldir. Çalışmakta olan elektrik üretim sistemleri varsa, güneş enerji sistemi çalışan elektrik üretim sisteminin bulunduğu alandaki en verimli yere kurulabilir. Hidro-güneş, jeotermal-güneş, biyokütle-güneş enerji üretim sistemleri uygun şartlarla tasarlanabilmektedir (Lian ve ark. 2019).

Rüzgâr enerji sistemleri rüzgâr hızının ve yönünün farklı yüksekliklerde  l  lmesine göre tasarlanmaktadır. Rüzgâr, saha arazisiyle ilgilidir ve farklı sahalar farklı rüzgâr potansiyellerine sahip olabilir. Rüzgâr türbinleri, özellikle küçük rüzgâr türbinleri, yerin herhangi bir yerine kolayca kurulabilir, ancak yatırımın fizibilitesini öğrenmek için bir yerin enerji kapasitesi araştırılmalıdır. Rüzgâr enerji yatırımlarında olduğu gibi güneş panelleri evlerin zeminine veya çatılarına rahatlıkla kurulabilmektedir. Bu konuda rüzgâr -güneş hibrit sistemi en çok tercih edilen hibrit sistemdir. Hibrit bir sistemde ikiden fazla kaynak kullanılması önerilir (Eriksson ve Gray, 2019).

Proje mahallindeki rüzgâr ve güneş kaynakları dikkate alınarak hidroelektrik enerji sistemi tasarlanabilir. Hidro-rüzgâr-güneş hibrit enerji sistemi bu yaklaşımla tasarlanabilir. Bu yöntem jeotermal-güneş-rüzgâr ve biyokütle-güneş- rüzgâr olarak da uygulanabilir. Fosil kaynakları kullanan mevcut enerji sistemleri, rüzgâr, güneş veya her ikisinin de eklenmesiyle hibrit enerji sistemlerine dönüştürülebilir.

3.4.1. Hibrit Enerji Sistemi

Isı, elektrik veya her ikisini birden sağlamak için fotovoltai  paneller, rüzgâr türbinleri, biyokütle, hidroelektrik vb. gibi yenilenebilir kaynaklarından iki, üç veya daha fazla yenilenebilir kaynağın kombinasyonuna hibrit sistem adı verilmektedir. Güneş panelleri

ve rüzgâr türbinlerini içeren hibrit enerji sistemi en sık kullanılan sistemdir. Rüzgâr türbinlerine ek olarak fotovoltaik modüllerin kullanılmasının nedeni yüksek güvenilirliğidir. Ayrıca herhangi bir zamanda tek bir güç kaynağına güvenmek imkansızdır (Manwell, 2004).

Hibrit enerji santralleri, birden fazla yenilenebilir enerji kaynağı tarafından, yenilenebilir ve fosil kaynakların bir eki veya bir kombinasyonu olarak ve elektrik enerjisi üretmek için her birinden yararlanmak için kullanılmaktadır. Bu tip santrallerde enerji kaynaklarının çokluğu ve her birinin faydalarından yararlanılması nedeniyle güvenilirlik faktörü artmaktadır. Birçok yenilenebilir kaynak tarafından üretilen enerji pahalıdır. Ayrıca ihtiyaç duyulan enerjiyi gereken zamanda sağlamak için yeterli güvenilirliğe sahip değiller ve yük dalgalanmalarına tepki olarak gerekli kararlılığı göstermemektedirler (Manwell, 2004).

Bu nedenle, küçük gaz ve dizel enerji santralleri gibi fosil yakıtlarla kombinasyonları, enerji fiyatlarının düşürülmesinde, güvenilirliklerinin ve istikrarlarının artırılmasında çok yardımcı olmaktadır. Örneğin hibrit santral rüzgâr türbini ve dizel jeneratörden oluşuyorsa rüzgar yoksa veya rüzgar hızında azalma olursa dizel jeneratörler devreye girerek yükü beslemektedir. Jeneratörler yükü arttırırken dahi devreye girerek yük kesme işlemlerini gerçekleştirebilmektedir. Hibrit enerji santralleri genellikle ulusal şebekeden bağımsızdır, bu da yukarı akım bozuklukları veya voltaj dalgalanmaları durumunda mikro şebekenin elektrik şebekesinden ayrılmasını sağlar ve uzak bölgelerde kullanılır ve aşağıdaki uygulamalara ad verilebilir:

- Madencilik ve uzak endüstriler
- Askeri uygulamalar
- Köyler ve Adalar
- Oteller ve eğlence mekanları
- Telekomünikasyon sistemleri
- Şehir elektriğine erişimi olmayan tarım çiftlikleri (Fathima ve Palanisamy, 2015).

Rüzgâr türbinleri, güneş panelleri ve dizel jeneratörlerden oluşan hibrit enerji santrallerinin avantajları şunlardır:

- Daha düşük onarım ve bakım maliyetleri
- Fosil yakıt tüketimini azaltmak
- Güveni arttırmak
- Enerji üretim verimliliğini artırmak
- Çevre kirliliğini azaltmak
- Değişken yükler için destek ve kararlılığı arttırmak (Fathima ve Palanisamy, 2015).

Fotovoltaik güneş panelleri ve rüzgâr türbinlerinin elektrik üretimi iklim koşullarına göre değişmektedir. Bu nedenle, kendi başlarına çok zengin bir enerji kaynağı değildirler. Sistemlerin birleştirilmesi elektrik üretiminde daha etkilidir. Hibrit sistemler birden fazla enerji kaynağının kullanıldığı sistemlerdir. Güneş enerjisi yarım günlük enerji sağlamaktadır ve gün boyu üretime uygun değildir. Yaz aylarında güneş ışınlarının en yüksek olduğu dönemlerde rüzgâr hızı yetersiz kalabilmektedir. Bu sayede birbirini tamamlayan bir sistem tasarımı daha verimli ve kesintisiz elektrik üretimi sağlayacaktır (Yilanci, Dincer ve Ozturk, 2009).

Hibrit uygulamalar özellikle yaz-kış enerji ihtiyacının olduğu, kesintiye izin verilmemesi veya kurulu güneş veya rüzgâr enerjisi sisteminin desteklenmesi gereken sistemlerde uygulanmaktadır. Hibrit uygulamalarda güneş, rüzgâr ve dizel enerji kaynaklarının, yakıt pilinin ikili veya üçlü olarak kullanılması mümkündür. Sistem Güneş Enerjisi veya Rüzgâr Enerjisinin çalışma sistemi ile aynıdır. Sadece sisteme ek bir bileşen olarak eklenmektedir (Yilanci, Dincer ve Ozturk, 2009).

Hibrit yenilenebilir enerji sistemleri, en düşük ekonomik maliyetle yüksek performans sağladıkları için ideal çözüm olan iki veya daha fazla enerji üretim ve depolama kaynağını birleştirmektedir. Hibrit güç sistemleri (HPS'ler), güç kaynağının maksimum güvenilirliğini sağlamak için genellikle güç depolama sistemleri dahil olmak üzere farklı üretim sistemlerini birleştirerek yüksek düzeyde enerji güvenliği sağlamaktadır. Bu teknikler ayrıca yenilenebilir ve konvansiyonel enerji kaynakları, elektrik ve kimyasal güç depolama ve yakıt hücreleri içerebilmektedir (Yilanci, Dincer ve Ozturk, 2009).

Piller, yakıt hücreleri, rüzgâr türbinleri ve güneş panelleri gibi yenilenebilir enerji teknolojilerinin kullanımı birçok alanda yaygın ve gerekli hale gelmiştir ancak bu teknolojileri hibrit güç sistemlerinde birleştirerek daha rekabetçi, operasyonel ve çevre dostu sistemler oluşturmaktır. Hibrit güneş-rüzgâr, güneş-dizel, rüzgâr ve hidroelektrik, rüzgâr ve dizel gibi hibrit enerji sistemlerinin çeşitli sınıflandırmaları vardır ve bunların konumu, ana elektrik şebekelerine yakınlık ve iklim açısından coğrafi konum da dahil olmak üzere çeşitli faktörlere bağlıdır. Yenilenebilir enerji ve hibrit sistemler şöyledir:

- Jeotermal + güneş enerjisi.
- Biyokütle + Konsantre Güneş Enerjisi CSP.
- Solar PV + yakıt hücreleri.
- Rüzgâr + güneş panelleri.
- Biyodizel + rüzgâr.
- Gaz + Konsantre Güneş Enerjisi CSP.
- Kömür + Konsantre Güneş Enerjisi CSP (Powell ve ark. 2017).

3.4.2. Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemleri Bileşenleri

Hibrit enerji sistemleri, iki veya daha fazla enerji üretimi, depolama veya son kullanım teknolojisini birleştirmekte ve tek kaynaklı sistemlere kıyasla çok sayıda fayda sağlayabilmektedir. Hibrit enerji sistemleri enerji kaynakları için ideal bir çözümdür, çünkü performans ve maliyet azaltmada önemli iyileştirmeler sunabilirler ve değişen son kullanıcı gereksinimlerine göre uyarlanabilirler. Geleneksel bir bağımsız yenilenebilir enerji güç sistemindeki (REPS) enerji depolama sistemi (ESS), genellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının düzensiz çıkışı nedeniyle kısa bir ömre sahiptir. Belirli sistemlerde, ESS, stres seviyesini azaltmak ve aralıklı pik güç talebini karşılamak için genişletilmektedir (Powell ve ark. 2017).

Bir hibrit enerji depolama sistemi (HESS), genel sistem uygulaması için dayanıklılık, pratiklik ve maliyet etkinliği açısından daha iyi bir çözümdür. Aşağıda diğer bileşenler incelenmiştir.

3.4.2.1. Enerji Depolama

Enerji depolama sistemleri, hibrit enerji sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biridir ve bu teknolojilerin yoğun olmayan zamanlarda depo enerjisinde enerji depoladıkları ve pompalama gibi birçok uygulamada temsil ettikleri elektrik sistemlerinde özel bir öneme ve yüksek güvenilirliğe sahiptir (Chong ve ark. 2016).

3.4.2.2. Basınçlı Hava Enerji Depolama (CAES)

Bu teknolojinin amacı, havanın büyük depolama tanklarına pompalandığı veya normalde yeraltında meydana geldiği basınçlı havanın enerjisini ve potansiyel enerjisini depolamaktır. Elektrik üreten rüzgâr türbinlerinde ortaya çıkan parçalamayı işleme aracı olarak sıklıkla kullanılırlar. İki tip basınçlı hava depolama sistemi vardır:

1. Basınçlı hava enerji depolaması (CAES).
2. Gelişmiş adyabatik basınçlı hava enerji depolaması (AA-CAES)

Enerji talebinin yoğun olmadığı zamanlarda hava, türbini çalıştırmak ve daha sonra enerji üretmek için jeneratörü çalıştırmak üzere yoğun saatlerde salınmak üzere alt yeraltı rezervuarına (mağara) sıkıştırılır (Chong ve ark. 2016).

3.4.2.3. Pompaj Hidro Depolama (PHS)

PHS tekniğinin kullanılması, tesisin farklı yüksekliklere yerleştirilmiş ve bir su yolu ile birbirine bağlanan iki su tankından oluştuğu büyük ölçekli elektrik enerjisi depolama tesislerinin kurulmasına bağlıdır. Elektriğin fazla olduğu pik döneminde pompalar, pik zamanlarda alt depoya boşaltılmak üzere suyu üst depoya pompalayarak klasik güç sistemlerinde olduğu gibi sistemdeki türbinleri hareket ettirmektedir. Depolanan enerji miktarı, iki rezervuar arasındaki yükseklik farkına ve içlerindeki su hacmine bağlıdır. Kapasiteleri 1 MW ile 3003 MW arasında değişen çok sayıda PHS istasyonu bulunmaktadır ve bu istasyonların verimliliği %70 ile %80 arasındadır (Chong ve ark. 2016).

3.4.2.4. Termal Enerji Depolama (TES)

Termal enerji depolama TES sistemleri, fosil yakıtlara olan bağımlılığı azaltarak çevresel ve ekonomik faydalar sunar, bu sistemlerin kullanılmasının temel amacı, fazla ısıyı tüketilmesi gerekene kadar depolayarak termal enerji kaybını önlemektir. Termal

enerji kaynakları tüm yaşam dergilerinde mevcuttur, güneş termal enerjisi ve jeotermal enerji, mevcut en büyük termal enerji kaynaklarından biri olarak kabul edilir, çünkü nükleer santraller ve endüstriyel proseslerden gelen ısı, depolanabilen termal enerji kaynaklarıdır (Mamen ve Supatti, 201).

3.4.2.5. Hidrojen Enerji Sistemi

Hidrojen, su veya fosil yakıtlar şeklinde olabileceği için evrendeki en uygun elementlerden biridir. Hidrojen aynı zamanda çevre dostu bir elementtir ve hidrojen bir enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen enerji kaynakları, sürdürülebilir ve çevre dostu olması için hidrojen üretebilir ve onu başka bir enerji biçiminde depolayabilir. Hidrojen enerji sistemleri, yakıt hücreleri, elektrolizör ve hidrojen depolama gibi yenilenebilir enerji sistemlerinde geniş kullanım alanlarına sahiptir. (Mamen ve Supatti, 201).

3.4.2.6. Güçten Gaza Teknoloji (P2G)

Bu P2G teknolojisi, suyun elektrolizi yoluyla hidrojen üretmek için yenilenebilir veya fazla elektriğin kullanılmasıdır. Bu hidrojen doğrudan nihai enerji taşıyıcısı olarak kullanılabilir veya metana dönüştürülebilir. Bu teknik, endüstriyel ve kimyasal işlemler sırasında dekarbonizasyon sürecinde kullanılabilir. Küresel iklim değişikliği krizi göz önüne alındığında, enerji santrallerinde P2G teknolojisine güvenmek, ortaya çıkan emisyonları azaltabilir (Agabalaye-Rahvar ve ark. 2020).

Doğal gaz teknolojisi kömür ve petrol gibi fosil yakıtlardan daha ucuz ve daha verimli olduğundan, P2G teknolojisinin gelişimi elektrik üretim sistemleri ve doğal gaz şebekeleri arasında bir bağlantı haline gelmiştir. Elektrik güç sistemlerinde P2G santralleri yük olarak kabul edilirken, doğal gaz sistemlerinde üretici konumundadırlar. P2G, fazla gücü iki adımda gaza dönüştürerek elektrik şebekesini gaz şebekesine bağlamaktadır. Suyun elektrolizi ile hidrojen üretimi, hidrojenin karbon oksit ürünleri ile metilasyon yoluyla metan'a dönüştürülmesi, doğal gaz alternatifi olarak bilinen doğal gaz dağıtım şebekelerine veya gaz tanklarına enjekte edilebilir ve bazı araba motorlarında veya doğal gaz tesislerinde yakıt olarak kullanılabilir (Agabalaye-Rahvar ve ark. 2020).

3.4.2.7. Elektrolizör

Suyun elektrolizi, hidrojenin biyokütleden üretilmesinin yanı sıra kömür ve doğal gaz gibi fosil kaynaklarla da üretilbildiği, hidrojen üretmeyi vaat eden yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Elektroliz, P2G sistemlerine ilgi duyan üç farklı tekniğe sahiptir:

- Alkali elektroliz (AEL).
- Polimer elektrolit membranlar (PEM).
- Katı oksit elektrolizi (SOEC) (Vivas ve ark. 2018).

3.4.2.8. Yakıt Hücresi

Yakıt pilleri, güneş enerjisi sistemleri ile yaygın olarak kullanılan, yüksek işletme verimi ve yük değişikliklerine ek olarak hızlı tepki verdiği düşünülen, elektroliz sonucu hidrojen ve oksijenin etkileşimi yoluyla doğru elektrik akımı üreten elektrokimyasal cihazlardır. Yakıt hücrelerinin, güneş panelleri sistemleri ile başarılı bir şekilde ve ağ ve bağımsız sistem uygulamaları ile yararlı olduğu ve ayrıca egzoz ısısının yeniden kullanılması, kurulum kolaylığı ve yakıt çeşitliliği gibi diğer avantajları olduğu kanıtlanmıştır.

Yakıt hücresi yakıtı, fotovoltaik uygulamalardan hidrojen elde etmek için hidrolizin kullanılabileceği hidrojen veya hidrojen bileşiği olabilir. Yakıt hücreleri, doğrudan elektriğe dönüşen yakıt kimyasal bir reaksiyon görevi görür, bu süreç yan ürün olarak bir miktar ısı ve su üretir (Vivas ve ark. 2018).

3.4.2.9. Yakıt Pilleri ve Elektrolizörler

Yakıt hücreleri, bir yakıtın, genellikle hidrojen veya hidrokarbonun kimyasal enerjisini doğrudan elektriğe dönüştüren elektrokimyasal cihazlardır. Yakıt hücreleri bir anot, elektrolit ve katottan oluşur ve her bileşen için kullanılan malzemeler değiştirilerek farklı bir yakıt pili tipi elde edilir. Bununla birlikte, en yaygın tip Proton Değiştirme Membran Yakıt Hücreleridir (PEMFC). PEMFC'nin ana özellikleri hızlı başlatma, düşük çalışma sıcaklıkları ve düşük korozyondur. Bu, PEMFC'yi dağıtılmış üretim uygulamaları için pratik hale getirir. Hidrojen, elektrolizör adı verilen tamamlayıcı bir cihazla yerinde üretilir (Khan ve Iqbal, 2005).

Ayrıca yakıt hücrelerinin ters çalışma prensibini kullanır ve elektrik kullanarak hidrojen üreterek sistemin kesintili bileşenlerden gelen fazla elektriği kullanmasına izin verir. Yakıt hücrelerinin uygulanmasını analiz eden HRES çalışmalarının çoğunun geçici etkiler hakkında bilgi edinmeye odaklandığı bulunmuştur (Khan ve Iqbal, 2005).

3.5. Rüzgâr Enerjisi Dönüşüm Sistemlerini İçeren Hibrit Sistem

Rüzgâr enerjisi dönüştürme sistemleri (WECS), çeşitli yenilenebilir jeneratörler arasında en yüksek kurulu kapasitesini kapsamaktadır. Değişken hızlı WECS, kanıtlanmış verimliliği ve artan enerji yakalaması nedeniyle avantajlıdır. Mevcut bazı rüzgâr jeneratörleri arasında, kalıcı mıknatıslı senkron jeneratör (PMSG), yüksek güç faktörü çalışması ve düşük hızlı çalışma gerekliliği nedeniyle rüzgâr enerjisi sistemlerinde elektrik gücünden yararlanmak için öne çıkan bir teknolojidir (Baghdadi ve ark. 2015).

Bir WECS veya PV sisteminden güç üretimi iklim koşullarına bağlı olduğundan, bu sistemlerden üretilen maksimum gücü yakalamak esastır. Bu özellik, maksimum güç izleme (MPPT) denetleyicisi tarafından sağlanmaktadır. MPPT teknikleri, çeşitli kontrol stratejilerine veya kontrol değişkenlerinin sayısına bağlıdır. Bu teknikler solar PV sistemlerinde iyi bir şekilde oluşturulmuştur. Benzer şekilde, WECS'de MPPT'nin WECS'de kullanımı, maksimum güç katsayısını yakalamak için rotor hızının kontrolüne yönelik temel fikrin yattığı çok sayıda literatürde yer almaktadır (Baghdadi ve ark. 2015).

Bağımsız hibrit sistemlerde MPPT çalışmasını sağlarken gerilim ve frekansın düzenlenmesinin önemli kontrol hedefleri olduğunu dikkate almak önemlidir. Çift beslemeli endüksiyon jeneratörü (DFIG) tabanlı WECS, uygulanabilir hızlı çalışma, yüksek enerji dönüştürme verimliliği, esnek kontrol edilebilirlik ve güç dönüştürücülerin daha düşük derecelendirme gerekliliği gibi dostane nitelikleri nedeniyle rüzgâr enerjisinden yararlanmak için tercih edilen adaylardır. Bir DFIG sisteminde güç kontrol edilebilirliğini etkinleştirmek için arka arkaya bir dönüştürücü düzenlemesi, yani rotor tarafı dönüştürücü (RSC) ve ızgara tarafı dönüştürücü (GSC) konfigürasyonu kullanılmaktadır. DFIG sistemini PV, pil ve diğer depolama cihazlarıyla hibritleştirme yaklaşımı bazı çalışmalarda sunulmuştur. Ancak, depolama bileşenlerinin tasarım kriterlerine ilişkin tartışma bu literatürlerde eksiktir (Deshmukh ve ark. 2008).

3.6. Hibrit Enerji Sisteminde Depolamanın Rolü

Standart bir uygulama olarak, yenilenebilir jeneratörlerdeki kesintiler, depolama sistemi kullanılarak ortadan kaldırılmaktadır. Birden fazla depolama sisteminin kullanılması hibrit depolama olarak adlandırılır. Hibrit depolama, gelişmiş bir sistem ve ekonomik verimlilik sunan yüksek güç yoğunluğuna ve yüksek enerji yoğunluğuna dayalı depolama sistemleri olarak sınıflandırılmaktadır. Her depolama cihazı, yanıt verme özellikleri bakımından birbirinden farklıdır. Örneğin, piller, süper kapasitörler kısa vadeli güç talebini karşılamada etkili olurken, hidrojen bazlı depolama uzun vadeli güç talebini karşılamada daha iyidir (Deshmukh ve ark. 2008).

3.6.1. Hidrojen Bazlı Depolama

H₂ deposundan gelen enerji yedeklemesi ne atık sorunlarına ne de kirliliğe neden olduğu için uzun vadeli enerji yedeklemesi oluşturmada öne çıkan bir yoldur. H₂ enerjisinin dayattığı ek bir esneklik, yenilenebilir jeneratörlerden üretilen fazla enerjinin H₂ üretmek için bir elektrolizörü çalıştırmak için kullanılabilmesidir. Enerjiyi H₂'den almak için umut verici bir cihaz olduğu için FC'nin rolü bu açıdan önemlidir (Mills ve Al-Hallaj, 2004).

FC'ler, yüksek verimlilikleri, düşük emisyonları, basit yapıları ve göze çarpan operasyonları nedeniyle umut vaat eden yedek kaynaklar arasındadır. Temel enerji dönüşüm süreci, kimyasal enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde yatmaktadır. Çalışma sıcaklığına bağlı olarak, FC'ler büyük ölçüde proton değişim membranlı yakıt hücresi (PEMFC), katı oksit yakıt hücresi (SOFC) ve erimiş karbonat yakıt hücresi olarak sınıflandırılır. PEMFC, düşük çalışma sıcaklığı ve hızlı çalıştırma özelliği nedeniyle evsel kullanım için en çok tercih edilen teknolojiler arasındadır. (Mills ve Al-Hallaj, 2004).

SOFC'nin faydası, 500 ila 1000°C arasında değişen yüksek çalışma sıcaklığı ile karakterize edildiğinden, birleşik ısı ve güç uygulamasındadır. FC sistemlerinin doğru modellenmesi, çalışma karakteristikleri ile ilgili kesin analizleri ortaya çıkardığı için önemli bir husustur. PEMFC elektrotlarındaki gaz difüzyonunun etkisinin, H₂ ve oksijenin (O₂) etkin kısmi basıncının ifadesini belirlediği kabul edilir. SOFC & PEMFC yığını içindeki reaktanların kısmi basıncı, aktivasyon düşüşü, omik düşüş, konsantrasyon düşüşü ve çift katmanlı yük etkisinin etkisi, tam yığın çıkış voltajının elde edilmesine yardımcı olmaktadır (Zini ve Tartarini, 2009).

Genel olarak, FC, yenilenebilir jeneratörlerden güç üretiminin güvenilirliğini artırmak için çeşitli çalışmalarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, H2 tabanlı sistemler için temel kriter, depolanan H2'nin proses otomasyonu yardımıyla kontrollü bir şekilde kullanılabilir olmasıdır. Elektrolizörler, H2 üretmek için DC gücünde çalışan elektrikli cihazlardır. Elektrolizörün modellenmesi, elektrolizörde üretilen H2'nin faraday verimliliği, elektrolizör hücre sayısı ve ayrıca elektrolizörün akımı ile ilişkili olduğunu göstermektedir (Zini ve Tartarini, 2009).

3.6.2. Pil ve Süper Kapasitör Tabanlı Depolama

FC, güç dağıtımına karşı yavaş yanıt vermekte; bu nedenle, hibrit bir sistemde geçici güç talebini desteklemek gerektiğinde uygun olmamaktadır. Bu nedenle, batarya ve SC, geçici güç talebini karşılamada iyi adaylar haline gelmektedir. Pil bir hibrit enerji sisteminde voltaj regülasyonu, güç kalitesini iyileştirme ve yük dengeleme işlevini yerine getirmektedir. Süper Kapasitör yani SC'ler aynı zamanda ultra kapasitörler (UC) olarak da bilinirler ve bataryaya kıyasla yüksek güç yoğunluğuna sahiptirler. Bu cihazlar, hibrit bir sistemde birkaç saniyeden dakikaya kadar değişen kısa süreli güç eksikliğini karşılamak için destek sağlamaktadırlar (Zini ve Tartarini, 2009).

3.7. Hibrit Enerji Sisteminin Kontrolü

Hibrit sistemden güç elde etmek için kontrol yönü zorunludur. Bunun nedeni, yenilenebilir jeneratörler hibrit sisteme dahil edildiğinde, tüm sistemin doğası gereği stokastik hale gelmesidir. Akıllı şebeke ortamı durumunda elektrik yüklerinin dahil edilmesi ve şebekenin katılımı, şebekeye bağlı hibrit sürdürülebilir bir sistemdeki belirsizlik derecesini daha da artırmaktadır. Hibrit Enerji Sistemlerinin kontrol yönünü birleştirmek için güç elektroniği ve kontrolü büyük rol oynamaktadır. Bu güç elektroniği dönüştürücüleri aşağıdaki kontrol görevini yerine getirmektedir;

- MPPT kontrolü: DC-DC dönüştürücüler doğrudan DG kaynaklarının çıkışına bağlanır.
- Güç dağıtım kontrolü: Hibrit sistemdeki güç dengesini sağlamaktadır.
- Voltaj kontrolü: Hibrit sistemin çeşitli düğümlerindeki voltajın düzenlenmesini içermektedir. Örneğin, DC-link voltajının regülasyonu veya PCC'de voltajın regülasyonu.

- LVRT kontrolü, harmonik kontrolü, aktif filtreleme, frekans regülasyonu vb. gibi yardımcı hizmetler sağlamak için kullanılmaktadır.

Bir hibrit sistemin konfigürasyonuna bağlı olarak kontrol yaklaşımı bağımsız mod ve şebekeye bağlı mod için değişmektedir.

3.7.1. Bağımsız Sistemde Kontrol

Hibrit enerji sistemlerinde kontrol, güç elektroniği dönüştürücüleri kullanılarak kolaylaştırılmaktadır. Kontrol kabiliyetine yönelik yaklaşım, bağımsız moda veya şebekeye bağlı moda bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bağımsız sistemlerde eviricinin gerilim kontrolü tercih edilen bir seçimdir. Eşzamanlı olarak dönen referans çerçevesinde vektör kontrol şemasının kullanımı, ortak bağlantı (PCC) noktasında ac çıkışının voltajını ve frekansını düzenlemek için seçilir (Upadhyay ve Sharma, 2014).

Bağımsız DG sistemlerinde aktif ve reaktif gücün kontrolü esastır. Bunun kontrolü, senkron jeneratörde bulunan kontrol mekanizması taklit edilerek elde edilir. Gerçek güç, gerilim faz açısının kontrol edilmesiyle yönetilir ve reaktif güç, inverterin modülasyon indeksinin kontrol edilmesiyle düzenlenir. Bağımsız sistemlerde geçici olaylar ve yük dengesizliği ile karşılaşılması muhtemeldir. Bu açıdan, bağımsız evirici, dengeli voltajı sağlamak için üç fazlı besleme gerilimlerinin ve akımlarının pozitif, negatif ve homopolar dizi bileşenlerinde kontrol edilmektedir (Trifkovic ve ark. 2013).

3.7.2. Şebekeye Bağlı Sistemde Kontrol

Dünya çapında sürdürülebilir enerji kaynaklarının teşvik edilmesi ve kullanılmasıyla, bu tür bir sistemin şebeke entegrasyonu önemli bir özelliktir. Ayrıca, akıllı şebeke kavramı, sürdürülebilir jeneratörlerin ve elektrik şebekesinin güç alışverişine karşılıklı katılımını sağlamaktadır. Akım kontrolü, şebeke arayüzlü gerilim kaynağı dönüştürücünün kontrolüne yönelik tercih edilen stratejidir. Akım kontrolü, senkron referans çerçevesinde (SRF), sabit referans çerçevesinde, PI, PR, histerezis ve Dead beat denetleyicisi kullanılarak doğal çerçevede gerçekleştirilir (Trifkovic ve ark. 2013).

3.8. Güç Yönetimi Kontrolü

Hibrit sistemdeki gücün yönetimi, AC-bus veya DC-bus'ta sabit voltaj profilini korumak için önemli bir husustur. Bu yüzden güç yönetimi kontrolü, hibrit sistem için güç yönetimi kontrolörü önerisini gerektirmektedir. Bir güç yönetimi denetleyicisi, hibrit

sistemde bağlı olan bireysel kaynaklardan uygun güç dağılımının belirlenmesini sağlamaktadır. G yönetimine yönelik yaklaşım, mikro şebekenin bağımsız veya şebekeye bağlı konfigürasyonda olabilen konfigürasyonuna bağlı olarak farklılık göstermektedir (Trifkovic ve ark. 2013).



4. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI VE BİREYSEL KULLANIM İÇİN HİBRİT YENİLENEBİLİR ENERJİ SİSTEMLERİ ÜZERİNE BİR UYGULAMA

4.1. Tanım

Hibrit enerji sistemleri veya bir başka deyişle, dağıtılmış güç sistemleri, evlerin güç ihtiyacının karşılanmasında, kırsal alandaki köylerin elektrifikasyonunda gerekli elektriksel gücü sağlayabilirler. Hibrit enerji sistemleri ile elektrik gücü üretimi güvenilir, bakım ve işletmeleri kolay ve ucuzdur. Hibrit enerji sistemleri sessiz çalışırlar ve atmosferi kirletmezler. Bu sistemlerin ayrıca, dünyada diğer elektrik kaynaklarının kullanışlı olmadığı kırsal alanlarda önemli ekonomik ve sosyal faydaları vardır.

4.2. Literatür

Khan ve Iqbal (2005), Kanada’da yer alan hibrit enerji sistemi uygulamalarında hidrojeni enerji kaynağı değil de taşıyıcı olarak aldıkları yapılabirlik çalışması oluşturmuşlardır. HOMER yazılımı sayesinde optimizasyon ve benzetim analizleri yapıp farklı konvansiyonel ve yenilenebilir enerji çözümlerine ulaşılmıştır. Ek olarak çeşitli enerji depolama metotları da incelenmiştir. Sonuç olarak yazılım sayesinde yakıt pillerinde yaşanacak olan %15’lik bir maliyet düşüşü rüzgâr-yakıt pili sisteminin daha uygun olacağını aksi takdirde günümüzdeki mali değerler ile rüzgâr-dizel akümülatör sisteminin uygun olduğu bildirilmiştir.

Dinçsoy (2010) çalışmasında HOMER ile Ege Bölgesinde yer alan bir otelin yük taleplerini karşılayabilecek en uygun hibrit sistem için modellemeler ve senaryolar gerçekleştirmiştir. Öncelikle HOMER ile güneş ve rüzgâr tabanlı aynı zamanda şebeke bağlantılı bir hibrit sistem modeli oluşturmuş daha sonra bu sistem modelinin simülasyonunu yapıp duyarlılık analizi ve optimizasyon işlemlerini gerçekleştirmiştir. Böylelikle şebekeye satılabilen ve satılamayan elektrik enerji sistemini duyarlılık analizi ve satış kapasitesi gibi gerekli parametreler kullanarak tasarlamıştır. Sonuç olarak şebekeye elektrik satamayan ve satabilen modeller için ekonomik açıdan rüzgâr hızları

sırasıyla; 7,34 m/s ve 6,75 m/s olması gerektiği bildirmiştir. Ek olarak 1 kWh’lik fotovoltaik panel ile üretilen elektrik enerjisinin maliyeti yüksek olduğunda güneş ışıının değerinin artması optimum sistem için değişmediği sonucuna ulaşmışlardır.

Ayhan’ın (2011) çalışmasında, ülkemizde pilot bir alan seçip o alandaki bina elektrik ihtiyaçlarını karşılama sistemi için rüzgâr ve güneş enerji potansiyelini ayrıntılı incelemiştir. Burada hibrit elektrik sistemini şebekeye bağımlı ya da bağımsız olmak üzere iki sisteminde maliyet ve teknik çözümlerini yapmıştır. Çeşitli meteorolojik senaryolarla bir karşılaştırma sunmuştur. Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (HAD) programından faydalanıp rüzgâr türbinlerinin bina üzerindeki optimum yeri belirlenmesini sağlamıştır. Aynı zamanda HOMER yazılım ile yıllık simülasyon sisteminin çalışması ve sistemi etkileyen bileşenlerin analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak çalışılan bölgenin yıllık ortalama rüzgâr hızı düşük seviyelerde olduğu ve elektrik satışına izin verilmediği için sistem ekonomisi ve birim maliyet artırımı gibi parametrelere odaklanması gerektiği görülmüştür. Ayrıca hibrit sistemin yenilenebilir enerji oranı şebekeye bağlı durumlarda sırasıyla güneş ışıınının fazlalaşmasıyla %55’den %62’ye, rüzgâr hızının fazlalaşmasıyla %55’den %76’ya ve iki kaynağın fazlalaşmasıyla %55’den %79’a yükselmiştir.

Maherchandani ve ark. (2012) il şebekesinin olmadığı bir yerdeki elektrik ihtiyaçlarının, şebekeden bağımsız hibrit güç üretim sistemi (PV, biyokütle ve rüzgâr) sistemlerinin maliyet açısından karşılaştırmasını hazırlamışlardır. HOMER yazılımında ana kaynağı biyokütle, destek kaynağı rüzgâr türbini ve güneş panelleri olan hibrit güç sistemleri, şebekeden bağımsız olan bu enerji kaynaklarının enerji potansiyelini alıp simülasyon yapmışlardır.

Sekuçoğlu’nun (2012) çalışmasında, enerji sistemlerini tasarlayıp enerji üretimini ve ekonomik analizlerini yapmıştır. Ardından yaptığı incelemelerin karşılaştırmasını gerçekleştirmiştir. Bu enerji sistemlerine ise rüzgâr enerji sistemi (RES), hibrit sistemi (HS) ve fotovoltaik sistemi (PVS) dahil etmiştir. Sistem tasarımları için gerekli parametreleri PVSYST ve HOMER yazılımlarından elde etmiştir. Ülkemizde yer alana farklı bölgelerden seçilmiş 5 ilin birim enerji ve sistem maliyetleri incelenmiştir. Yıllık olarak 1500, 2500 ve 3500 kWh’lik üç farklı yükleme parametresi kullanılıp kapasite yetersizlik oranının sistemlerde ki etkisi analiz edilmiştir. Şebekeden bağımsız HS’in, PVS ve RE’ne göre daha ekonomik olduğu sonucuna varmıştır. Şebeke bağlantılı

sistemleri Tarife garantili ve tarife garantisiz olmak üzere iki farklı kategoride incelenmiştir. Bu doğrultuda sistemlerde şebekeye bağlantılı olanın bağlantısız olana göre çok daha fazla tasarruflu olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çakır (2013) ideal bir ailenin tüketimi için çalışmada sınır olarak İstanbul ili içerisinde Beylerbeyi ilçesindeki bir müstakil evi belirlemiştir. Belirlenen pilot yer enerji talepleri ve kaynak uygunluğu göz önünde bulundurularak ekonomik değerler üzerinden tasarlanmıştır. Sıfır kapasite yetersizlik oranı, bileşen, yenileme ve işletme maliyetleri gibi çeşitli parametre girdileri referans alınarak bir hesaplama örneği hazırlanmıştır. Yapılan hesaplama ile yenilenebilir kaynaklar arasında yer alan enerji depolama maliyetinin enerji üretim maliyetine göre dezavantajlı olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda enerji depolama üzerinde durulması gerektiği ve maliyet azaltıcı, verimlilik artırıcı her faaliyet hibrit sistemlerin yaşantımızdaki etkisini hızlandırıp ulaşılamaz yerlerde olmasını sağlayacaktır.

Barket ve ark. (2014) Pakistan ekonomisinin merkezi tarım olduğu için tarımda tüketilen enerji krizinin etkisini azalmaya yönelik araştırma yapmıştır. Gerçekleşen araştırmalarında alternatif enerji kaynaklarının kullanımına ve tarım sektörünün önemine de odaklanmış olup mevcut manuel tarım yöntemlerinin optimizasyonu, teknoloji kullanımıyla otomasyon yoluyla gerçekleştirmişlerdir. Sonuç olarak yenilenebilir enerji kullanan otomatik akıllı sulama sistemini için elektrik kesintisi sorunu ortadan kalkmıştır. Bunlara ek olarak mahsullerin üretim verileri veri tabanı sunucunda saklanabilir olmuş olup bu sistem bize hangi yenilenebilir enerji kaynağının en iyi olduğunu söylemiştir. Uzaktan erişim ve otomasyonu, mahsulleri ve enerji üretimini izleme esnekliği sağlayarak başarılı bir sistem oluşturmuşlardır.

Güven'in (2015) yaptığı çalışmada; yenilenebilir enerjili hibrit bir sistemin enerji maliyetini optimize etmek için HOMER PRO yazılımını kullanmıştır. Gerçekleştirilen HOMER PRO yük modellemesinin planlanması, boyutlandırmanın etkisi, en verimli modelin bulunması gibi amaçlarda kullanılmıştır. Bu çalışmanın sonucunda ise tüketicinin kullanmış olduğu tüketim değerlerinin uzun vadeli ölçümler alınması ve tüketicinin kullanım alışkanlıklarına göre modelleme yapılması belirlenmiştir.

Huang ve ark. (2015) çok sayıda küçük rüzgâr türbininin daha büyük olanın yerini aldığı yeni bir rüzgâr-güneş hibrit sistemi tasarımı yapmışlardır. Çok türbinli rüzgâr-güneş hibrit sisteminin elektrik performansı, geleneksel sistemle karşılaştırılarak

inceleyip iki sistemin güç çıkışı TRNSYS yazılımı ile ölçülüp simüle edilmiştir. Sonuç olarak kurulan yeni hibrit sistemin düşük rüzgâr hızlarında daha yüksek güç elde edildiği görülmüştür. Fakat bu kurulan sistemin bir dezavantajı olarak; çok türbinli sistem devreye girdiğinde yapılacak çok iş olacağı söylenmiştir.

Özkök (2015) ülkemizdeki 7 coğrafi bölgede yer alan güneş enerjisi potansiyel atlasını (GEPA) referans alarak güneş radyasyonu en düşük ve en yüksek olan toplam 14 şehri seçerek çatı üstü fotovoltaik sistemin uygulanacağı müstakil evleri belirlemiştir. HOMER yazılım ile 3kW, 4kW ve 5kW kapasiteli çatı üstü fotovoltaik sistemlerin gün içinde saatlik elektrik tüketim miktarlarının karşılaştırmasını yapıp incelemiştir. Yaptığı karşılaştırma sonucunda PV sistemlerinde 3kW, 4kW ve 5kW kapasitelerin ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olduğu ancak geri ödeme süresi arasındaki farklılığın 1 yıla yakın olduğu görülmüştür. Aynı zamanda PV sistemlerinde 5kW kapasite olan tercih edildiğinde CO₂ emisyon miktarındaki azalmanın hane başına 2,7 ton ile 3,5 ton CO₂ eş değer aralığında olduğu gözlemlenmiştir. Bu açıdan 5kW kapasiteli PV sistemlerinin öncelikli olarak tercih edilmesi gerektiği bildirilmiştir.

Kırklareli Üniversitesi'nin Kayalı kampüsünde yer alan Merkezi Derslik-2 için çeşitli yenilenebilir enerji kaynağını kullanarak elektrik enerjisi ihtiyaçlarının giderildiğini Dursun (2016) çalışmasında göstermiştir. Öncelikle TÜİK ve YEGM verilerini referans alarak, biyokütle, güneş ve rüzgârın Kırklareli için yenilenebilir enerji kaynakları arasında enerji potansiyelinin en uygun kaynaklar olduğunu belirlemiştir. Daha sonra bu sistemin tekno-ekonomik değerlendirmesini yapmak için HOMER yazılımı sayesinde beş farklı hibrit yenilenebilir güç üretim sistemleri tasarlayarak en uygun sistemi belirlemiştir. Yaptığı beş sistemi maliyet ele alınarak karşılaştırdığında ise 0,165\$/kWh şebekeye bağlı fotovoltaik/rüzgâr/biyokütle hibrit sistemi olarak sunmuştur. Ancak bu sistemde yenilenebilir kullanım oranı %91 ve diğer konfigürasyonlarda ise %100 olduğu belirtilmiştir.

Rahman ve ark. (2016) Kanada'da elektrik şebekesine bağlı olmayan izole olmuş toplumlar için şebekeden bağımsız hibrit enerji sistemini ele almışlardır. Gerçekleştirilen çalışmada hibrit enerji sisteminin uygulanmasını, değerlendirmesini ve elektrik talebini güvenilir bir şekilde karşılamak için en iyi hibrit enerji kombinasyonu için 7 adet senaryo geliştirmişlerdir. Bunun sonucunda ise sera gazı emisyon ceza maliyeti dikkate alındığında, 1,48 \$/kWh-0,36 \$/kWh olmuştur.

Aktar (2017) çalışmasında; fotovoltaik panel ve rüzgâr türbininden yararlanarak modellediği hibrit sistemin verimini araştırmıştır. Bu hibrit sisteminde rüzgâr türbini el ile yapılmış olup güneş paneli piyasada bulunan polikristal bir model kullanmıştır. Yapmış oldukları çalışmada güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisinin değişken olduğunu bu sebepten dolayı iki enerji kaynağının aynı sistemde kullanılması ile çok daha fazla fayda sağlayacağını görmüştür.

Hodge ve ark. (2018) yenilenebilir enerjili bir sistemde esneklik oluşturarak iki farklı bölümde incelemişlerdir. Birinci bölümde yenilenebilir enerjili tahmin iyileştirme olurken ikinci bölümde elektrik depolaması olarak inceleme yapmışlardır. Her bölümün ayrı ayrı kullanılması değil birlikte kullanılmasının doğru olduğu sonucuna varmışlardır.

Sevdim (2018) çalışmasında; yapay sinir ağlarını kullanarak hibrit bir çalışmayı Trakya Bölgesi için yapmıştır. Çalışmasında yapay sinir ağlarını gerekli parametreleri reel değerler kullanarak MATLAB yazılımında simüle ederek kullanmıştır. Bu çalışmasının sonucu olarak bölgeye göre rüzgâr türbini ve güneş panelinin kurulacağı konumunun belirlenmesinde yardımcı olmuştur.

Türkdoğan ve arkadaşları (2018) yaptıkları çalışmada şebekeden bağımsız olarak hibrit enerji sistemlerinin çiftlik evinde uygulamasını teknik ve ekonomik olarak incelemişlerdir. Çalışmada HOMER programı kullanarak hibrit enerji sistem modeli oluşturulmuş ve çiftlik evinde gerekli elektriksel yüklerinin ihtiyaçları hesaplanmıştır. Çalışmadaki hibrit enerji sisteminde lityum iyon ve kurşun asit batarya grupları kullanılmıştır. Buna ilaveten bölgenin rüzgâr hızı, rüzgâr türbinlerinin rotor yüksekliği ve dizel yakıt fiyatları gibi parametreler dâhil edilerek analizler gerçekleştirilmiştir ve uygun enerji sistemlerine karar verilmiştir. Kurşun asit batarya kullanılan sistemin birim enerji maliyeti 0,514\$, lityum iyon batarya kullanılan sistemin birim enerji maliyeti 0,446\$ olarak elde edilmiştir.

Genç (2019) çalışmasında şebeke bağlantılı ve bağlantısız halleri rüzgâr-dizel ve güneş hibrit santrallerde gözlemlemiştir. Ortak parametre olarak dizel jeneratör kullanılarak sistem güvenliği sağlamıştır. Farklı parametre olarak da şebeke bağlantısız duruma akü eklemiştir. Çalışma sınırında Elâzığ şehrini alıp HOMER ile simülasyon yapmıştır. Simülasyonda modellenen hibrit sistemin finansal ve teknik analizleri değerlendirilmiştir. Şebekeye bağlı sistemlere eklenen hibrit sistem sayesinde güvenilirlik

ve ekonomik durumda daha üstte olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ek olarak enerji maliyeti şebeke bağlantısız sisteme göre fazla olan şebeke bağlantılı sistemlerin sermaye maliyeti ise üç kat daha ucuz olduğu görülmüştür.

Külekçioğlu (2019) yaptığı çalışmada; şebekeden bağımsız yenilenebilir enerjili hibrit bir sistem kurarak MATLAB Simulink ile modellemiştir. Modelleme sonucunda maksimum güç takibi yapabilecek bir eleman kullanarak verimin arttırılabileceği sonucuna varmıştır.

Mamur ve arkadaşları (2019) yaptıkları çalışmada Manisa ilinde bulunan bir kamu binası için kurulabilecek hibrit enerji sistemlerinin analizini yapmışlardır. Seçilen kamu binasının aylık ve yıllık maksimum ve minimum elektrik enerji ihtiyaçları belirlenmiştir. Sonrasında ise gerekli ihtiyacı karşılayabilecek rüzgâr ve güneş enerjisi kullanımı ile kurulması planlanan hibrit enerji sisteminin fizibilite çalışması yapılmıştır. Elde edilen veriler HOMER programı kullanılarak analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar 36 kW rüzgâr türbini ve 23 kW güneş panelli şebekeye bağlı kurulacak hibrit enerji sisteminin kamu binasının ihtiyacı olan elektrik enerjisini karşılayabileceği belirlenmiştir. Ayrıca, kurulması planlanan sistemin 7-8 yıllık bir süreçte kendisini amorti edebileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Shivaie ve ark. (2019) çalışmalarında, güneş paneli, rüzgâr türbini, dizel jeneratör ve akü depolama bileşenlerini dahil ederek bir otonom hibrit yenilenebilir sistemin optimum boyutlandırılmasını belirlemek için uygun maliyetli bir model oluşturmuşlardır. Bunun sonucunda, yeni dizayn edilmiş ayırık yarasa arama algoritması (MD-BAT), diğer optimizasyon algoritmalarına kıyasla daha yüksek doğruluk ve hızlı optimal bir çözüm bulmak için uygun bir optimizasyon algoritması olmuştur.

Bir diğer Homer Pro yazılımı ile hibrit sistem maliyet kıyaslama çalışması da Yazıcı'nın (2019) İstanbul şehrinde rüzgâr, güneş ve kojenerasyon santralleri ile akıllı şebeke sistemi tasarlayarak hem kendi aralarında hem de şebeke ile çalışma durumunu kıyasladığı çalışmadır. Çalışmanın sonucunda akıllı şebeke sistemi için 8,11 milyon TL maliyetle kurulacağı ve 3,91 yılda bu maliyeti kapatarak sonraki yılda 2,07 Milyon TL kar ettiği görülmüştür. 500 kW rüzgâr ve güneş enerjisi santralinin sırasıyla 3,55, 3,3 Milyon TL kurulum maliyetinin olduğunu ayrıca yine sırasıyla 4,38 ve 4,48 yılda amorti ettiği gözlemlenmiştir. Ayrıca bir diğer santral olan 200 kW gaz kojenerasyon santralinin kurulum maliyeti ise 1,26 milyon TL olup 2,38 yılda maliyeti amorti etmekte

olduğu görülmüştür. Elde edilen bu değerler de şehirde yaşanan hava olaylarının santraldeki üretim miktarında etkili olduğu da görülmüştür. Aynı zamanda geleneksel şebekede ortalama 10-12 enerji kesintisi yaşanırken akıllı sistemlerde bu sorun yaşanmamıştır. Bu doğrultuda akıllı sistemlerdeki enerji kalitesi ve akışının verimli olduğu kanıtlanmıştır.

Ali ve Choi (2020) gelecekteki dağıtılmış akıllı şebeke uygulamaları için tasarlanmış yapay zekâ tekniklerinin kapsamlı bir incelemesini araştırmıştır. Genellikle yapay zekâ tekniklerinin bazı sınırlamalarını araştırmışlardır. Sonuç olarak güç kalitesini artırmak için dağıtım şebekesindeki güç kayıplarını azaltmak ve yapay zekâ tekniklerinin uygulanmasını kullanmışlardır. Yapay zekâ teknikleri, daha akıllı bir şebeke oluşturmak için akıllı şebeke hizmetlerinin kapsamını genişleterek, dağıtılmış kaynakların gelişmiş ve otomatik yönetimini sağlayabileceği sonucuna varmışlardır.

Çakmak ve arkadaşları (2020) Bilecik'te bulunan bir üniversitenin elektrik enerjisini karşılamak için kurulması planlanan hibrit enerji sisteminin ihtiyacı karşılama durumunu elektrik enerjisi ihtiyaç analizi ve optimizasyon temelli çalışmayı gerçekleştirmişlerdir. Çalışmada veri analizi ve optimizasyonu programı olarak HOMER yazılımı kullanılmış ve böylece bilgisayarda oluşturulan sistemin olabildiğince gerçekçi olmasını sağlama ve rüzgâr hızı ile güneş ışınlarının zamana göre değişikliklerini dikkate alarak olabildiğince optimum sonuçlara ulaşılması hedeflenmiştir. Yapılan sonuçlar kurulabilecek hibrit enerji sisteminin üniversitenin ihtiyaç duyduğu elektrik enerjisinin yaklaşık %67'lik kısmını karşılayabileceğini göstermiştir. Bu sonuç ile yıllık olarak yaklaşık 41bin dolarlık tasarruf yapılabileceği elde edilmiştir. Hibrit enerji sisteminden elde edilen enerjinin büyük çoğunluğu rüzgâr enerjisinden elde edilecek ve toplam hibrit yapının 7 yıl da geri dönüşümünün olacağı beklenmektedir.

Kayıkçı (2020) Aydın şehrinde yer alan Didim ilçesinde ki bir evin enerji talebini 2,68 kW pik yük ve 12,63 kWh şeklinde olduğunu belirlemiştir. Ayrıca çalışmasında bu konutun yenilenebilir enerji sistemi şebekeye bağlı bir şekilde modelleyip çevresel ve ekonomik analizlerini yapmıştır. Yenilenebilir enerji sisteminin eklenmesi ile karbon emisyonlarının da %26 ile %58 arasında bir azalma oldu görülmüştür. Ayrıca yenilenebilir enerji sistemlerinin arasında 19 kW fotovoltaiik sistemin kullanılmasıyla enerji birim fiyatının -0,0354 TL/kWh ve kullanım oranının ise %93,10 olduğu

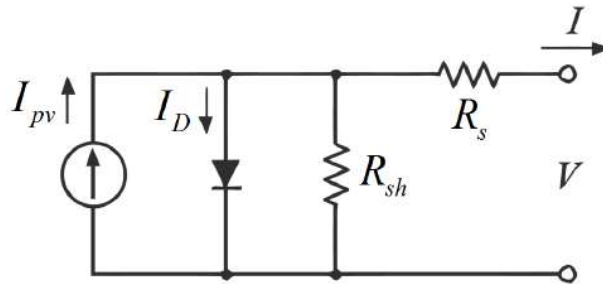
görülmüştür. Ayrıca 1,5 kW rüzgâr türbininin ve 5 kW fotovoltaik sistemin şebekeye bağlanmasıyla oluşturulan optimum sistem sayesinde kullanım oranı %83,50 olup birim fiyatın 0,1120 TL/kWh olduğu görülmüştür. Bu doğrultuda %80 oranında bir fiyat azalması beklenilmektedir.

Suresh ve ark. (2020) Karnataka, Chamarajanagar bölgesindeki Kollegal bloğundaki üç köy mezrasından oluşan kümeyi elektrikleştirmek için kullanılan şebekeden bağımsız hibrit enerji sisteminin modellemesini ve optimizasyonunu çalışmışlardır. Tasarlanan 4 farklı hibrit enerji sisteminin modellemesini, Genetik Algoritma ve HOMER Pro yazılımı aracılığıyla değerlendirmişlerdir. Dört kombinasyon, kurulum maliyeti ve enerji maliyetine dayalı olarak dikkate alınıp değerlendirilmiştir. HOMER ve Genetik Algoritma kullanan dört hibrit yenilenebilir enerjili sistem kombinasyonunun tümü karşılaştırıldığında, GA tabanlı optimizasyon, HOMER'e göre daha uygundur. Ayrıca Genetik Algoritma tabanlı sistem, HOMER'e göre daha fazla PV ve daha az CO2 emisyonuna sahiptir.

4.3. Simülasyonda Kullanılan Hesaplamalar

4.3.1. Güneş Paneli Kullanılan Hesaplamalar

Sistemi modellemek için her bir bileşenin matematiksel modelinin çıkarılması gerekmektedir. İdeal bir güneş paneli akım kaynağı gibi çalışır ancak pratikte sistemin iç direnci, özellikle birçok panelin birlikte seri ve paralel olarak kullanılmasından dolayı, hesaplamalarda önemli bir yer tutar. Seri direnç (R_s) genellikle çok küçük bir değer iken şönt direnç (R_{sh}) değeri oldukça yüksek seçilmelidir.



$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T - 298)] \cdot \frac{I_r}{1000} \quad (4.1)$$

Burada, I_{ph} güneş panelinin foto-akımı, I_{sc} kısa devre akımı, K_i her bir hücrenin 25°C sıcaklıktaki kısa devre akımını, T kelvin olarak çalışma sıcaklığını, I_r ise metrekare

başına watt olarak solar ışıma gücünü belirtmektedir. Panelin ters satürasyon akımı I_{rs} aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\frac{q \cdot V_{oc}}{e N_s \cdot k \cdot n \cdot T} - 1} \quad (4.2)$$

Burada, q elektron yükü ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C), V_{oc} güneş panelinin açık devre gerilimi, N_s seri bağlı hücre sayısı, k Boltzmann sabiti ($1,3805 \cdot 10^{-23}$ J/K), T pn bileşim yüzeyinin sıcaklığıdır. Modülün satürasyon akımı I_{sat} sıcaklığı bağlı olarak aşağıdaki gibi değişir.

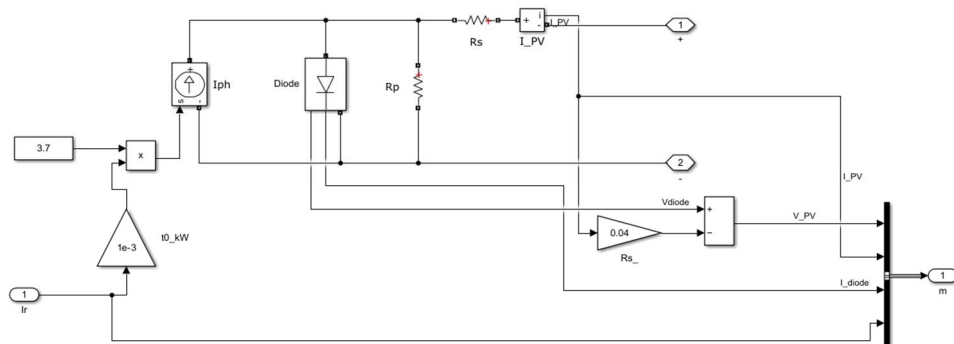
$$I_{sat} = I_{rs} \left(\frac{T}{T_r} \right)^3 \cdot e \left[\frac{q \cdot E_{go}}{nk} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_r} \right) \right] \quad (4.3)$$

Burada, T_r nominal sıcaklığı (298,15K), E_{go} yarı iletkenin boşluk atlama enerjisini (1,1 eV) ifade etmektedir. Bu durumda güneş panelinin çıkış akımı aşağıdaki gibi olur.

$$I = N_p \cdot I_{ph} - N_p \cdot I_0 \cdot \left[e^{\left(\frac{V}{N_s + 1 \cdot \left(\frac{R_s}{N_p} \right)} \cdot \frac{1}{n \cdot V_t} \right)} - 1 \right] - I_{sh} \quad (4.4)$$

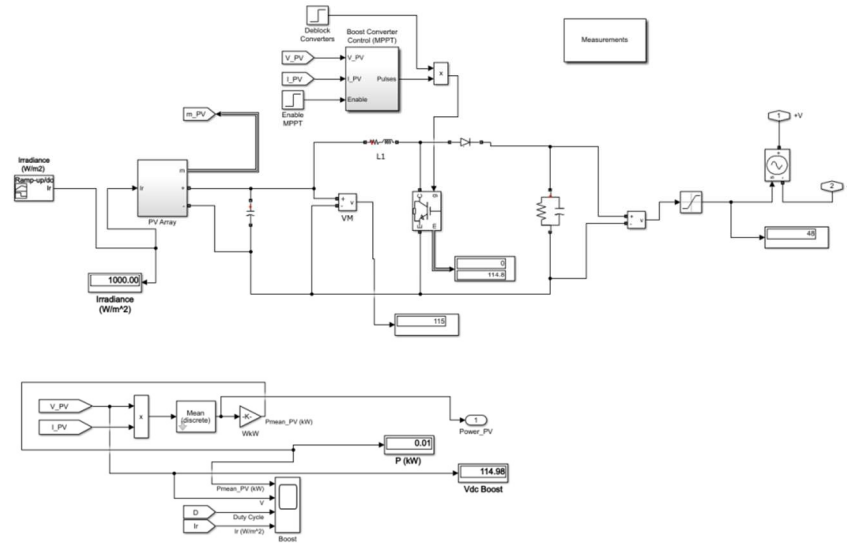
Burada, N_p paralel bağlı modül sayısı, R_s seri direnç değeri, R_{sh} şönt direnç değeri, V_t ise diyot termal gerilimidir. Şönt akım değeri I_{sh} aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I_{sh} = \frac{V \cdot \left(\frac{N_p}{N_s} \right) + I \cdot R_s}{R_{sh}} \quad (4.5)$$



Şekil 4.1. Güneş enerjisi güç simulink modeli

Güneş Enerjisi sistemi simulink modeli Şekil 4.2’de gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Güneş enerjisi sistemi simulink modeli

4.3.2. Rüzgâr Türbini Kullanılan Hesaplamalar

Rüzgâr türbinleri, genel olarak dikey ve yatay eksenli olarak ikiye ayrılır. Birçok farklı model ve tasarım olmasına karşın, genelde 2 veya 3 kanatlı olarak kullanılırlar. Bu türbinlerin ürettiği elektrik enerjisi kurulduğu yerdeki hava yoğunluğu, rüzgâr hızı ve kanatların tarama alanına bağlı olarak değişir.

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V_w^3 \quad (4.6)$$

Burada, C_p türbinin güç katsayısı, ρ hava yoğunluğu, A rotorun tarama alanı, V_w rüzgâr hızını ifade etmektedir. Türbin güç katsayısı (C_p) kanat ucu hızı ile bıçak yarıçapının bir fonksiyonu olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir. Ayrıca türbin tarafından üretilen güç (P_w) rüzgâr gücünün ürettiği tork (T_w) ve rotor hızının (W_w) çarpımına eşittir. λ ise kanat ucu hızının rüzgâr hızına oranıdır.

$$P_w = T_w \cdot W_w \quad (4.7)$$

$$T_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot C_p \cdot \frac{V_w^3}{\lambda} \quad (4.8)$$

4.4. Simülasyon

4.4.1. Maksimum Güç Kontrolü

Bir güneş hücresinin verimi oldukça düşüktür. Verimi arttırmanın yolu, kaynak ile yükü birbirine uyumlu kılmaktır. Bu yöntemlerden biri de maksimum güç noktası izleme yöntemidir. Bu teknik, kaynaktan maksimum güç elde etmek için kullanılır. Fotovoltaik sistemlerin V-I karakteristikleri doğrusal olmadığı için, yük üzerindeki gücü belirlemek zor olmaktadır. Bir güneş pilinin Matlab/Simulink modeli, bir MPPT algoritması kullanarak, DC-DC dönüştürücünün işaret-boşluk oranını değiştirerek yapılabilir. Uygulamada pek çok MPPT algoritması mevcuttur. Bu çalışmada, dürt ve gözlemle (P&O) metodu seçilmiştir. Uygulamada en çok kullanılan kontrol algoritması, dürt ve gözlemle kontrol algoritmasıdır. Çünkü, bu kontrol algoritmasını gerçekleştirmek oldukça basittir. Fotovoltaik dizinin çalışma gerilimi verilen yöndedir ve $dP/dV > 0$ 'dır. Buradan, fotovoltaik dizinin çalışma geriliminin MPP noktasına doğru hareket ettiği anlaşılır. P&O kontrol yönteminin akış diyagramı görülmektedir. P&O algoritmasının avantajı, bu kontrol yöntemini gerçekleştirmenin kolay olmasıdır. Bununla birlikte, MPP noktası civarında osilasyonlar, düşük hız cevabı ve hızla değişen atmosferik koşullar gibi, bazı sınırlamalarda mevcuttur. MPPT sistemleri, PV sistemin maksimum güç üretebileceği gerilim değerini hesaplar. 20-80 kHz aralığındaki yüksek frekanslarda çalışan DC-DC güç konverterleri, PV panel çıkışındaki DC gerilimi, önce yüksek frekanslı AC bir sinyale çevirir. Daha sonra istenilen DC gerilim seviyesi değerine çevirirler. Yüksek frekans aralığı sayesinde, çok yüksek verimli çeviriciler, küçük boyutlu elemanlarla tasarlanabilmektedir. Geliştirilen PV sistemde kullanılan MPPT kontrol modeli görülmektedir. PV dizi girişinde referans akım (I_{ref}) ve güneş ışınımı bilgisi bulunmaktadır. Modelde güneş ışınımı, hem 1000 W/m² sabit değerinde, hem de zamanla değişecek şekilde seçilebilmektedir. I_{ref} referans akımı, PV sistem çıkışındaki MPPT kontrol bloğu ile kontrol edilmektedir. MPPT kontrol bloğunun girişine, PV sistemin çıkış gücü olan PPV uygulanmaktadır.

4.4.2. DC-DC Çevirici

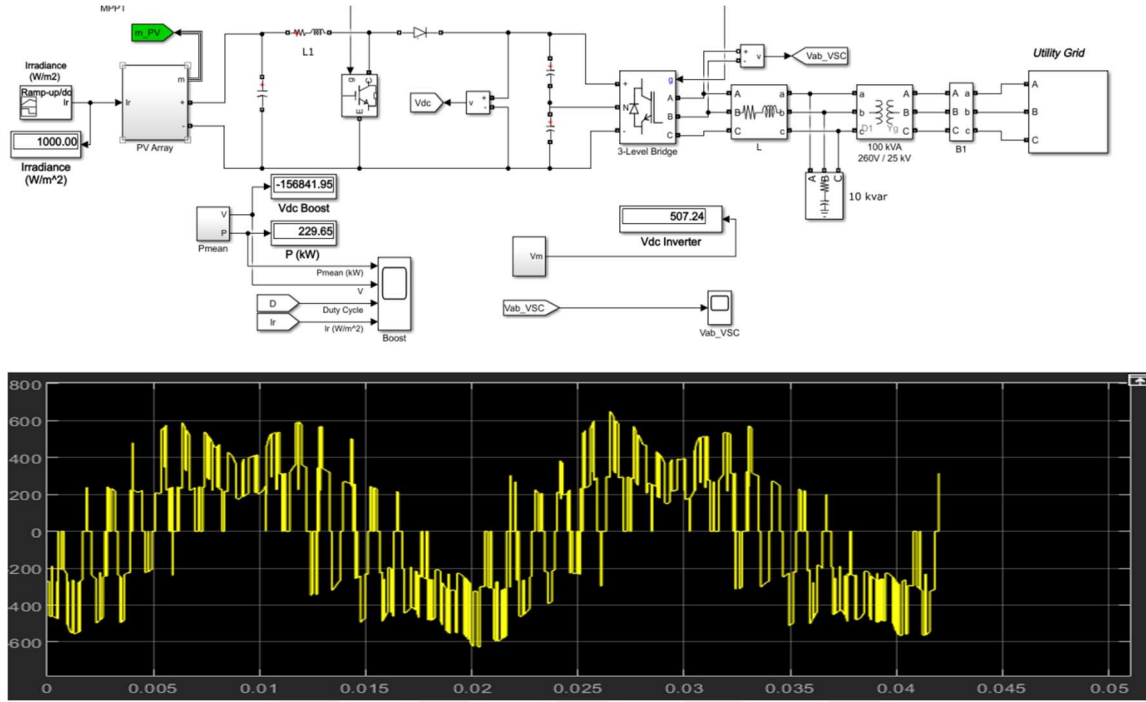
Güç kaynaklarının maksimum güç verebilmeleri, bağlı oldukları yükün gücü ile uyuşmalarına bağlıdır. PV sistemlerin pratik uygulamalarında da panelin ürettiği güç ile yükün ihtiyaç duyduğu güç arasında bir uyumsuzluk vardır. Bu uyumsuzluk, akülerle aşılabileceği gibi, güneş paneli ile yük arasına eklenecek devrelerle de giderilebilir. Yük uyumunu sağlayabilecek söz konusu devreler, DC-DC konverter devreleridir. PV hücreler tarafından üretilen enerjinin harcanacağı yükler de aynı şekilde dikkatli hazırlanmalıdır. PV sistemlerde MPPT tasarımı yapılırken, genellikle, Buck (alçaltıcı) ve Boost (yükseltici) konverter devreleri kullanılmaktadır. Buck konverter genelde düşük, Boost konverter ise daha yüksek çıkış gerilimlerinde kullanılmaktadır. Yükün durumunun bilindiği durumlarda Buck veya Boost konverter arasında seçim yapılabilir. Ancak bu da tasarım açısından uygun olmayacaktır. Çünkü PV sisteme bağlı olan yük her zaman aynı değerde kalmayabilir veya farklı zamanlarda, farklı yükler sisteme dahil edilebilir.

Böylece çıkış gerilimi yükün ihtiyacıyla karşılaştırıldığında düşük seviyede kalırken, yükün değişmesiyle gerilimde artış meydana gelebilir. Tam tersi durum da ihtimal dahilindedir. Bu sebeple, yük uyumu sağlanırken, sistemin ihtiyacına göre çözüm üretmek gerekir. PV sisteme bağlı yük daima sabitse, yük seviyesine göre uygun konverter seçilerek çözüme gidilebilir. PV enerjiyle çalışan trafik ışıkları, bu duruma örnek olarak verilebilir. Sistem yalnızca tek bir sabit yükü beslediğinden, uygun konverter ile uygun çıkış gücü elde etmek yeterli olacaktır. Ancak yükün sürekli değiştiği, sisteme yeni yükler eklendiği veya çıkarıldığı durumlarda, sabit konverter seçimi çözüm olamayacaktır.

Bu durumda belirli yükler sisteme dahil iken çıkış gücü fazla olduğu halde, yüklerin bir kısmı sistemden çıktığında, çıkış gücü miktarı yetersiz olabilir. Buradan da anlaşılabileceği gibi, çıkış gücünü bazen arttırmak, bazen de azaltmak gerekecektir. Bu durumlarda da Buck-Boost konverter yapıları tercih edilmelidir. Pratikte Buck konverterin verimi daha yüksektir. Pratik uygulamalarda, akım bazen giriş portuna akmamaktadır. Boost konverterin verimi, Buck konvertere göre nispeten düşük olmasına rağmen, sabit akım üretebilmektedir. Böylece sürekli akım modunda daha yüksek uyum gösterebilir.

Burada gösterilen simülasyonda, giriş gerilimi olan 200 V, konverter çıkışında yaklaşık 607 V değerine yükseltilmiştir. Giriş referans akımı 6 A iken, çıkış akımı 3.7 A olarak

ayarlanmıştır. Bu durumda konverterin verimi de yaklaşık %96 civarında olmaktadır. Şekil 4.6 da ise boost konverter modelinin iç yapısı gösterilmiştir.

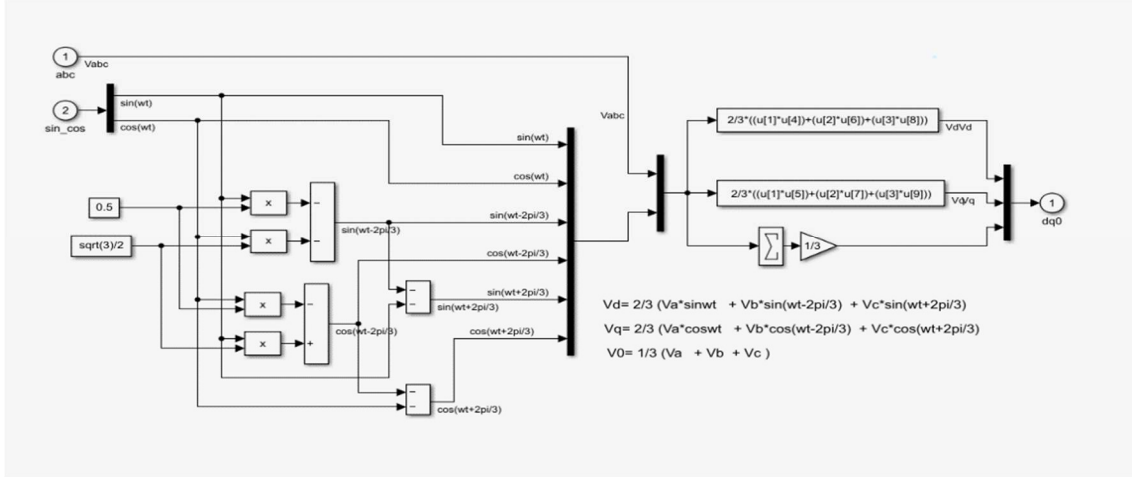


Şekil 4.6. DC -DC yükseltici konvertör kullanılarak oluşturulan PV sistem simulink modeli

4.4.3. PLL & Ölçüm

Akıllı güç izleyici ve kademeli dönüştürücü ile PLL tabanlı enerji verimli PV sisteminin blok şematik gösterimi Şekil 4.7'de gösterilmektedir. Sistem, ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştüren kaynak görevi gören PV dizisinden oluşur. Bu çalışmada hem ileri besleme hem de geri besleme kontrolü gerçekleştirilir. Maksimum güç noktası takibi, kademeli ağdaki ilk dönüştürücü için bulanık mantık denetleyici kullanılarak ileri beslemeli kontrol olarak gerçekleştirilir. Anahtarlara giden darbeler, bulanık tabanlı güç izleme algoritması kullanılarak üretilir. Yük gereksinimlerini karşılamak için kademeli dönüştürücünün ikinci aşaması için üç aşamalı yumuşak anahtarlama yükseltici dönüştürücü (TSSSBC) kullanılır. TSSSBC için darbeler birbirinden 120° faz kaymalıdır. Üç aşamalı bir yükseltici dönüştürücü, normal bir yükseltici dönüştürücüden tasarlanmış, geliştirilmiş ve modifiye edilmiştir. Takviye dönüştürücüdeki aşama sayısı arttıkça indüktörün boyutu küçülür, böylece kompakt hale getirilebilir ve dalgalanma içeriğinde de azalma sağlanabilir. Her aşama için faz gecikmesi, aşama sayısı olmak üzere ile verilir. Kademe sayısı arttıkça regüle edilen

çıkıntının kalitesi artar ama aynı zamanda devrenin karmaşıklığı da artar. Azaltılmış dalgalanma içeriği ile azaltılmış karmaşıklığı sağlamak için, mevcut çalışmada üç aşamalı bir yükseltici dönüştürücü kullanılmaktadır. Daha düşük dalgalanma içeriği ile doğru terminal voltajı sağlamak için, mevcut çalışmada faz kilitli döngü ile geri besleme kontrolü önerilmiştir.



Şekil 4.7. PLL dönüştürücü simulink modeli

4.4.4 Rüzgâr Türbini Matlab Simülasyon Uygulaması

Rüzgâr enerjisi çevre dostu ve sonsuz bir kaynaktır. Bu nedenle, bir rüzgâr enerjisi üretim sistemi, gelecekteki talep için gelecek vaat eden alternatif enerji kaynaklarından biri olabilir. Rüzgâr türbinleri, rüzgârın kinetik enerjisini mekanik enerjiye dönüştürür. Dönüştürülen bu mekanik enerjinin büyüklüğü hava yoğunluğuna ve rüzgâr hızına bağlıdır. Türbin tarafından geliştirilen rüzgâr gücü (Pm) aşağıdaki denklemle verilir:

$$P_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda, \beta) \rho A w^3 \quad (4.9)$$

Pm= Türbinin mekanik çıkış gücü

Cp = Türbin performans katsayısı

ρ= Hava Yoğunluğu (kg/m3)

A= Türbinin kanatlarının alanı (m3)

w = Rüzgâr hızı (m/sn)

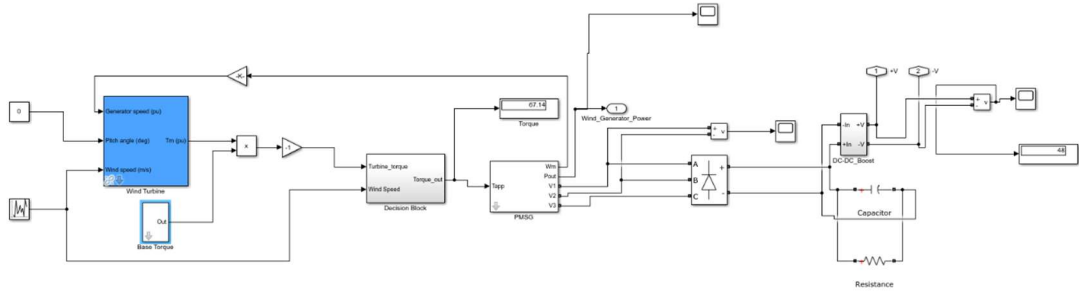
λ = Rotor kanadı uç hızının rüzgar hızına uç hızı oranı

β = Bıçak hatve açısı (derece)

Bu çalışmada rüzgâr türbinine bağlı daimî mıknatıslı senkron jeneratör kullanılarak enerji üretimi sağlanmıştır. Senkron jeneratörün çıkışındaki kontrolsüz doğrultucuyla elde edilen DA gerilim arttıran (boost) çevirici aracılığıyla daha yüksek bir seviyeye çıkartılmaktadır. Sistemde kullanılan rüzgâr türbininin Matlab modeli aşağıda belirtilmiştir.

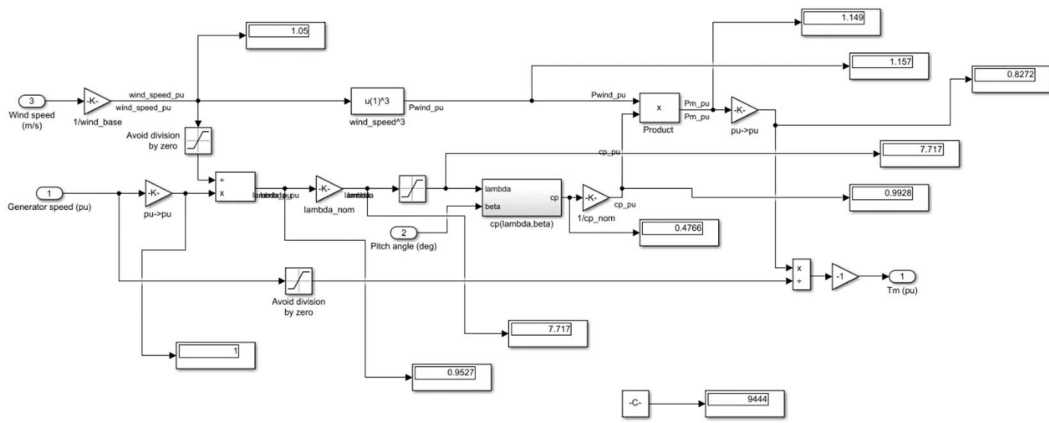
Simülasyondaki amaç uygulanan tork amacıyla mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmektir. Rüzgâr hızı değişimlerinin üretilen tork üzerindeki etkisini değerlendirmek için bir rüzgâr türbini tasarlanmıştır. Uç hız oranı λ ve kanat eğim açısı β 'ya bağlı olan performans katsayısı $C_p(\lambda, \beta)$, rüzgar türbini sistemi tarafından rüzgar kinetik enerjisinin ne kadarının yakalanabileceğini belirler ve bununla birlikte doğrusal olmayan C_p formülünü belirtmiş olup Matlab/Simulink üzerinden denklem kurulmuştur.

Matlab/Simulink üzerinden subsystemler kullanılarak denklemler bloklar halinde simülasyonu yapılmış olup türbin tarafından geliştirilen rüzgâr gücü (P_m) formülüne eklenmiştir son olarak subsytem giriş ve çıkışları belirlenmiş olup rüzgar türbininden PMSG (Kalıcı mıknatıslı senkron makine) jeneratörü ve kurulan voltmetre ile ampermetre sayesinde elektriksel olarak çıktılar alınmıştır.

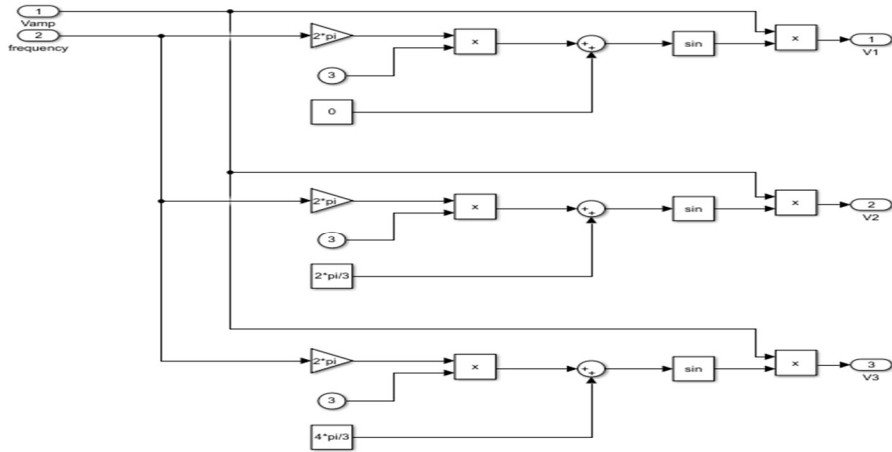


Şekil 4.8. Rüzgâr türbin blok şeması

Şekil 4.10'da verilen uygulamada daimî mıknatıslı senkron jeneratör (PMSG) kullanılmış olup, dişli sistemi kullanılmadan devre bağlantıları gerçekleştirilmiştir. Merkezi mıknatısın etrafında 3 set bakır tel bobin bulunur. Mıknatıs döndükçe, mıknatısın manyetik alanı bu bakır telleri keserek elektronları ileri geri iter. Bu, tellerde cihazlara güç sağlamak için kullanılabilir bir alternatif akım (AC) üretir. Her bir bakır tel bobin seti, elektronları farklı bir zaman aralığında (veya fazda) iter ve çeker, böylece türbininizden gelen toplam güç çıkışı güzel ve pürüzsüz olur.

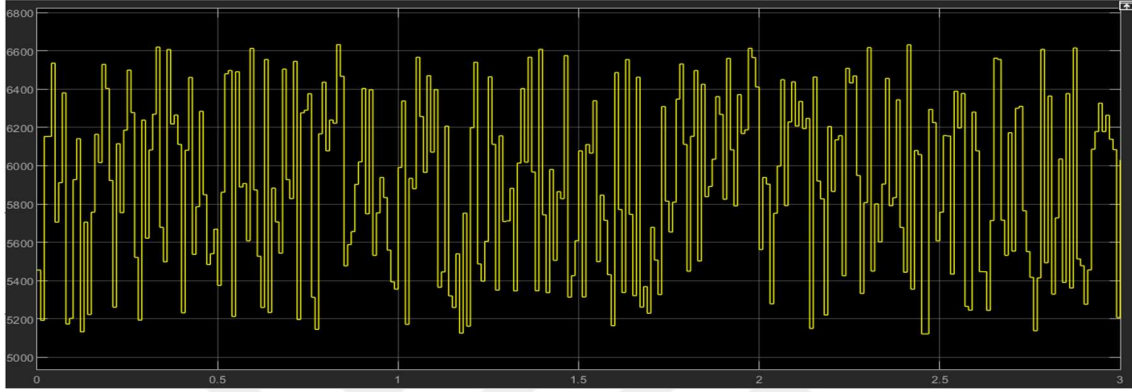


Şekil 4.9. Rüzgâr türbini güç sistemi



Şekil 4.10. 3 fazlı jeneratör simulink modeli

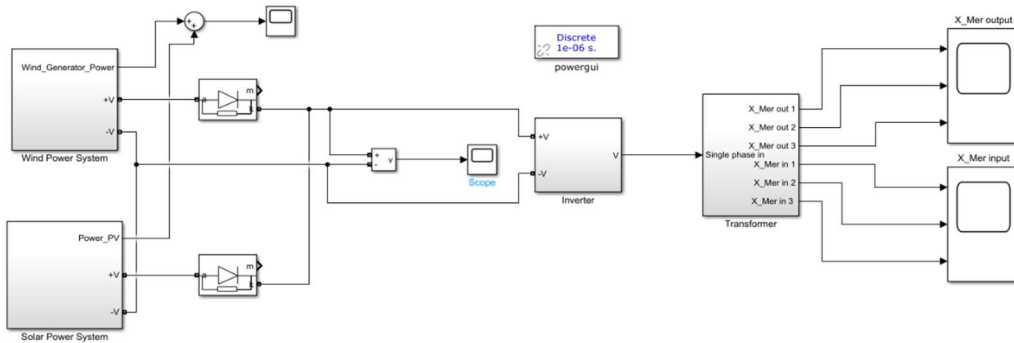
Türbinin mekanik çıkış gücü başlangıç torkuyla çarpılıp çıkış torku 67.3 ölçülmüş jeneratöre eklenmiştir ve simülasyonda daimî mıknatıslı senkron jeneratör frekans değeri 50Hz alınmış olup V1 V2 V3 çıkışları bir voltaj ölçüm kaynağına bağlanmıştır. Bununla birlikte çıkış voltajları güç elektroniği olan ve köprü görevi gören diyota bağlanmıştır. Seri RC snubber devreleri, her anahtarlama cihazına paralel olarak bağlanmıştır ve iyotların ve tristörlerin iç endüktansı L_{on} değeri “0” alınmıştır böylece daimî mıknatıslı senkron jeneratör gücü 6600 watt olarak hesaplanmıştır.



Şekil 4.11. Jeneratör ölçülen güç değeri tablosu

4.4.5. Hibrit Sistem Matlab/Simulink Uygulaması

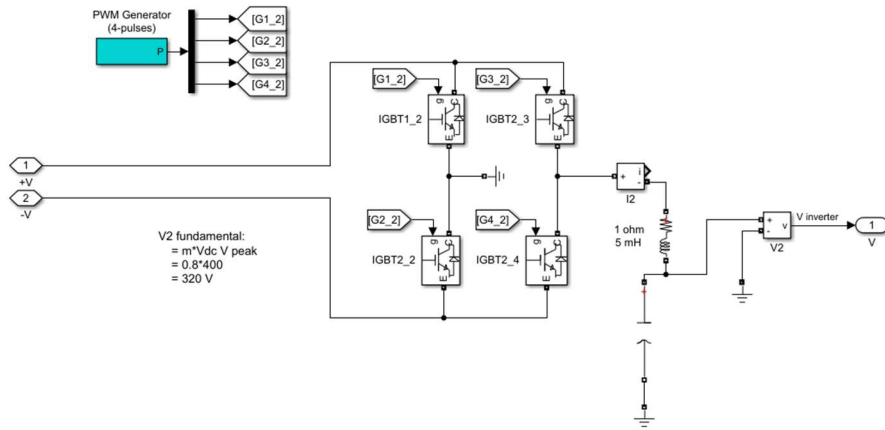
Bu tez çalışmasında güneş ve rüzgârdan elektrik enerjisi üreten şebekeye bağlı bir hibrit güç üretim sistemi Matlab/Simulink ortamında modellenerek simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Burada kullanılan yöntemlerle birlikte güneş ve rüzgâr türbinlerinin çıkış voltajları bir paralel diyota bağlanmıştır ve indüktans değeri sıfır alınmıştır daha sonra Bir DC/DA inverter kullanılarak transformatör ile iki elektriksel devrenin elektromanyetik indüksiyonla birbirine bağlanması sağlanmıştır bu sayede enerjiyi elektromanyetik bir alan aracılığıyla naklettik.



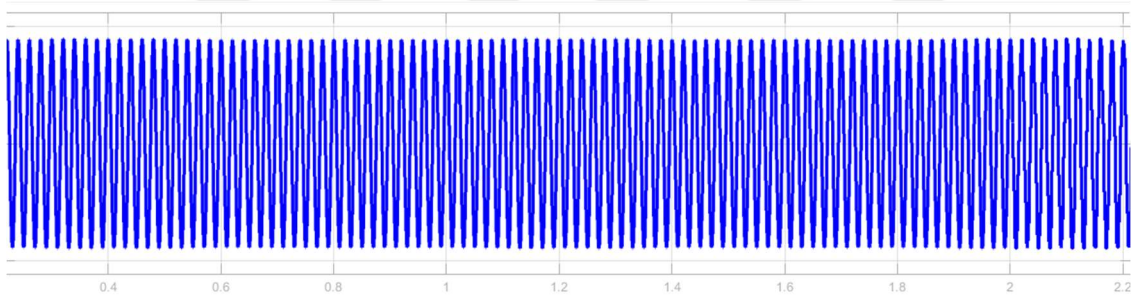
Şekil 4.12. Hibrit sistem matlab/simulink blok şeması

4.4.6. DC-AC Dönüştürücü

DC akımı bir inverter kullanarak AC akıma dönüştürmek gerekir. Simülasyon da güneş ve rüzgâr türbininden alınan çıkışlar diyotlara bağlandıktan sonra inverterin +V -V girişlerine bağlanmıştır ve bu sayede dönüştürücü (inverter) DC akımı alır ve yüksek frekanslı AC akıma dönüştürür.



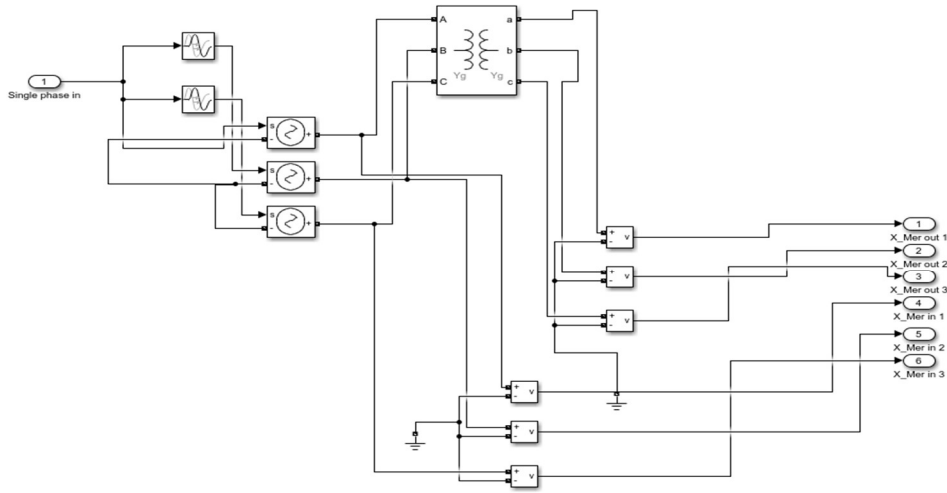
Şekil 4.13. DC/AC dönüştürücü simulink blokları



Şekil 4.14. AC dönüştürücü sinusoidal simulink grafiği

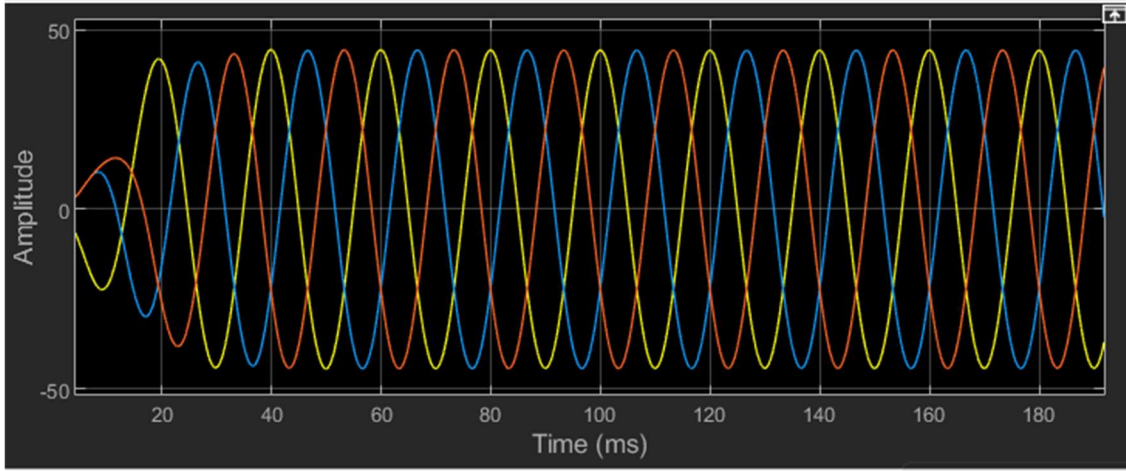
4.4.7. Transformatör

Simülasyonda kullanılan transformatör 3 giriş ve 3 çıkış fazı vardır inverterden gelen çıkış tek transformatörün tek fazına bağlanıp elektrik enerjisinin belirli gücünde akım ve gerilim değerleri istenilen değere getirilmiştir. Transformatörün herhangi bir bobinindeki değişen akım, transformatörün çekirdeğinde değişken bir manyetik akı üretmektedir. Bu sayede düşük akımlı yüksek gerilimli elektriği, hemen hiç enerji kaybı olmaksızın yüksek akımlı düşük gerilimli duruma (veya tam tersi) dönüştürmektedir.

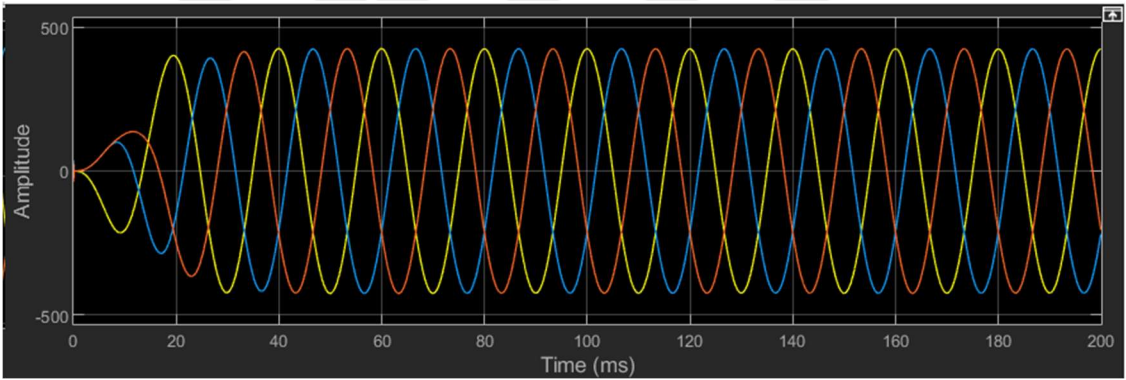


Şekil 4.15. Transformatörün simulink blok şeması

Transformatör giriş ve çıkış genliği simulink grafikleri Şekil 4.16 ve Şekil 4.17’de gösterilmiştir.



Şekil 4.16. Transformatör giriş genliği simulink grafiği



Şekil 4.17. Transformatör çıkış genliği simulink grafiği

4.4.8. Güç Kalitesi

Güç kalitesi tanımı için farklı insanlar ve kurumlar tarafından çeşitli yorumlar getirilmiştir. Güç kalitesi için kullanılmakta olan farklı terimlere örnek vermek gerekirse servis kalitesi, gerilim kalitesi, akım kalitesi terimleri bunlardandır (Weidong Xiao 2004). IEEE 1159 (Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü), standardının güç kalitesi tanımı ise hassas elektrik cihazlara güç verme ve topraklama işlemlerinin bu cihazlara uygun bir biçimde gerçekleştirilmesidir. IEEE 100 standart terimleri sözlüğünün güç kalitesi tanımı ise elektrik cihazlara güç verme ve topraklama işlemlerinin bu cihazların işleyişine göre kablolama sistemi ile sisteme bağlı diğer ekipmanlara uygun olmasıdır. Kullandığımız enerji sinusoidal yapıda belirli bir frekans

ve genlikte çalışacak şekilde olmaktadır (Fuchs ve Masoum 2008). Bu enerjide meydana gelen gerilim çökmesi, akım gerilim harmonikleri, gerilim kesintisi, frekansın düşüp-yükselmesi, gerilim sıçraması, kırpışma, geçici rejim olayları, çentik, kırpışma ve sistemde meydana gelen gerilim dengesizlikleri gibi parametreler güç kalitesini etkilemektedir. Bu yüzden bu parametrelerde yaşanacak dengesizlikler güç kalitesi problemine yol açmaktadır.

4.5. Simülasyon Parametreleri

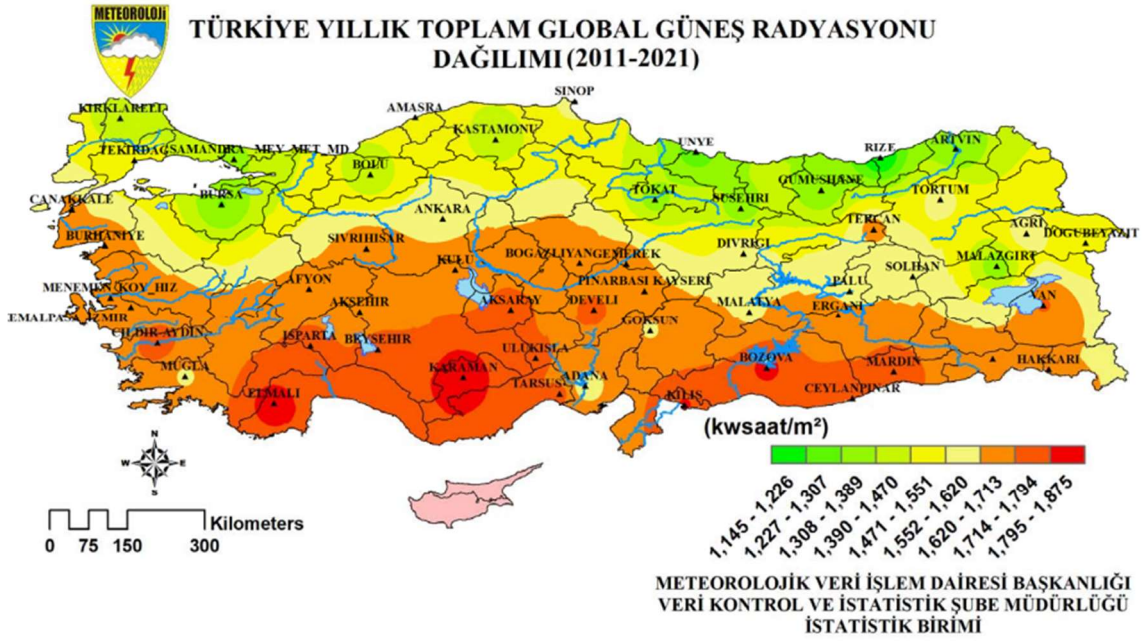
Simülasyonlarda Kırklareli Bölgesi ortalama rüzgar ve güneş ışıma değerleri alınmış olup, çalışmalar bu doğrultuda yapılmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün verilerine göre Kırklareli, Ekim ve Nisan ayları arasında ortalama 12,2 km/h diğer dönemlerde ise 10,08 km/h ortalama rüzgar hızına sahiptir. En rüzgarlı ay şubat ayı olup ortalama rüzgar hızı 14,4 km/h civarındadır. Güneş enerjisinde ise yaz aylarında günlük ortalama 6,4 kWh/m² olan değer Mayıs ve Ağustos ayları arasında gerçekleşmektedir. Diğer dönemlerde ortalama değer 2,4 kWh/m² değerine düşmektedir. Yıllık ortalama güneş enerjisi değeri ise 2628 saat/yıl olarak hesaplanmıştır.

Türkiye yıllık ortalama rüzgar hızı ve hakim yönü dağılımı grafiği Şekil 4.18'de verilmiştir.



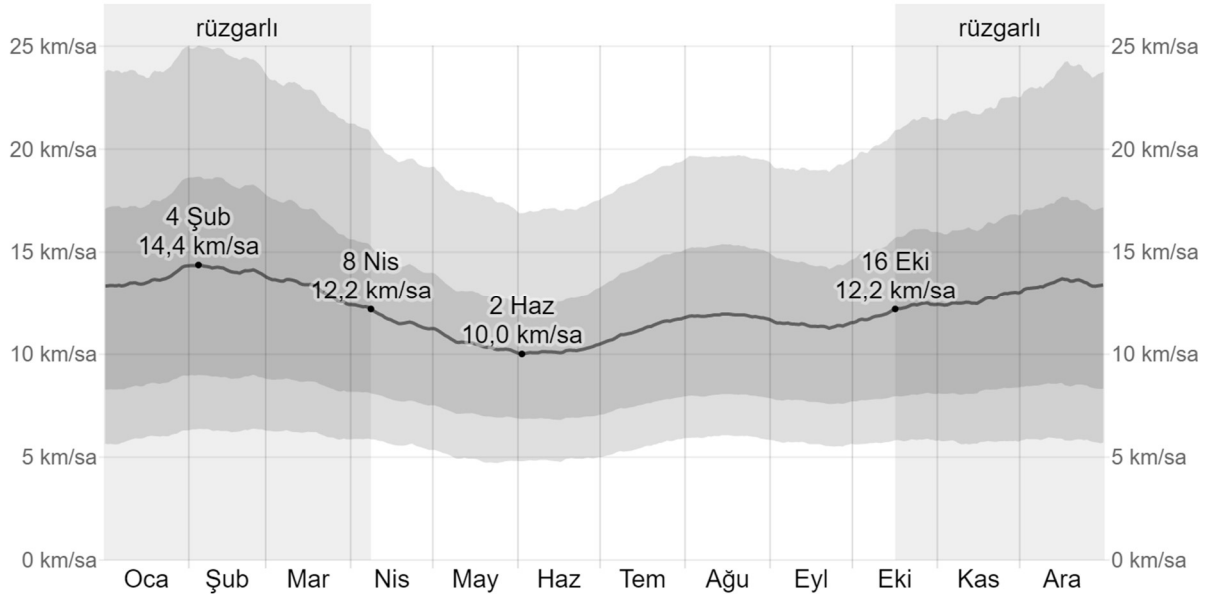
Şekil 4.18. Türkiye Yıllık Ortalama Rüzgar Hızı ve Hakim Yönü Dağılımı

Türkiye yıllık toplam global güneş radyasyonu dağılımı Şekil 4.19’da verilmiştir.



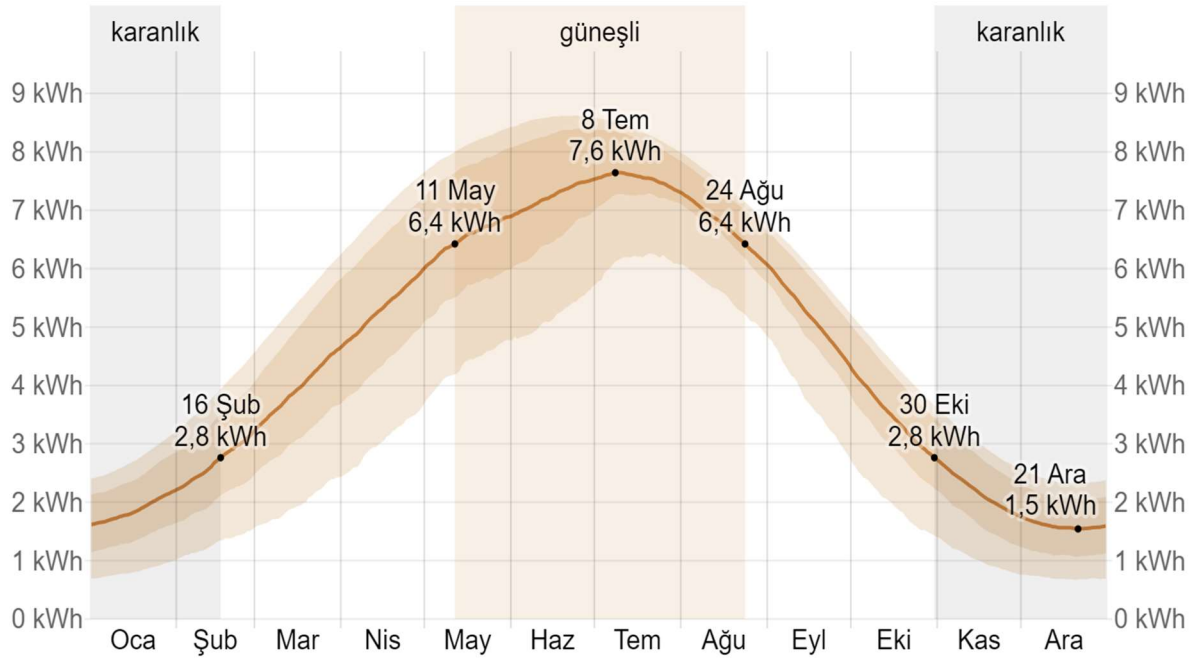
Şekil 4.19. Türkiye Yıllık Toplam Global Güneş Radyasyonu Dağılımı

Kırklareli bölgesi ortalama rüzgar hızı grafiği Şekil 4.20’de verilmiştir.



Şekil 4.20. Kırklareli Bölgesi Ortalama Rüzgar Hızı

Kırklareli bölgesi günlük ortalama kısa dalga güneş enerjisi grafiği Şekil 4.21’de verilmiştir.



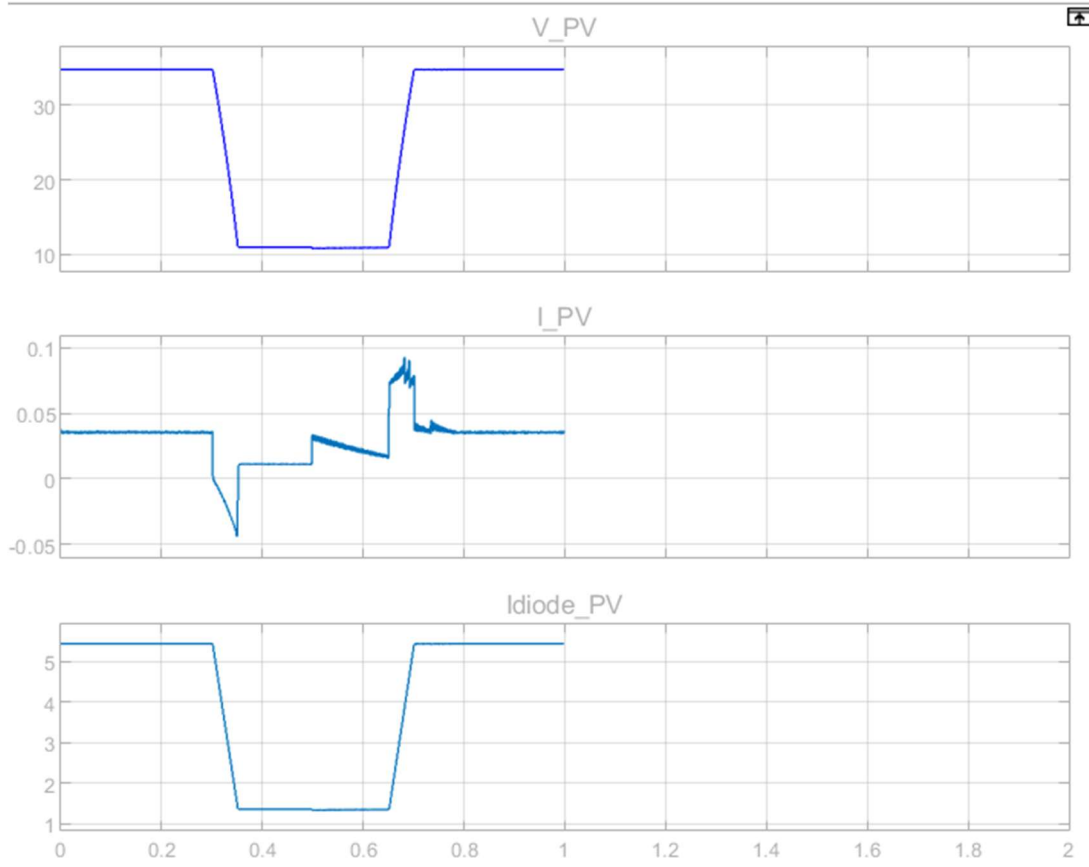
Şekil 4.21. Kırklareli Bölgesi Günlük Ortalama Kısa Dalga Güneş Enerjisi

Simulasyon için kullanılan rüzgar türbini standart olarak 3 kW ve 48 V altı kutuplu sabit mıknatıllı olarak seçilmiştir. Güneş panelleri ise piyasadaki standart panellere bakılarak ortalama değerler alınmıştır. Ayrıca sistem optimizasyonu için ortak DC bara kullanılmış ve batarya sisteminin en verimli şekilde kullanılması sağlanmıştır. Çizelge 4.1’de sistem parametreleri özetlenmiştir. Ayrıca güneş panellerinin karakteristiği Şekil 4.18’de ve VSC kontrol ile panellerin çıkış grafikleri Şekil 4.19 ve Şekil 4.20’de verilmiştir.

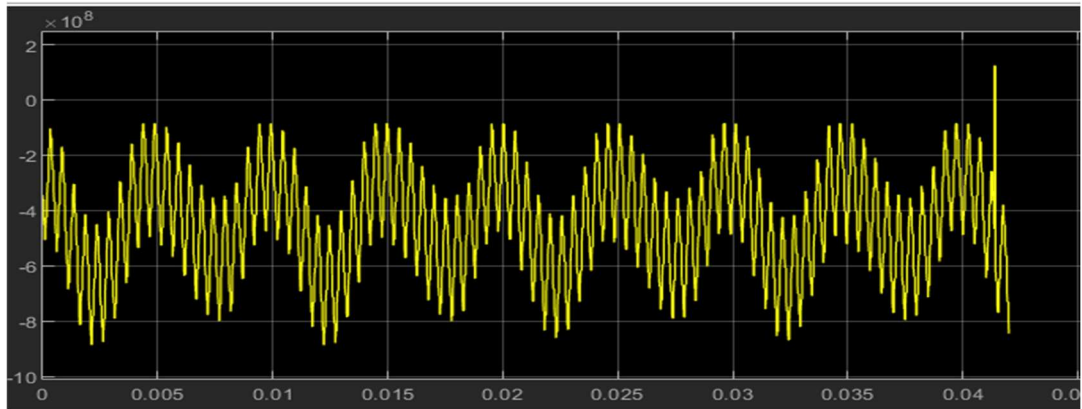
Çizelge 4.1. Sistem parametreleri

Rüzgar Türbini		Güneş Panelleri	
Nominal Güç	3 kW	Maksimum Güç	305W
Nominal Gerilim	48 V	Maksimum Gerilim	54 V
Güç katsayısı	0.85	Maksimum Akım	5.5A
Nominal hız	3 m/s	Açık Devre Gerilimi	64V
Nominal Tork	30 Nm	Kısa Devre Akımı	6A
Kutup Sayısı	6	Seri Direnç	0.04Ω
Frekans	50Hz	Paralel Direnç	1kΩ

Güneş panelleri karakteristiği ve VSC kontrol grafiği Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'te verilmiştir.

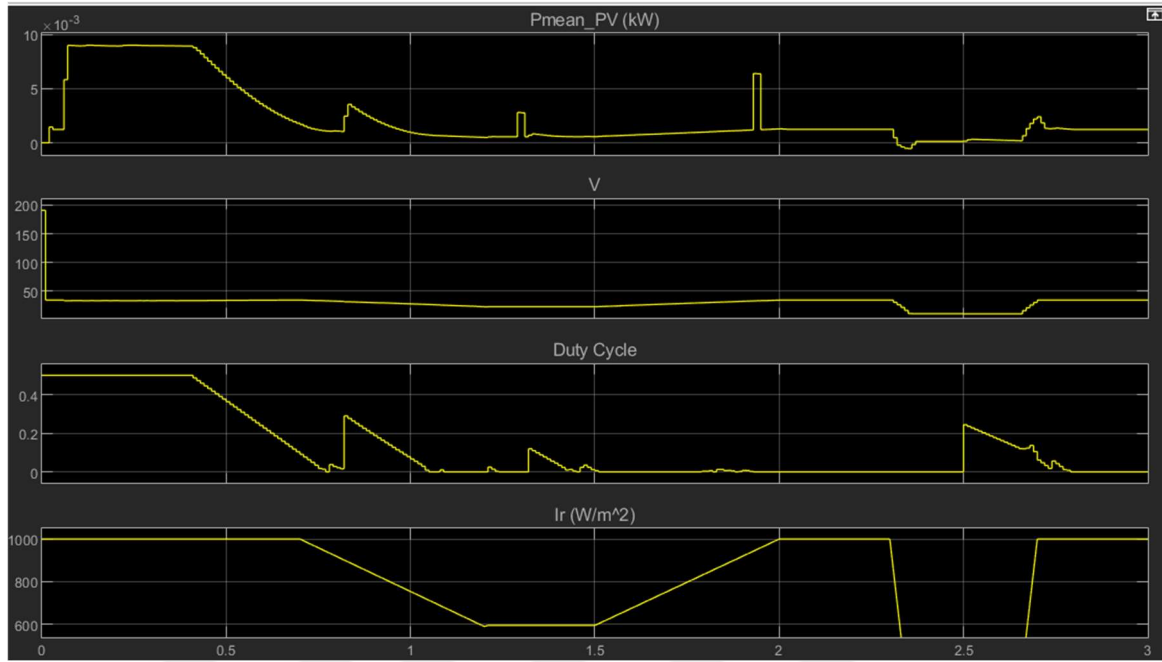


Şekil 4.22. Güneş panelleri karakteristiği



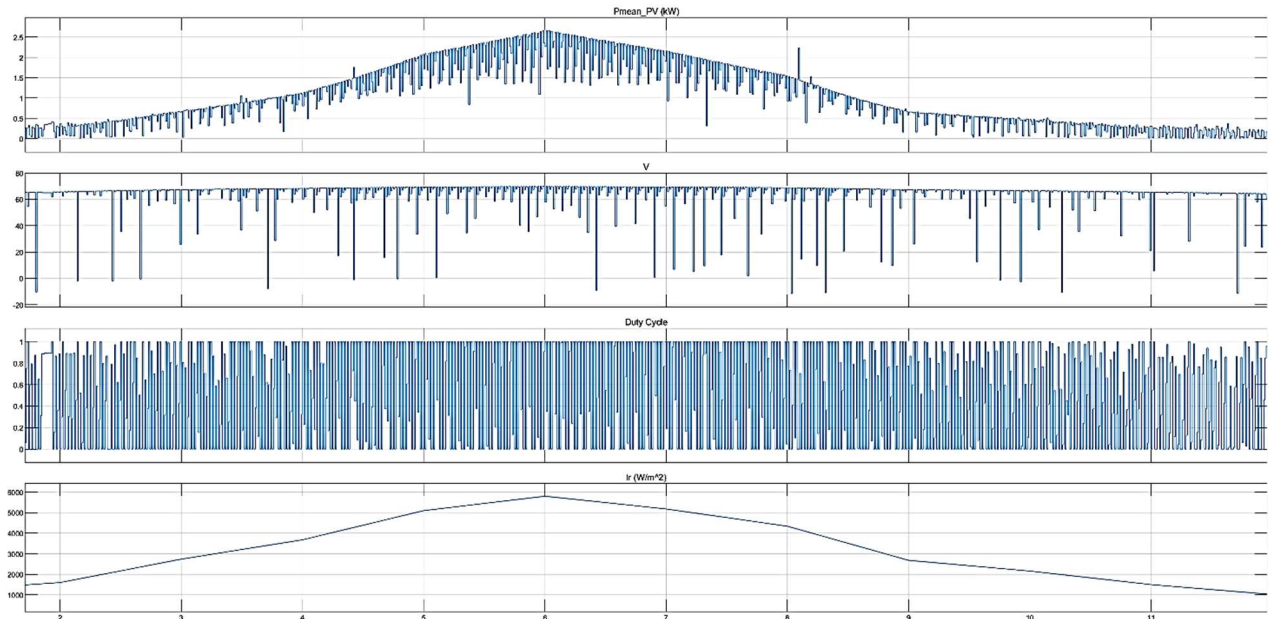
Şekil 4.23. VSC kontrol grafiği

Güneş panelleri çıkış değerleri Şekil 4.24’de verilmiştir.



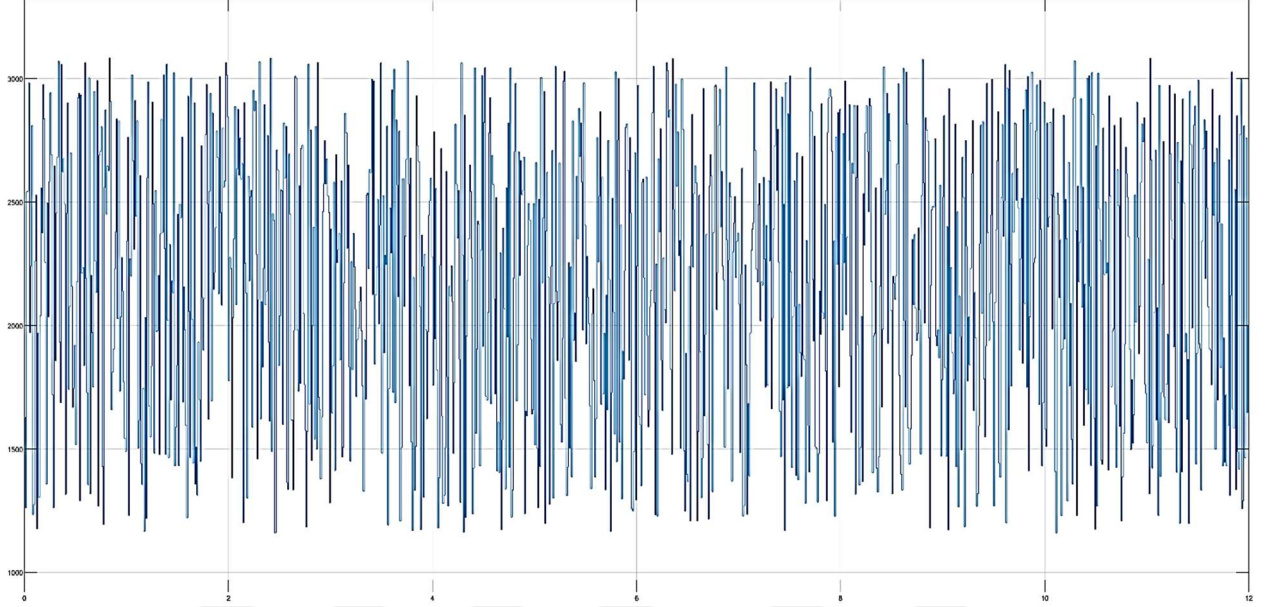
Şekil 4.24. Güneş panelleri çıkış değerleri

Aşağıdaki grafikte güneş enerji sisteminin bir yıllık üretim grafiği gösterilmiştir. Güneş ışıma radyasyon değerinin değişimine göre yaz aylarında 3 kW üzerine çıkan değerlerin kış aylarında ise çok düşük kaldığı gözlemlenmektedir. Yıllık ortalama değer ise yaklaşık 1.5 kW seviyesindedir. Bu değerler 8 adet güneş panelinin paralel bağlanması ile elde edilmiştir. Panel sayısı arttıkça güç değeri artırılabilir ama bu kış aylarındaki enerji ihtiyacını karşılamayacaktır.



Şekil 4.25. Güneş Enerjisi Üretiminin Bir Yıllık Değişimi

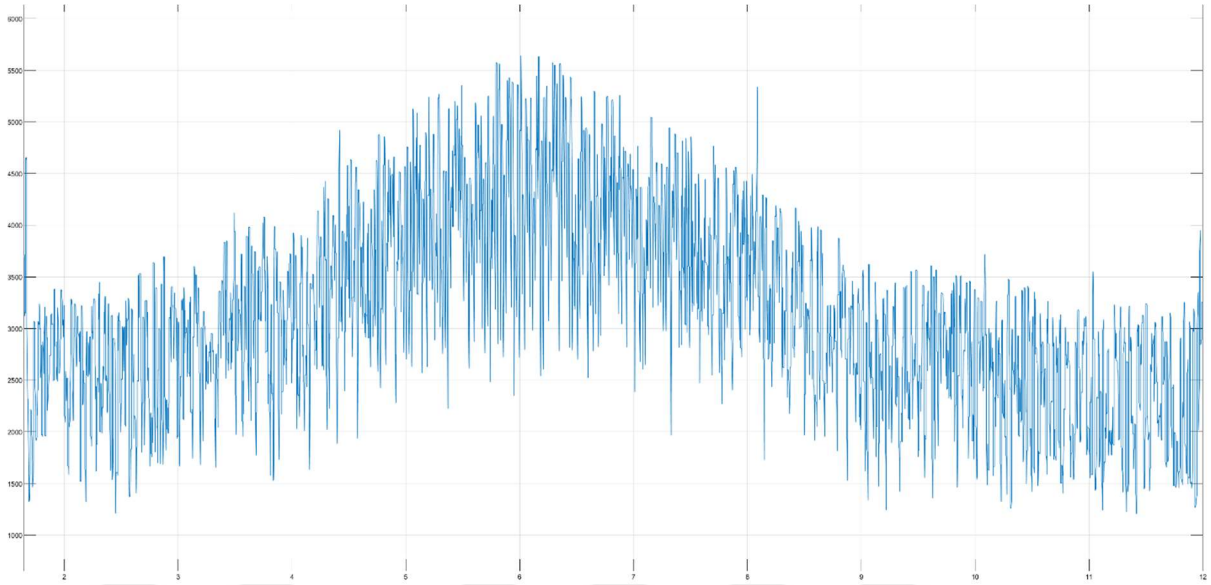
Rüzgar türbini tarafından üretilen güç grafiğine bakıldığında ise rüzgar hızı çok değişken olduğu için yüksek bir dalgalanma görülmektedir. Bu dalgalanma yaklaşık 1 kW ile 3 kW arasında değişmektedir. Yıl boyu üretilen gücün ortalama değeri ise 2,2 kW civarındadır. Bu yüzden güneş ve rüzgar güç sistemlerinin birlikte kullanımı enerji sürekliliği açısından kaçınılmazdır.



Şekil 4.26. Rüzgar Enerjisi Üretiminin Bir Yıllık Değişimi

Güneş ve rüzgar hibrit sistemin enerji üretim grafiği aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Yaz aylarında sistem tüm ihtiyacı karşılamasına rağmen kış aylarında enerji açığı olduğu görülmektedir. Enerji üretimindeki dalgalanma ise bir batarya sisteminin dahil edilmesi ile çözülebilecek bir problemdir. Ancak kış aylarındaki enerji ihtiyacı için farklı tedbirler alınmalıdır.

Güneş ve Rüzgar hibrit enerji üretiminin bir yıllık değişimi Şekil 4.27’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Güneş ve Rüzgar Hibrit Enerji Üretiminin Bir Yıllık Değişimi

Alınacak tedbirlerden birisi benzinli bir jeneratör kullanılarak bataryaların kritik seviyesinin altında şarj edilmesi olabilir. Diğer bir yöntem ise güneş paneli sayısını arttırmak veya rüzgar türbin gücünü yukarı çekmek olabilir. Bir diğer yöntem ise akü kapasitesini arttırmak olabilir ama üretilen güç miktarı yeterli olmadığında batarya kapasitesini arttırmak ekonomik bir çözüm olmayabilir. Ayrıca evde kullanılan tüm cihazlar yüksek verim seçilmelidir. Evde kullanılacak cihazlar ve aylık enerji tüketimleri ve üç farklı senaryo için kullanılacak hibrit sistem özellikleri aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Çizelge 4.2. Örnek Tüketim Tablosu

Cihaz	Güç(W)	Günlük Çalışma(s)	Aylık Çalışma(gün)	Yıllık Tüketim(kWh)
Buzdolabı	200	12	30	864
Çamaşır Makinesi	300	1	8	28.8
Bulaşık Makinesi	400	1	8	38.4
Fırın	2000	1	8	192
Televizyon	100	6	30	216
Aydınlatma	50	8	30	144
Bilgisayar	100	6	20	144
Klima	2500	2	30	1350
Su ısıtıcı	3000	1	30	1080
Diğer	500	1	30	180

Yukarıdaki tabloda verilen örnek bir kullanım için yıllık 4170 kWh enerji gerekmektedir. Bu da aylık 350 kWh etmektedir. Yani günlük yaklaşık 12 kWh enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. 200 Ah bataryalar 48 V gerilim ile 9,6 kWh enerji depolayabilir. Sistemin sürekliliği için yeterlidir. Tablodaki cihazların yüksek verimlilik sınıfında olduğu ve belirtilen sıklıkla kullanılması gerektiği unutulmamalıdır. Aşağıda verilen üç farklı duruma ait simülasyon sonuçları bir sonraki bölümde verilmiştir.

Çizelge 4.3. Simülasyon Senaryoları

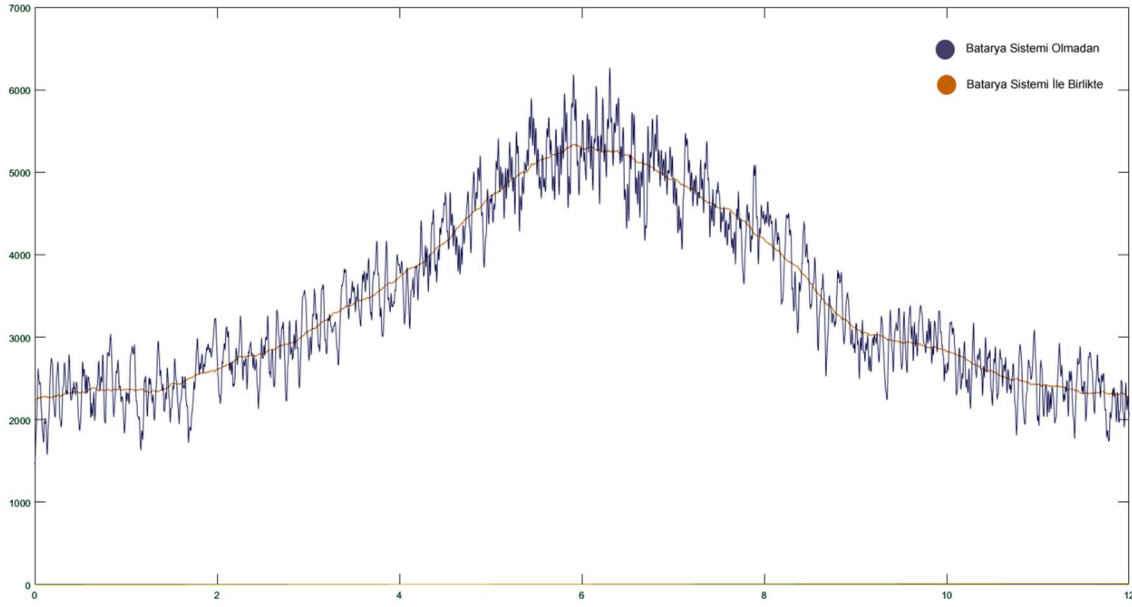
	1. Senaryo	2. Senaryo	3. Senaryo
Benzin Jenaratör	5 kW	Yok	Yok
Rüzgar Gücü	3 kW	5 kW	4 kW
Güneş Gücü	3 kW	4 kW	5 Kw
Batarya Kapasitesi	200 Ah	200 Ah	200 Ah

4.6. Birinci Senaryo

Eurostat verilerine göre, Türkiye’de hane halkının yüzde 32’si aylık 208 ile 416 KW/saat arası, yüzde 9,7’si 417 ile 1250 KW/saat arası, yüzde 3,9’u ise 1250 KW/saat ve üzeri ortalama aylık elektrik tüketiyor. Bu doğrultuda Türkiye’nin yüzde 45,6’sının 208 KW/saat üzerinde elektrik tüketimine sahip olduğu görülüyor. Bu bağlamda tasarlanan simülasyonda kullanılan aylık 350 kWh enerji düzeyi, şebekeden bağımsız müstakil bir konut için yeterlidir. Ancak tüketimin azaltılması veya daha verimli cihazlar kullanılması, sadece yenilenebilir enerji ile beslenen sistemlerde uygulanması gereken önlemler arasında yer alır.

Birinci senaryoya göre 3 kW rüzgâr türbini ve 3 kW güneş paneli ile sistemin ürettiği güç eğrisi aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Batarya sistemi ile üretilen güç miktarının stabilitesi düzenlenmiş olsa bile özellikle Ekim-Mart ayları arası üretilen gücün yeterli olmadığı görülmektedir. Bu yüzden sisteme bataryaları kritik seviyenin altında şarj etmek için 5 kW’lık benzinli bir jeneratör ilave edilmiştir.

Birinci seneryoda üretilen güç miktarı Şekil 4.28’de gösterilmiştir.

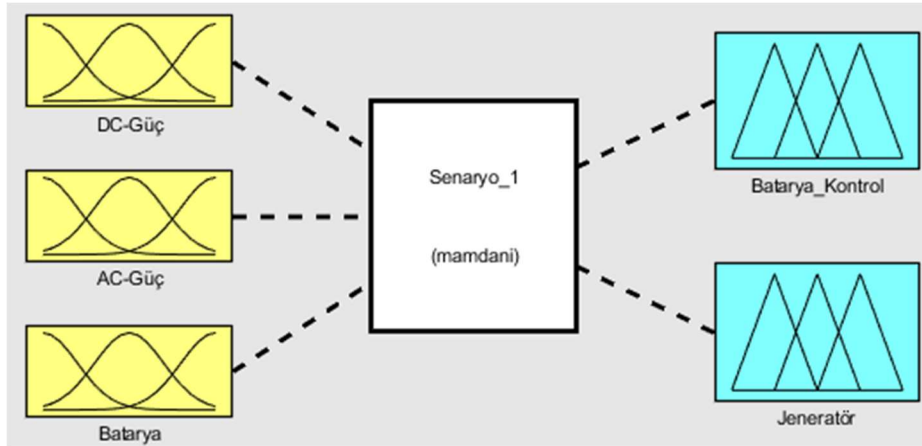


Şekil 4.28. Birinci seneryoda üretilen güç miktarı

Aşağıdaki jeneratör bağlı sistemin Simulink şeması görülmektedir. Jeneratörün sisteme entegrasyonu için bulanık mantık kontrolör kullanılmıştır. Batarya sisteminin şarj-deşarj durumu bulanık mantık kontrol ile belirlenmiştir. Bulanık mantık kural kümesi üretilen D.C. güç ve tüketilen A.C. güç oranlarına göre batarya doluluk seviyesini kontrol etmektedir. Bataryanın kritik seviyenin altında olduğu durumlarda ise jeneratör sistemini devreye alarak, bataryaları normal şarj seviyesine kadar doldurmaktadır. Bulanık mantık ile kontrol için gerekli giriş ve çıkış blokları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Bu girişler ve çıkışlar arasındaki kural kümesi bulanık mantıkla kontrolün temelini oluşturmaktadır.

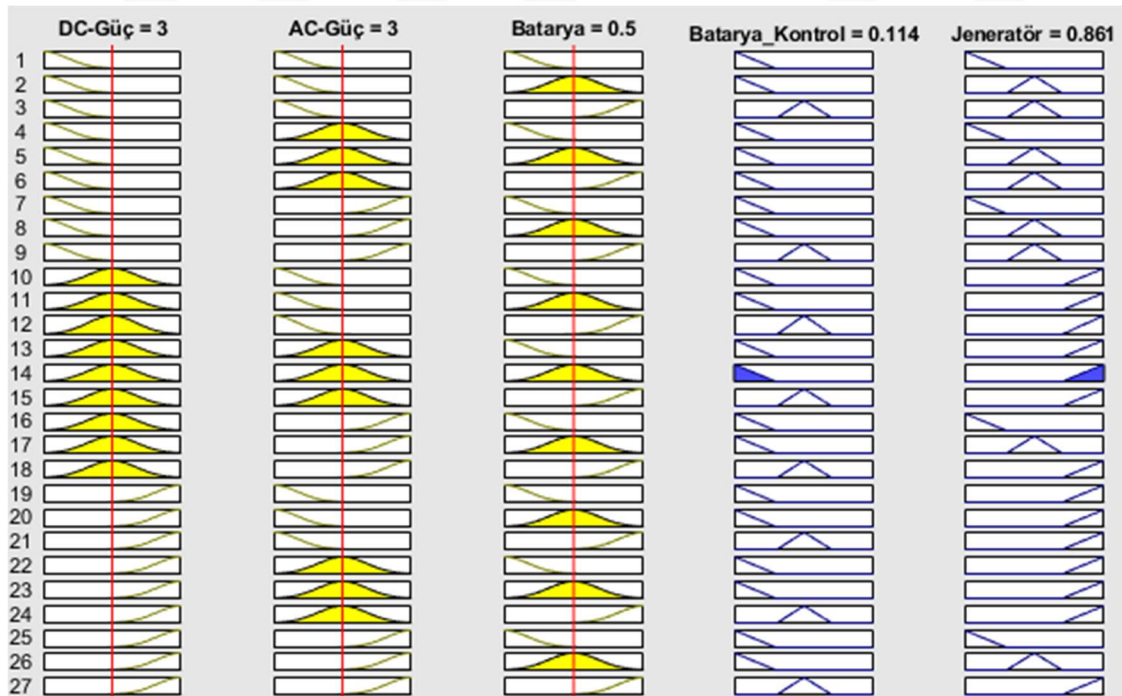
87

Bulanık mantık kontrol blok şeması Şekil 4.31’de gösterilmiştir.



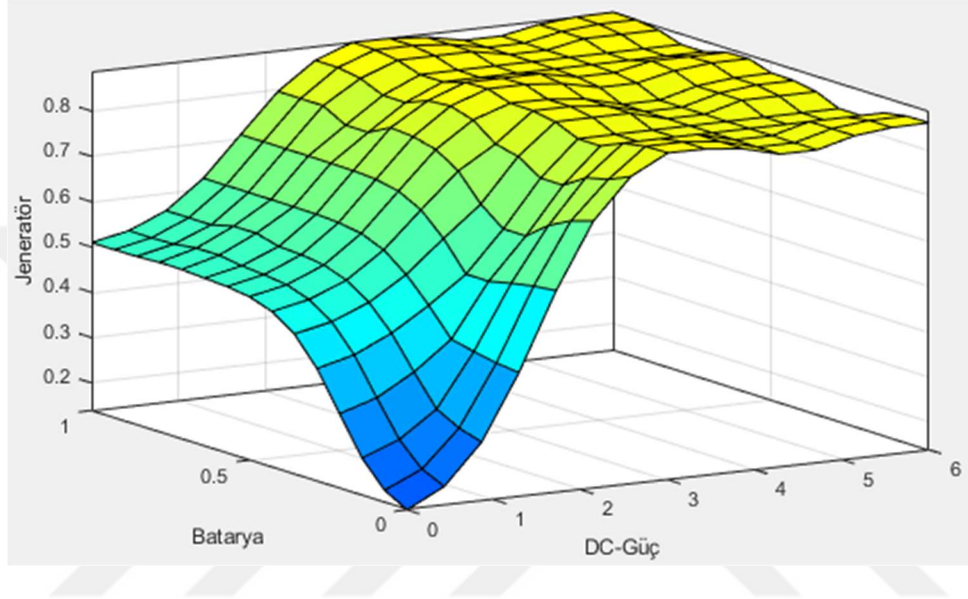
Şekil 4.31. Bulanık mantık kontrol blok şeması

Aşağıdaki kural kümesi incelendiğinde, üretilen DC gücün yetersiz olduğu ve AC güç gereksinimi olan durumlarda, batarya seviyesine bağlı olarak jeneratör devreye girmektedir. Bataryaların şarj ve deşarjı için ayrı bir kontrol kullanılmaktadır. Bu kontrol üretilen DC güç ile tüketilen AC güç oranına göre bataryaların şarj veya deşarj etmektedir.

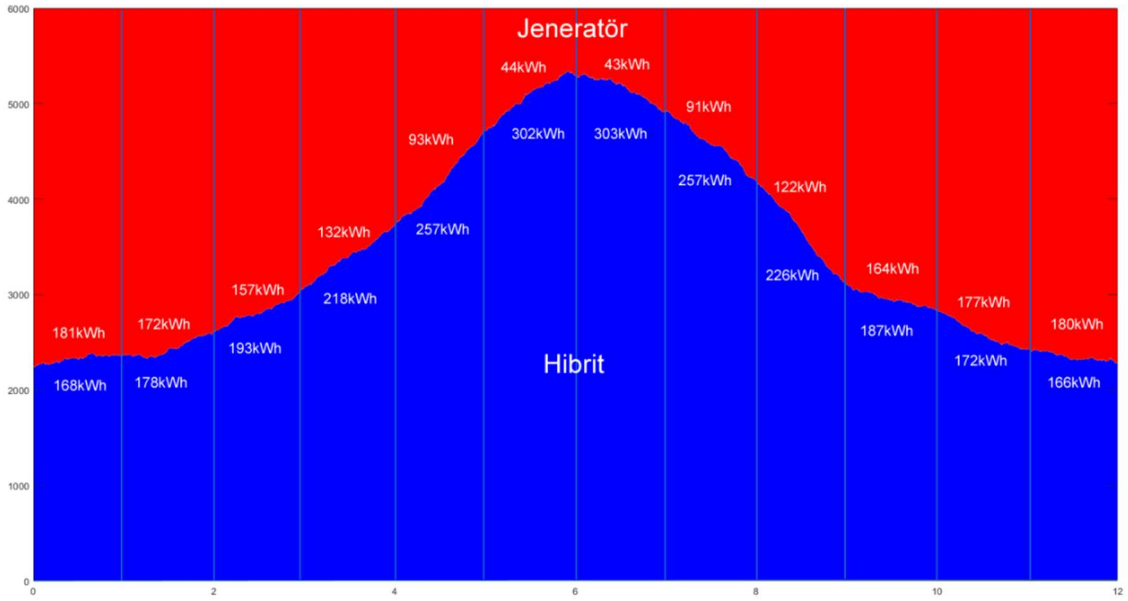


Şekil 4.32. Bulanık mantık kural kümesi

Aşağıdaki şekilde DC güç üretimin düşük olduğu ve bataryaların nominal şarj seviyesinin altında olduğu durumlarda, jeneratör sisteminin devreye girme sıklığına ait grafik gösterilmiştir. Bu senaryoya dayalı olarak aylara göre tüketilen enerjinin karşılanma oranları bir sonraki grafikte gösterilmiştir. Burada sistem gücü ile çalışma süresinin çarpımı yani grafikteki alan enerji miktarını ifade etmektedir.



Şekil 4.33. Bulanık mantık jeneratör kontrolü

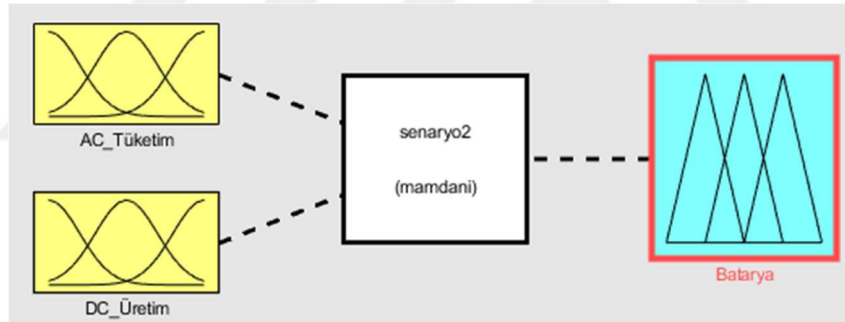


Şekil 4.34. Aylara göre tüketilen enerjinin karşılanma oranları

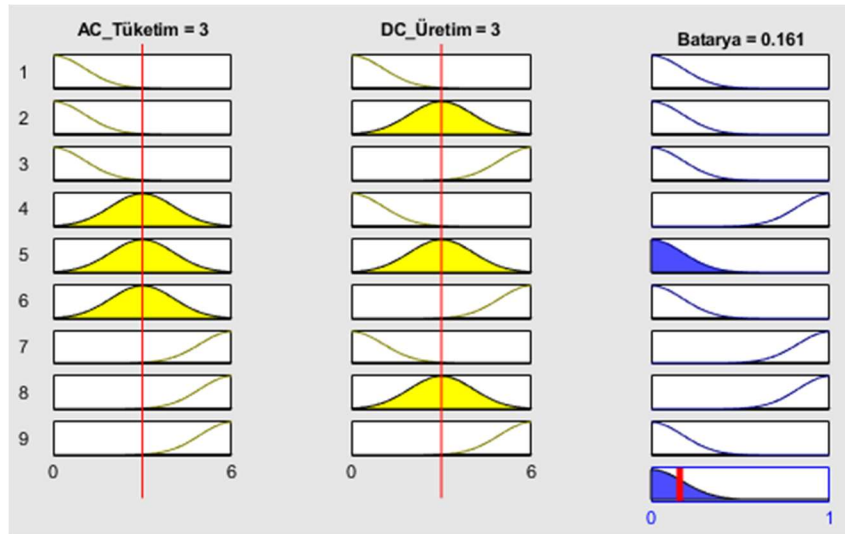
Yukarıdaki grafiğe göre yıllık yaklaşık 1556 kWh enerjinin jeneratör tarafından karşılanması gerekmektedir. Öyle ki yaz aylarında bile enerji açığı oluşmaktadır. Bu yüzden bu yöntemin yenilenebilir enerji kullanımı amaçlanan bir sisteme uygun olmadığı söylenebilir. Bunun yerine diğer senaryolarda olduğu gibi Hibrit sistemin güneş ve Rüzgâr kapasitesinin artırılması daha iyi sonuç vereceği düşünülmektedir.

4.7. İkinci ve Üçüncü Senaryolar

Harici bir şebeke veya jeneratör bulunmamasından dolayı ikinci ve üçüncü senaryo için batarya kontrolü daha önem kazanmaktadır. Bulanık mantık kontrol kümesine göre bataryaların sürekli nominal değerin üstünde kalması için üretilen DC güç ile tüketilen AC güç oranlarına bakılmaktadır. AC tüketimin minimum olduğu noktalarda bataryalar sürekli şarj edilmektedir. AC tüketim nominal değerin üzerinde olduğunda ise deşarj edilmektedir. DC tüketim maksimum değere ulaşana kadar bu deşarj sürmektedir. Bulanık mantığın en kullanışlı yönü, değişen durumlara göre kuralların güncellenebilir olması veya yeni kurallar eklenebilmesidir.

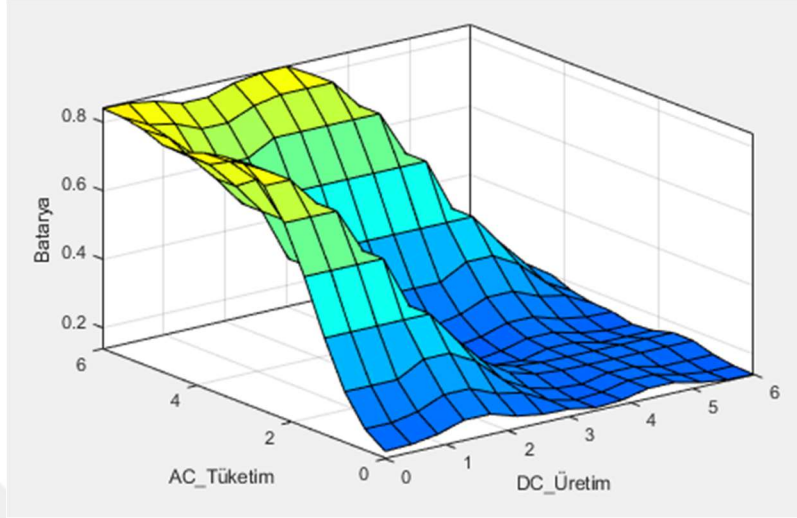


Şekil 4.35. Bulanık mantık batarya kontrol blok şeması



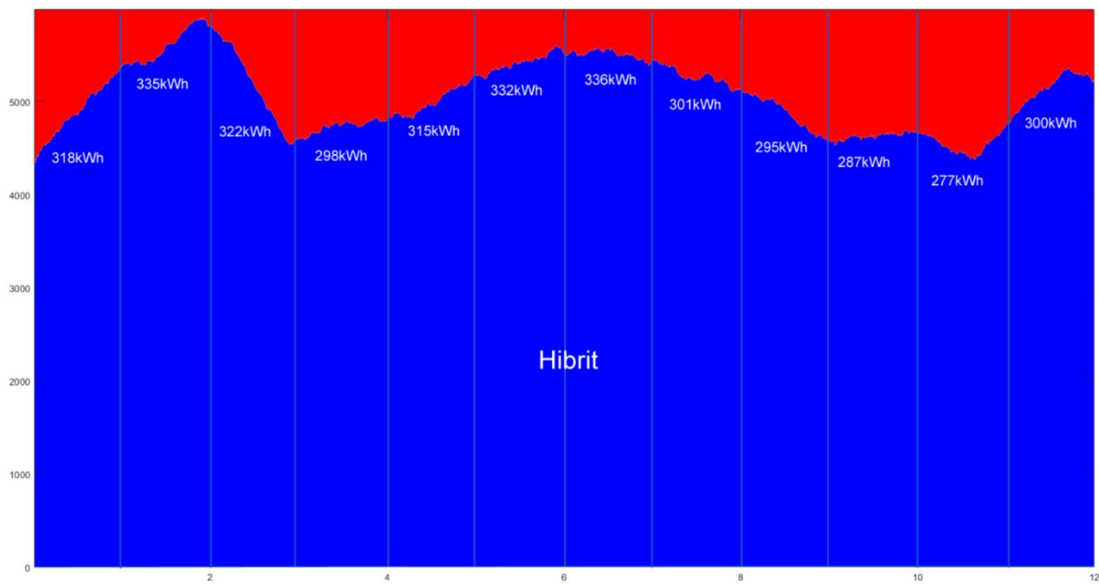
Şekil 4.36. Batarya kontrol kural kümesi

Aşağıdaki şekilde görülen grafikte DC üretim ve AC tüketim değerlerine göre bataryanın şarj ve deşarj değişimleri görülmektedir. Koyu renkler bataryaların şarj durumunu, açık renkler ise deşarj durumunu belirtmektedir.



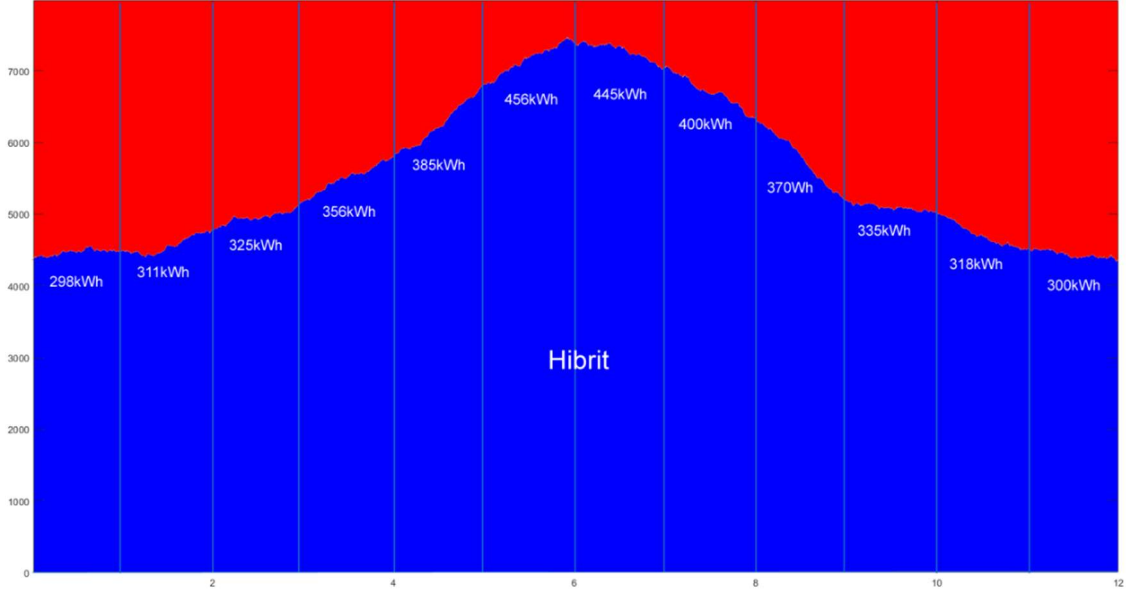
Şekil 4.37. Bulanık mantık batarya kontrolü

İkinci senaryoya göre rüzgâr türbin gücü 5 kW ve güneş panelleri 4kW çıkarıldığında aylara göre hibrit sistem tarafından üretilen enerji miktarları aşağıdaki grafikte gösterilmiştir. Arttırılmış rüzgâr gücünün kış aylarındaki etkisi çarpıcı olarak görülmektedir. Rüzgarların azaldığı dönemde güneş panellerinin arttırılmış toplam gücü üretim açığını karşılamaktadır. Ancak burada ihtiyaca bağlı olarak güneş panellerinin sayısının biraz daha arttırılması gerekebilir.



Şekil 4.38. İkinci senaryoda hibrit sistem tarafından üretilen gücün aylık değişimi

Üçüncü senaryoda ise rüzgâr türbin gücü 4 kW ve güneş panelleri toplam gücü 5 kW değerine çıkarılmıştır. Bu senaryoda da ihtiyaç duyulan enerji miktarı yaklaşık olarak karşılanırken, kış ve yaz ayları arasındaki dalgalanma devam etmektedir. Hatta en sıcak yaz aylarında üretim fazlası ve kış aylarında ise üretim açığı olduğu göze çarpmaktadır.

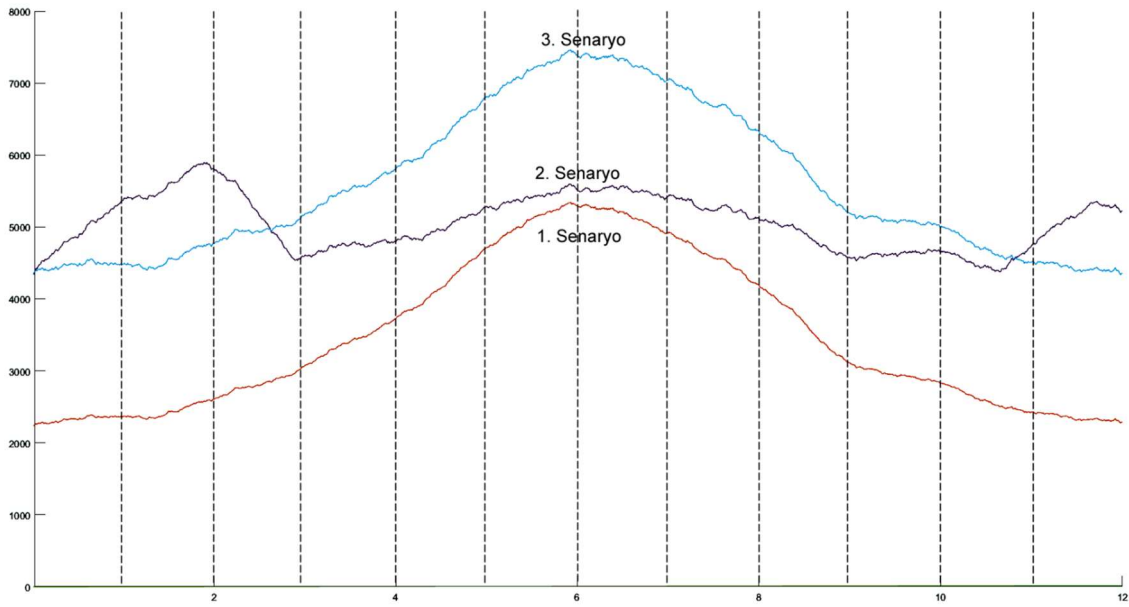


Şekil 4.39. Üçüncü senaryoda hibrit sistem tarafından üretilen gücün aylık değişimi

Üç senaryo birlikte değerlendirildiğinde, birinci senaryoda sistem gücü yıllık ortalama 3,5 kW iken, ikinci senaryoda 5 kW ve üçüncü senaryoda 6 kW olarak hesaplanmıştır. Birinci senaryoda oluşan enerji açığı benzinli bir jeneratör yardımıyla kompanse edilirken, ikinci senaryoda kış aylarındaki açık rüzgâr türbini tarafından karşılanmakta, üçüncü senaryoda ise güneş enerjisi ile toplam üretim miktarının yukarıya çekildiği gözlemlenmektedir. Üç farklı durum aşağıdaki grafikte kıyaslanmıştır. Grafik incelendiğinde ikinci senaryodaki enerji sürekliliğinin daha iyi olduğu söylenebilir. Üçüncü senaryodaki üretim fazlalığı maliyeti olumsuz etkileyebilir. Birinci senaryo ise fosil yakıt tüketimini arttırdığı için hem maliyet hem de çevre açısından zorunlu haller dışında tercih edilebilir değildir.

Bulanık mantık kontrollü batarya sistemi ile günlük tüketim oranları optimize edilmiş olsa da aylık enerji açığını kapatmak bu yöntem ile mümkün değildir. Bu noktada batarya kapasitesinin yükseltilmesi düşünülebilir. Ancak sadece batarya kapasitesinin yükseltilmesinin ekonomik bir çözüm olmadığı unutulmamalıdır. Bunun yerine yenilenebilir enerji sisteminin kullanıldığı bölgenin rüzgâr ve güneş değerlerine göre

sistem bileşenlerinin kurulu gücünü arttırmanın daha iyi bir çözüm olduğu göze çarpmaktadır. Tasarlanan sistem Kırklareli özelinde rüzgâr enerjisi ile ihtiyaç duyulan enerji açığını rahatlıkla karşılayabilmektedir. Bu da bölgenin düzenli rüzgâr almasından kaynaklanmaktadır. Güneş enerjisi ise güvenilir ve sürekli olmasının yanında, yaz ve kış ayları arasındaki üretim miktarı dramatik oranda değişmektedir. Bu yüzden güneş-rüzgâr hibrit yenilenebilir enerji sistemleri tasarlanırken bölgenin özellikleri dikkate alınmalıdır.



Şekil 4.40. Farklı senaryolarda üretilen gücün aylık değişiminin karşılaştırılması



5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada fotovoltaik panel ile küçük güçlü bir rüzgâr türbininden oluşan hibrit enerji sistemi için bir Matlab Simulink modeli geliştirilmiştir. Fotovoltaik panel için geliştirilen Matlab Simulink modelin simülasyon sonucu elde edilen sonuçlar görülmektedir. Bu simülasyon modeli güneş pilinin eşdeğer devresi, MPPT algoritması, bir DC/DC dönüştürücü ve bir akü grubundan oluşmaktadır. Simülasyon sayesinde MPPT kontrol algoritması gerçekleştirilmekte ve bir DC-DC dönüştürücü devrede yer almaktadır. Devrenin çıkışında ise güneş panellerinden elde edilen enerji bir kurşun-asit akü grubunun şarj edilmesinde kullanılmaktadır. Simülasyonda ortalama güneş ışıınım ve çevre sıcaklığı verileri kullanılmıştır. Bu bulgular bize simülasyonun Başarılı bir şekilde çalıştığını göstermiştir.

Bu çalışmada 3 kW'lık güneş enerji sistemi ve 3 kW'lık rüzgâr enerji sistemi için ayrı ayrı devre yapıları oluşturulmuştur. Maksimum güç noktası izleyiciler için çok büyük önem ihtiva eden DA-DA arttıran çeviricilerin parametreleri her iki enerji sistemi için belirlenmiştir. Bu parametreler belirlenirken giriş değerleri güneş panelinin çıkış gerilimi ve rüzgâr enerji sisteminin kontrolsüz doğrultucu çıkışından elde edilen gerilim değerleri baz alınarak hesaplanmıştır. Tasarımı yapılan her iki devreye ait arttıran çeviricilerle oluşturulan güneş enerji sistemi ve rüzgâr enerji sistemine ait devre yapıları Matlab/Simulink'te oluşturulmuştur. Her iki sistemde oluşturulan bulanık çıkarım sistemi parametreleri en hızlı ve doğru sistem yanıtlarını elde etmek için optimize edilmiştir. Gerekli bulanık giriş değişkenleri, bulanık MGNİ denetleyicileri tarafından oluşturulup her iki enerji sistemine ait akım ve gerilim ölçümleri, bulanık çıkarım sistemi ile bulanık girişlere dönüştürülmüştür. Daha sonra bu bulanık girdiler, görev oranının artışı tahmin etme sürecinde kullanılmıştır. Bulanık denetleyicilerin tasarımları, seçilen giriş değişkenlerine göre değişir. Giriş değişkenleri olarak güneş enerji sisteminde gücün gerilime göre değişimi ve değişimin eğimi, rüzgâr enerji sisteminde ise gücün jeneratör hızına göre değişimi ve gücün değişimi seçilirken, çıkış olarak da görev çevrim oranı değişimi seçilmiştir.

Sonuç olarak sistemin optimizasyonu için MPPT ve bulanık mantık kontrolör kullanılmıştır. Seçilen bölgenin mevsimsel değerlerine göre kurulu sistem glerinde değişiklik yapılarak sistem optimize edilerek srekliлик sağlanmıştır.



KAYNAKLAR

- Abas, N., Kalair, A., & Khan, N. (2015). *Review of fossil fuels and future energy technologies. Futures*, 69, 31-49.
- Agabalaye-Rahvar, M., Mansour-Saatloo, A., Mirzaei, M. A., Mohammadi-Ivatloo, B., Zare, K., & Anvari-Moghaddam, A. (2020). Robust optimal operation strategy for a hybrid energy system based on gas-fired unit, power-to-gas facility and wind power in energy markets. *Energies*, 13(22), 6131.
- Ajder, A. (2011). *Fotovoltaik güneş enerjisi sistemleri için optimum eğim açısının hesaplanması*.
- Akbulut, G. (2008). *Küresel değişimler bağlamında dünya enerji kaynakları, sorunlar ve Türkiye*.
- Akkaya, S. ve Gencer, C.. (2007). *Türkiye’de rüzgar enerjisi projelerinin son durumu, 3e Electrotech Rewiev 2007 in Turkey*, 154, 154-157, 2007.
- Aksu, M. (2021). *Güneş enerjisi santrali yatırımlarının ekonomik analizi*.
- Aktar, A. K. (2017). *Bir Meskenin Elektrik İhtiyacının Rüzgâr Türbini ve Güneş Panellerinden Oluşan Hibrit Sistem ile Sağlanması. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri*.
- Akyüz, E. (2016). *Türkiye’de nükleer enerjinin iklim değişikliği ile mücadelede fırsatları ve riskleri*.
- Akyüz, E. (2010). *Hibrid yenilenebilir enerji sistemleri ile elektrik ve hidrojen üretiminin araştırılması*.
- Alakour, A. (2022). *Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemi Kullanan Net Sıfır Enerjili Bina İçin Enerji Analizi, Simülasyonu Ve Optimizasyonu: Türkiye’de Bir Durum Analizi. Doktora Tezi*.
- Ali, S. S. and Choi, B. J. (2020). *State-of-the-Art Artificial Intelligence Techniques for Distributed Smart Grids: A Review. Electronics*, 9(6), 1030.
- Altunakar, Ş. S. (2014). *Enerji ekonomisinin yapısal sorunları ve nükleer enerji örneği*.
- Altuntaşoğlu, Z. T. (2011). *Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi, Mevcut Durum, Sorunlar. Mühendis ve Makine Dergisi*, 52(617), 56-63
- Alper, E. C. (2019). *Türkiye’Nin Jeotermal Enerji Potansiyeli ve Ekonomik Analizi (Doctoral dissertation, Bursa Uludag University (Turkey))*.
- Anubha Maheshwari (2002), “*Energy, Ecology, Environment and Society*”, Anmol Publications, New Delhi
- Aras, E. M. (2021). *Detection of Illicit Nuclear Activities Using Optically Stimulated Dosimetry. North Carolina State University*.

- Arslan, S, Mustafa D, and Çetin K.** (2001). *"Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli."* Jeotermal Enerji Semineri, Ankara, 21-28
- Atelge, R.** (2021). *Türkiye'de Sığır Gübresinden Biyoyakıt Olarak Biyogaz Üretiminin Potansiyeli ve 2030 ve 2053 Yıllarında Karbon Emisyonlarının Azaltılmasına Öngörülen Etkisi.* International Journal of Innovative Engineering Applications, 5(1), 56-64.
- Atiyas, I., Çetin, T., & Gulen, G.** (2012). *Reforming Turkish energy markets: Political economy, regulation and competition in the search for energy policy.* Springer Science & Business Media.
- Atiyas, İ.** (2006). *Elektrik sektöründe serbestleşme ve düzenleyici reform* (No. 231, pp. 1-114). TESEV Yayınları.
- Ayan, A.** (2022). *Biyokütle enerjisinin Türkiye'deki kullanım olanaklarının değerlendirilmesi* (Master's thesis, Maltepe Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü).
- Aydın, İ.** (2013). *Balikesir'de Rüzgâr Enerjisi.* Doğu Coğrafya Dergisi, 18(29), 29-50.
- Ayhan, D.** (2011). *Bina Montajlı Güneş-Rüzgâr Hibrid Elektrik Güç Sistemlerinin Analizi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.*
- Baghdadi, F., Mohammedi, K., Diaf, S., & Behar, O.** (2015). *Feasibility study and energy conversion analysis of stand-alone hybrid renewable energy system.* Energy Conversion and Management, 105, 471-479.
- Barbier, Enrico.** (2002). *"Geothermal Energy Technology and Current Status: An Overview."* Renewable and sustainable energy reviews 6(1-2): 3-65.
- Barket, A.,R., Khan, M., A., Shah, M., A., Khan, H., Mubashir, A. and Muhammad., S.** (2014). *Intelligent irrigation system using renewable energy, Sukkur Institute of Business Administration, Airport Road Sukkur, Department of Electrical Engineering.*
- Barlas, S. S.** (2019). *Türkiye hakim rüzgar ve ortalama rüzgar vektörel haritası ile Türkiye rüzgar enerji potansiyelinin değerlendirilmesi* (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Bazilian, M., & Onyeji, I.** (2012). *Fossil fuel subsidy removal and inadequate public power supply: Implications for businesses.* Energy Policy, 45, 1-5.
- Bilim, N.** (2016). *Türkiye'nin Elektrik Enerjisi Üretimindeki Dışa Bağımlılığın Azaltılması İçin Uygulanması Gereken Politikalar.* Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi, 4(2), 145-154.
- Bolat, M., Arifoğlu, U., & Demiryürek, H. K.** (2020). *Lebit enerji güneş santralinin PVsyst programı ile analizi.* Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 9(3), 1351-1363.
- Chang, C. P., Wen, J., Zheng, M., Dong, M., & Hao, Y.** (2018). *Is higher government efficiency conducive to improving energy use efficiency? Evidence from OECD countries.* Economic Modelling, 72, 65-77.

- Chong, L. W., Wong, Y. W., Rajkumar, R. K., Rajkumar, R. K., & Isa, D. (2016).** *Hybrid energy storage systems and control strategies for stand-alone renewable energy power systems. Renewable and sustainable energy reviews*, 66, 174-189.
- Cakarel, E., & House, J. (2004).** *IPP investment in Turkey's electric power industry. Program on Energy and Sustainable Development, Working Paper, (2).*
- Camacho, E. F., & Berenguel, M. (2012).** *Control of solar energy systems. IFAC proceedings volumes*, 45(15), 848-855.
- Cihan, E. (2019).** *Yenilenebilir enerji ve Türkiye'de güneş enerjisi* (Master's thesis, Hasan Kalyoncu Üniversitesi).
- Çakır, Y. S. (2013).** *Hibrit Sistemlerin Boyutlandırmasında Veri Çözünürlüğü Etkisinin Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.*
- Çakmak, Ç., Kurban, M., & Dokur, E. (2020).** *Hibrit Yenilenebilir Enerji Sistemlerinin Ekonomik Analizi. Elektrik Mühendisleri Odası:*
- Çetintaş, H., & Bicil, İ. (2015).** *Elektrik piyasalarında yeniden yapılanma ve Türkiye elektrik piyasasında yapısal dönüşüm. Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 2(2).
- Demirbas, A. (2001).** *Energy facilities and nuclear power program by 2020 in Turkey. Energ. Source*. 23:401–415.
- Deshmukh, M. K., & Deshmukh, S. S. (2008).** *Modeling of hybrid renewable energy systems. Renewable and sustainable energy reviews*, 12(1), 235-249.
- Dinçsoy, M. E. (2010).** *Orta Ölçekli Bir Otelin Elektrik Enerjisinin Hibrit Sistemler ile Modellenmesi ve Optimizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.*
- Donohue, C. M., & Barrie, C. D. (2021).** *A review of the Bakken petroleum systems in the United States and Canada: Recognizing the importance of the Middle Member play. AAPG Bulletin*, 105(9), 1847-1866.
- Dursun, S. (2016).** *Biyokütle-Rüzgâr-Güneş Hibrit Güç Üretim Sistemi Kullanılarak Kırklareli Üniversitesi Kayalı Yerleşkesinin Tekno-Ekonomik Açından Değerlendirilmesi. Kırklareli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kırklareli.*
- Emeksiz, C., & Fındık, M. M. (2021).** *Sürdürülebilir Kalkınma İçin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Türkiye Ölçeğinde Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (26), 155-164.
- Engin, N. (2010).** *Enerji Kaynağı Olarak Doğalgaz ve Türkiye. Marmara Coğrafya Dergisi*, (22), 233-244.
- Erdem, K. ve Kadir, K. (2015).** *Enerji Kaynakları–Yenilenebilir Enerji Durumu. Mühendis ve Makina*, 56(668), 36-47.
- Erdoğan, E. (2011).** *The regulation of natural gas industry in Turkey. The Political Economy of Regulation in Turkey* (pp. 145-176). Springer, New York,

- Eriksson, E. L. V., & Gray, E. M.** (2019). *Optimization of renewable hybrid energy systems—A multi-objective approach*. Renewable energy, 133, 971-999.
- Evrendilek, F., and Ertekin, C.** (2003). *Assessing the potential of renewable energy sources in Turkey*. Renewable energy, 28(15), 2303-2315
- Fathima, A. H., & Palanisamy, K.** (2015). *Optimization in microgrids with hybrid energy systems—A review*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, 431-446.
- Gençoğlu, M. T.** (2002). *Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye açısından önemi*. Fırat Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi, 14(2), 57-64.
- Ghafoor, A., Rehman, T., Munir, A., Ahmad, M. and Iqbal, M.** (2016). *Current status and overview of renewable energy potential in Pakistan for continuous energy sustainability*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 60, pp.1332-1342
- Greenpeace** (2015), *Energy Revolution: A sustainable Turkey energy outlook*.
- Güllü, M., & Kartal, Z.** (2021). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının İstihdam Etkisi*. Sakarya İktisat Dergisi, 10(1), 36-65.
- Gültekin, U.** (2019). *Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi Yatırımlarının Gelişimi*. Electronic Turkish Studies, 14(4).
- Güven, A.** (2015). *Şebekeden Bağımsız Yenilenebilir Hibrit Enerji Sistemlerinin Boyutlandırmasında Yük Modelinin Etkisi*. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Harunoğulları, M.** (2020). *Enerji Dağıtım Merkezi Perspektifinden Türkiye’nin Enerji Jeopolitiği*. Mukaddime, 11(1), 177-211.
- Hodge, B. M., Martinez-Anido, C. B., Wang, Q., Chartan, E., Florita, A. and Kiviluoma, J.** (2018). *The combined value of wind and solar power forecasting improvements and electricity storage*. Applied Energy, 214, 1-15.
- Huang, Q., Shi, Y., Wang, Y., Lu, L. and Cui, Y.** (2015). *Multi-turbine wind-solar hybrid system*. Renewable Energy, 76, 401-407.
- Hüseyin, A. T. A. Ş., & Güler, H.** (2020). *Türkiye’nin Doğal Gaz, Petrol Ve Kömür Tüketiminin Büyümeye Etkisi: Ekonometrik Bir Analiz*. Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 29(3), 524-539.
- IEA** (2022). *International Energy Agency—IEA. In The Europa Directory of International Organizations 2022* (pp. 701-702). Routledge.
- IEA** (2020), “World energy balances”, *IEA World Energy Statistics and Balances (database)*, IEA, Paris
- İlgar, R.** (2005). *"Ekolojik Bakışla Jeotermal Kaynaklara Dualist Yaklaşım."*
- Inshakov, O. V., Bogachkova, L. Y., & Popkova, E. G.** (2019). *The transformation of the global energy markets and the problem of ensuring the sustainability of their development. In Energy Sector: A Systemic Analysis of Economy, Foreign Trade and Legal Regulations* (pp. 135-148). Springer, Cham.

- IRENA** (2018). *Patent evolution of renewable energy technologies*,
- Karadag, Ö.** (2021). *Forecasting Of Co2 With The Effect Of Renewable Energy, Non-Renewable Energy, Gdp And Population For Turkey: Forecasting With*
- Nmgm** (1, N) *Gray Forecasting Model 1. Kafkas University. Faculty of Economics and Administrative Sciences. Journal*, 12(24), 810-828.
- Karaaslan, S.** (2019). *İşlenmiş deri atıklarının pirolizi ile biyoyakıt eldesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Karaçor, Z., & Güvenek, B.** (2010). *Enerji Piyasası Reformlarının Elektrik Enerjisi Piyasasına Etkisi: EÜAŞ ve Ayrıcalıklı Şirketler Üzerine Bir Analizi. Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 17(1), 147-166.
- Karamanav, M.** (2007). *Güneş enerjisi ve güneş pilleri* (Master's thesis, Sakarya Üniversitesi).
- Kavaz, İ.** (2021). *Dünyada ve Türkiye’de Nükleer Enerji Nuclear Energy in The World and Turkey. ON EURASIAN ECONOMIES* 2021, 286.
- Kaya, T. O.** (2018). *Sürdürülebilirlik kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve önemi* (Master's thesis, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Kayar, E., Niyazi, İ. L., & Carlak, H.** (2021). *Türkiye Elektrik Enerjisi Görünümü ve Yenilenebilir Enerjinin Global Ölçekte Mevcut Konumu. EMO Bilimsel Dergi*, 11(Özel Sayı), 70-83.
- Kaygusuz, K.** (2002), *Renewable energy and sustainable development in Turkey. Renewable Energy*, 25, 431-453.
- Kayıkcı, B.** (2020). *Aydın İli Didim İlçesindeki Kırsal Bölgede Yer Alan Bir Konutun Elektrik İhtiyacının Hibrit Güneş-Rüzgâr Enerji Sistemi ile Karşılanmasının Analizi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.*
- Kenisarin, M., Karsli, V.M. ve Caglar, M.** (2006), *Wind power engineering in the world and perspectives of its development in Turkey, Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10 (4), 341-369.
- Kervankıran, İ.** (2012). *"Afyonkarahisar İlğinde Jeotermal Enerji Kullanimi Ve Sorunlari."* *Marmara Coğrafya Dergisi*, 25: 108-26
- Khan, M. J., & Iqbal, M. T.** (2005). *Dynamic modeling and simulation of a small wind-fuel cell hybrid energy system. Renewable energy*, 30(3), 421-439.
- Kılıçkaplan, A., Bogdanov, D., Peker, O., Caldera, U., Aghahosseini, A., and Breyer, C.** (2017). *An energy transition pathway for Turkey to achieve 100% renewable energy powered electricity, desalination and non-energetic industrial gas demand sectors by 2050’*, *Solar Energy*, vol. 158, pp. 218-235
- Kocaman, A. S.** (2019). *Pompaj depolamalı hibrid enerji sistemi optimizasyonu-Türkiye için vaka analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 34(1), 53-68.

- Koç, M.** (2021). *Türkiye'nin güneş enerjisi ile ilgili araştırmalara katkısı: 2000-2019 dönemi için bibliyometrik analiz* (Master's thesis, Amasya Üniversitesi).
- Koç, Ö. E., & Gülşen, M. A.** (2018). *Elektrik Enerjisi Piyasasında Regülasyon ve Bağımsız Düzenleyici Kurumlar: Türkiye Örneği*. *Sosyoekonomi*, 26(38), 37-51.
- Konak, A.** (2019). *Türkiye'nin Doğal Gaz Bağımlılığı Ve Alternatif Enerji Kaynakları Üretiminin Gerekliliği*. *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi*, 4(7), 196-209.
- Konca, H.** (2018). *Enerjide Dışa Bağımlılık Çerçevesinde Türkiye'de Nükleer Enerjinin Analizi* (Master's thesis, Kırklareli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü).
- Kumbur, H., Özer, Z., Özsoy, H. D., & Avcı, E. D.** (2005). *Türkiye'de geleneksel ve yenilenebilir enerji kaynaklarının potansiyeli ve çevresel etkilerinin karşılaştırılması*. *Yeksem 2005, III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 19-21.
- Külekçi, Ö. C.** (2009). *Yenilenebilir enerji kaynakları arasında jeotermal enerjinin yeri ve Türkiye açısından önemi*. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*, 1(2), 83-91.
- Külekçioğlu, F. R.** (2019). *Şebekeden Bağımsız Bir Güneş-Rüzgâr Hibrit Sistemin Modellenmesi*. *Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elâzığ*.
- Küsmez, T., & Çoban, S.** (2022). *Yenilenebilir enerjiye yapılan inovatif yatırımların iklim değişikliğine etkisi: AB ülkelerinden kanıtlar*.
- Lian, J., Zhang, Y., Ma, C., Yang, Y., & Chaima, E.** (2019). *A review on recent sizing methodologies of hybrid renewable energy systems*. *Energy Conversion and Management*, 199, 112027.
- Litvinenko, V.** (2020). *The role of hydrocarbons in the global energy agenda: The focus on liquefied natural gas*. *Resources*, 9(5), 59.
- Lund, J. W., & Toth, A. N.** (2021). *Direct utilization of geothermal energy 2020 worldwide review*. *Geothermics*, 90, 101915.
- Maherchandani, J. K., Agarwal, C. and Sahi, M.** (2012). *Economic Feasibility of Hybrid Biomass/PV/Wind System for Remote Villages Using HOMER*. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, 1(2), 49–53.
- Mamen, A., & Supatti, U.** (2017, June). *A survey of hybrid energy storage systems applied for intermittent renewable energy systems*. In *2017 14th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)* (pp. 729-732). IEEE.
- Mamur, H., Yakar, M.C. and Zerafet, A.,** (2019). *Bir Kamu Binası İçin Hibrit Enerji Sistemi Fizibilitesi*. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 11(1), 51-58.
- Manzella, Adele, Agnes Allandsdottir, and Anna Pellizzzone.** (2019). *Geothermal Energy and Society*. Springer.

- Manwell, J. F.** (2004). *Hybrid energy systems. Encyclopedia of energy*, 3(2004), 215-229.
- Melin, H.** (2020). *Towards a solution to the energy crisis. Nature Astronomy*, 4(9), 837-838.
- Menichetti, E., El Gharras, A., Duhamel, B., & Karbuz, S.** (2019). *The MENA region in the global energy markets. MENARA*, 75.
- Mercure, J. F., Pollitt, H., Viñuales, J. E., Edwards, N. R., Holden, P. B., Chewpreecha, U., ... & Knobloch, F.** (2018). *Macroeconomic impact of stranded fossil fuel assets. Nature Climate Change*, 8(7), 588-593.
- Michaelides, E. E. S.** (2012). *Alternative energy sources. Springer Science & Business Media*.
- Mills, A., & Al-Hallaj, S.** (2004). *Simulation of hydrogen-based hybrid systems using Hybrid2. International Journal of Hydrogen Energy*, 29(10), 991-999.
- Mishra, S., Panda, S., & Akcil, A.** (2021). *Indispensable role of coal as an energy source in Turkey with focus on biodesulphurization studies and advances. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100139.
- OECD** (2019), *Fossil Fuel Support Country Note: Turkey, OECD, Paris*,
- Özdemir, V..** (2014). *A future projection of Turkey's energy intensity. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy*, 9(1), 1-8.
- Özel, Ç., Büyüktanır, B. Ö., & Özel, F.** (2013). *Elektrik Piyasalarında Elektrik Sağlama Amaçlı Sözleşmeler. Journal of Yaşar University*, 8, 2075-2126.
- Özey, R.** (2017). *Mackinder's Heartland Theory and Afterthoughts. Marmara Geographical Review*, (35).
- Özkan, H. A.** (2016). *Appliance based control for home power management systems. Energy*, 114, 693-707.
- Özkök, A.** (2015). *Türkiye'nin Yedi Coğrafi Bölgesinde Evsel Elektrik İhtiyacının Çatı Üstü Fotovoltaik Sistemler ile Karşılanmasının Ekonomik Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul*.
- Öztürk, M., Bezir, N.C. and Ozek, N.** (2009). *Hydropower–water and renewable energy in Turkey: sources and policy. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(3), pp.605-615.
- Pena-Ramos, J. A., Bagus, P., & Amirov-Belova, D.** (2020). *The North Caucasus Region as a Blind Spot in the “European Green Deal”: Energy Supply Security and Energy Superpower Russia. Energies*, 14(1), 17.
- Pınar, A., Buldur, A., & Tuncer, T.** (2020). *Türkiye'deki rüzgar enerji santralleri dağılışının coğrafi perspektiften analizi. Doğu Coğrafya Dergisi*, 25(43), 167-182.
- Powell, K. M., Rashid, K., Ellingwood, K., Tuttle, J., & Iverson, B. D.** (2017). *Hybrid concentrated solar thermal power systems: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80, 215-237.

- PromilaKadian** (2003), “*Rural Energy for sustainable development*”, Deep and Deep publication Pvt. Ltd. New Delhi.
- Rahman, M. M., Khan, M. M. U. H., Ullah, M. A., Zhang, X. ve Kumar, A.** (2016). *A hybrid renewable energy system for a North American off-grid community. Energy*, 97, 151-160.
- Satman, A.** (2007). *Türkiye’nin enerji vizyonu. VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 3, 18.
- Sekuçoğlu, S. A.** (2012). *Fotovoltaik (Pv), Rüzgâr ve Hibrit Sistemlerin Tasarımı ve Ekonomik Analizi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Seloğlu Genç, H.** (2019). *Yenilenebilir Enerjili Hibrit Enerji Santrallerinin Modellenmesi ve Analizi*. Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Elâzığ.
- Sevdim, R. E.** (2018). *Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Hibrit Kullanımını Yapay Zekâ İle Modellemesi*. İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 87-71.
- Sevim, C.** (2012). *Küresel enerji jeopolitiği ve enerji güvenliği*. Journal of Yaşar University, 7(26), 4378-4391.
- Shivaie, M., Mokhayeri, M., Kiani-Moghaddam, M. and Ashouri-Zadeh, A.** (2019). *A reliability-constrained cost-effective model for optimal sizing of an autonomous hybrid solar/wind/diesel/battery energy system by a modified discrete bat search algorithm. Solar Energy*, 189, 344-356.
- Sinem, I. Ş. I. K., & Yavuz, S.** (2022). *Biyokütleden Elde Edilen Biyoyakıtlara Genel Bir Bakış. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (34), 193-201.
- Stober, I., & Bucher, K.** (2021). *Geothermal Systems in High-Enthalpy Regions. In Geothermal Energy* (pp. 227-256). Springer, Cham.
- Suresh, V., Muralidhar, M. and Kiranmayi, R.** (2020). *Modelling and optimization of an off-grid hybrid renewable energy system for electrification in a rural areas. Energy Reports*, 6, 594-604.
- Sweeney, M. E., Hill, J. O., Heller, P. A., Baney, R., & DiGirolamo, M.** (1993). *Severe vs moderate energy restriction with and without exercise in the treatment of obesity: efficiency of weight loss. The American journal of clinical nutrition*, 57(2), 127-134.
- Takan, M. A., & Kandemir, S. Y.** (2021). *Türkiye’deki Jeotermal Enerjinin Birincil Enerji Arzı Yönünden Değerlendirilmesi. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 381-385.
- Taşkın, E., & Yılmaz, M.** (2018, October). *Türkiye’de elektrik enerjisi üretiminde doğal gazın yeri ve enerji ekonomisi açısından önemi. In international geography symposium on the 30th anniversary of TUCAUM* (pp. 3-6).
- Tiwari, G. N., & Mishra, R. K.** (2012). *Advanced renewable energy sources. Royal Society of Chemistry*.

- Trifkovic, M., Sheikhzadeh, M., Nigim, K., & Daoutidis, P. (2013). *Modeling and control of a renewable hybrid energy system with hydrogen storage. IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 22(1), 169-179.
- Turşucu, A., & Ülgen, A. T. (2019). *Şırnak'ta Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Ve Kullanım Olanakları. Şırnak Enerji ve Maden Potansiyeli*, 227.
- Türkdoğan, S., Dilber, S. ve Çam, B. (2018). *Hibrit enerji sistemlerinin şebekeden bağımsız bir çiftlik evinde uygulanabilirliğinin ekonomik ve teknik açıdan incelenmesi. Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 3 (2): 52-65.
- Tüzün, O., Ekinci, R., Ceylan, F., & Kahyaoğlu, H. (2018). *Türkiye Elektrik Fiyatlarındaki Ani Sıçramaların Markov Rejim Değişim Modelleriyle Analizi. Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 25(1), 217-237.
- Unak, T. (2000). *What is the potential use of thorium in the future energy production technology? Prog. Nucl. Energ.* 37:137–144.
- Upadhyay, S., & Sharma, M. P. (2014). *A review on configurations, control and sizing methodologies of hybrid energy systems. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 38, 47-63.
- Uzuner, M. T. (2018). *Dünya Ham Petrol Piyasasının Ekonomi Politikası Üzerine Bir inceleme. Yalova Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(17), 106-127.
- Ünal, Y. (2007). *İzmit doğal gaz dağıtım sistemi için tasarım katsayısı ve eş-zaman kullanım faktörünün belirlenmesi* (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Ünsal, S. (2019). *Türkiye'nin Rüzgar Enerjisi Politikalarının Etkinliğinin İncelenmesi.*
- Vivas, F. J., De las Heras, A., Segura, F., & Andújar, J. M. (2018). *A review of energy management strategies for renewable hybrid energy systems with hydrogen backup. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 126-155.
- Wahab, A., Hassan, A., Qasim, M. A., Ali, H. M., Babar, H., & Sajid, M. U. (2019). *Solar energy systems–potential of nanofluids. Journal of Molecular Liquids*, 289, 111049.
- Yanıktepe, B., & Osman, K. A. R. A. (2021). *Üç Farklı İstatistiksel Dağılım Yöntemleri Kullanarak Rüzgar Enerjisi Potansiyelinin Tahmin Edilmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(2), 359-368.
- Yazıcı, F. (2019). *İstanbul İli İçin Önerilen Akıllı Şebekenin Modellenmesi ve Benzetimi. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.*
- Yılankırkan, N., & Doğan, H. (2020). *Türkiye'nin enerji görünümü ve 2023 yılı birincil enerji arz projeksiyonu. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi*, 10(2), 77-92.
- Yıldız, M., & Bingöl, F. (2019). *Küçük ve mikro ölçekli enerji yatırımı için hibrit enerji modeli. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi.*
- Yılmaz, A. (2019). *Türkiye 'de Biyogaz Üretimi ve Kurulu Santrallerin Ürettiği Elektrik Enerjisi. Ecological Life Sciences*, 14(1), 12-28.

- Yilanci, A., Dincer, I., & Ozturk, H. K.** (2009). *A review on solar-hydrogen/fuel cell hybrid energy systems for stationary applications. Progress in energy and combustion science*, 35(3), 231-244.
- Yolcan, O. O., & Ramazan, K. Ö. S. E.** (2020). *Türkiye'nin güneş enerjisi durumu ve güneş enerjisi santrali kurulumunda önemli parametreler. Kırklareli Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi*, 6(2), 196-215.
- York, R.** (2012). *Do alternative energy sources displace fossil fuels?. Nature climate change*, 2(6), 441-443.
- Zenginobuz, Ü.** (2000). *Elektrik sektöründe özelleştirme, rekabet ve regülasyon. Perşembe Konferansları*, 5.
- Zini, G., & Tartarini, P.** (2009). *Hybrid systems for solar hydrogen: A selection of case-studies. Applied Thermal Engineering*, 29(13), 2585-2595.

