

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

**TÜRKİYE İÇİN POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK
SANTRALLERİN ÖNEMİ VE DURUM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Hasanali GÖKTAŞ

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Süreyya KOCABEY

TEMMUZ 2018

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

**TÜRKİYE İÇİN POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK
SANTRALLERİN ÖNEMİ VE DURUM ANALİZİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Hasanali GÖKTAŞ
(1158204109)**

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ENERJİ SİSTEMLERİ MÜHENDİSLİĞİ PROGRAMI

Tez Danışmanı: Dr.Öğr.Üyesi Süreyya KOCABEY

TEMMUZ 2018

Kırklareli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 1158204109 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Hasanali GÖKTAŞ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**TÜRKİYE İÇİN POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN ÖNEMİ VE DURUM ANALİZİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Dr. Öğr. Üyesi Süreyya KOCABEY**
Sağlık Bilimleri Üniversitesi



Jüri Üyeleri : **Dr. Öğr. Üyesi Betül ÖZER**
Kırklareli Üniversitesi



Dr. Öğr. Üyesi Cihan DEMİR
Kırklareli Üniversitesi



Teslim Tarihi : 26 Temmuz 2018
Savunma Tarihi : 16 Ağustos 2018



BEYAN SAYFASI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde bizzat elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada özgün olmayan tüm kaynaklara eksiksiz atıf yapıldığını, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul ettiğimi beyan ediyorum.

Hasanali GÖKTAŞ

26/07/2018



ÖNSÖZ

Tez çalışmam boyunca bilgi ve deneyimleriyle her konuda bana destek olup yönlendiren, ilgilenip emek veren değerli hocam, danışmanım Dr.Öğr.Üyesi Süreyya KOCABEY'e, özgün fikirleriyle tezimin gelişimine katkıda bulunan, emek veren değerli Dr.Öğr.Üyesi Betül ÖZER hocama, bütün kararlarımda arkamda durup maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem Hidayet GÖKTAŞ'a, abim Kemal GÖKTAŞ'a, kardeşim Furkan GÖKTAŞ'a ve tez hazırlama sürecinde sürekli olarak manevi destekte bulunan ev arkadaşlarıma her türlü desteklerinden ötürü teşekkür ederim.

TEMMUZ 2018

Hasanali GÖKTAŞ



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
BEYAN SAYFASI	v
ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	2
1.2 Literatür Taraması	4
2. ENERJİ KAYNAKLARI	7
2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları	7
2.1.1 Kömür	7
2.1.2 Doğalgaz	9
2.1.3 Petrol	13
2.2 Yenilenebilir Enerji.....	17
2.2.1 Yenilenebilir enerjinin çevresel etkileri	18
2.2.1.1 Güneş enerjisinin çevresel etkileri	18
2.2.1.2 Rüzgâr enerjisinin çevresel etkileri	19
2.2.1.3 Baraj ve HES'lerin çevresel etkileri.....	20
2.2.1.4 Jeotermal enerjinin çevresel etkileri.....	21
2.2.1.5 Hidrojen enerjisinin çevresel etkileri	21
2.2.1.6 Deniz kaynaklı enerjilerinin çevresel etkileri	22
2.2.1.7 Biyokütle enerjisinin çevresel etkileri.....	23
2.2.2 Yenilenebilir enerjinin kullanım alanları	23
2.2.2.1 Güneş enerjisi.....	24
2.2.2.2 Rüzgâr enerjisi	25
2.2.2.3 Jeotermal enerji	25
2.2.2.4 Hidrolik enerji	26
2.2.2.5 Hidrojen enerjisi.....	27
2.2.2.6 Biyokütle enerjisi	28
2.2.2.7 Okyanus enerjisi.....	29
2.2.3 Yenilenebilir enerjinin avantajları ve dezavantajları	29
2.2.3.1 Güneş enerjisinin avantajları.....	29
2.2.3.2 Güneş enerjisinin dezavantajları	30
2.2.3.3 Rüzgâr enerjisinin avantajları	31
2.2.3.4 Rüzgâr enerjisinin dezavantajları.....	32

2.2.3.5	Jeotermal enerjinin avantajları	33
2.2.3.6	Jeotermal enerjinin dezavantajları.....	34
2.2.3.7	Hidroelektrik santrallerin avantajları	34
2.2.3.8	Hidroelektrik santrallerin dezavantajları	35
2.2.3.9	Biyokütle enerjisinin avantajları	36
2.2.3.10	Biyokütle enerjisinin dezavantajları.....	36
2.2.3.11	Dalga enerjisinin avantajları.....	37
2.2.3.12	Dalga enerjisinin dezavantajları	38
2.2.3.13	Hidrojen enerjisinin avantajları	38
2.2.3.14	Hidrojen enerjisinin dezavantajları	39
3.	YENİLENEBİLİR ENERJİNİN DÜNYADAKİ VE TÜRKİYEDEKİ DURUMU.....	41
3.1	Güneş Enerjisinin Dünyadaki durumu	41
3.2	Güneş Enerjisinin Türkiye’deki Durumu	43
3.3	Rüzgâr Enerjisinin Dünyadaki Durumu	45
3.4	Rüzgâr Enerjisinin Türkiye’deki Durumu.....	47
3.5	Hidrolik Enerjinin Dünyadaki Durumu.....	48
3.6	Hidrolik Enerjinin Türkiye’deki Durumu	50
3.7	Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki Durumu.....	51
3.8	Biyokütle Enerjisinin Türkiye’deki Durumu	52
3.9	Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu.....	54
3.10	Jeotermal Enerjisinin Türkiye’deki Durumu.....	55
4.	DÜNYADA VE TÜRKİYEDE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ.....	57
4.1	Dünyada Elektrik Enerjisi Üretimi.....	57
4.2	Dünyada Elektrik Enerjisi Tüketimi	58
4.3	Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretimi	61
4.4	Türkiye’de Elektrik Enerjisi Tüketimi	63
5.	ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ	65
5.1	Enerji Depolamanın Amacı Ve Faydaları	66
5.2	Enerji Depolama Sistemlerinin Sınıflandırılması	67
5.2.1	Teknolojisine göre sınıflandırma	67
5.2.1.1	Süper kapasitörler.....	68
5.2.1.2	Süper iletken manyetik enerji depolama sistemi	69
5.2.1.3	Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller	71
5.2.1.4	Sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemleri.....	71
5.2.1.5	Volanlı enerji depolama sistemi	73
5.2.1.6	Bataryalar	74
	Lityum-iyon bataryalar.....	74
	Kurşun asit bataryalar.....	75
	Nikel-kadmiyum bataryalar.....	75
	Nikel–metal hidrit bataryalar	76
	Sodyum-sülfür bataryalar	76
	Akışlı bataryalar	77
5.2.1.7	Yakıt pilleri	77
5.2.2	Güç ve enerji durumuna göre sınıflandırma.....	79
5.2.3	Uygulama alanlarına göre sınıflandırma	80
5.2.3.1	Enerji temelli uygulamalar	80
5.2.3.2	Güç temelli uygulamalar	80

5.3 Enerji Depolamanın Önemi.....	81
6. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLER	83
6.1 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Kısa Tarihçesi	83
6.2 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Çalışma Prensibi	84
6.3 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerde Değişken Devir Teknolojisi..	85
6.4 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Olumlu Ve Olumsuz Yönleri	87
6.5 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Fonksiyonları	88
6.6 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması.....	89
6.7 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Teknik Parametreleri.....	91
6.8 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller İçin İstenen Site Özellikleri.....	92
6.9 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller İçin Rüzgâr-Güneş Hibrit Sistemleri	93
7. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN DÜNYADAKİ DURUMU	97
7.1 Dünyadaki Bazı Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerden Örnekler.	100
7.2 Dünyada PDHES'lerin Geleceği.....	105
8. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU	107
8.1 Türkiye Elektrik Tüketimi Ve Puant Talep.....	109
8.2 Ülkemizdeki PDHES Çalışmalarının Gelişim Aşamaları.....	111
8.3 PDHES'lerin Bölgesel Arz Güvenliği Dikkate Alınarak İncelenmesi	114
8.4 Gökçekaya PDHES Ve Özellikleri	120
8.5 PHDES Hakkında Türkiye'de Yapılan Diğer Çalışmalar.....	123
9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	127
KAYNAKLAR	133
ÖZGEÇMİŞ.....	139



KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AIAA	: American Institute of Aeronautics and Astronautics
BP	: British Petroleum
CAES	: Basınçlı Hava Enerjisi Depolama
DAC	: Kalkınma Yardımları Komitesi
DSİ	: Devlet Su İşleri
EİE	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EDS	: Elektrik Depolama Sistemleri
ESC	: Enerji Depolama Konseyi
FSRU	: Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Tesisi
GEPA	: Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası
GES	: Güneş Enerji Sistemleri
GÖP	: Gün Öncesi Piyasa
GSYİH	: Gayrisafi Yurt İçi Hasıla
HES	: Hidroelektrik Santrali
JES	: Jeotermal Enerji Santrali
JICA	: Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
ODA	: Denizaşırı Kalkınma Yardımı
OECD	: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü
OFFSHORE	: Deniz Üstü
PDHES	: Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral
PTF	: Piyasa Takas Fiyatı
PV	: Fotovoltaik
RES	: Rüzgar Enerji Santrali
SHDES	: Sıkıştırılmış Hava Enerji Depolama Sistemleri
SMES	: Süperiletken Manyetik Enerji Depolama
TAKY	: Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
TEİAŞ	: Türkiye Elektrik İletim A.Ş.
UPS	: Kesintisiz Güç Kaynağı
YEGM	: Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü
YEK	: Yenilenebilir Enerji Kaynakları



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 2016 yılı sonu itibarıyla Türkiye doğalgaz.....	13
Çizelge 2.2 Jeotermal enerji sıcaklık seviyesine göre kullanım alanları	26
Çizelge 3.2 2015'deki en yüksek hidroelektrik santral kapasiteleri	49
Çizelge 3.3 Biyoyakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı.....	51
Çizelge 4.1 Bazı ülkelerin 2015 yılı elektrik üretim değerleri.....	57
Çizelge 4.2 Dünya birincil enerji tüketimi (MTEP)	60
Çizelge 4.3 Ülkemiz elektrik enerjisi görünümü(GWh).....	61
Çizelge 4.4 Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı(GWh)	62
Çizelge 5.1 Küçük ölçekli depolama sistemleri.....	80
Çizelge 6.1 Değişken devirli PDHES ile sabit hızlı PDHES'in karşılaştırılması.....	87
Çizelge 8.1 2017 yılı kaynaklara göre kurulu güç kapasitemiz ve üretim miktarı ..	107
Çizelge 8.2 Türkiye'deki yıllık ortalama PTF.	110
Çizelge 8.3 Ülkemizdeki PDHES çalışmalarının gelişimi	113
Çizelge 8.4 EİE pompaj depolamalı hidroelektrik santral projeleri	117



ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1 2016 yılı dünya kömür üretimi sıralaması	8
Şekil 2.2 Bölgelere göre kömür rezervleri	8
Şekil 2.3 Türkiye taşkömürü üretimleri	9
Şekil 2.4 2015 yılı dünya ispatlanmış doğal gaz rezervleri dağılımı	10
Şekil 2.5 2015 yılı en fazla doğal gaz rezervine sahip ilk 10 ülke.....	11
Şekil 2.6 2006-2015 bölgelere göre dünya doğal gaz üretimi	11
Şekil 2.7 2004-2016 yılları arasında Türkiye'nin doğal gaz arzı ve yerli üretim oranları	12
Şekil 2.8 2016 yılında Türkiye'nin ithal ettiği doğal gazın ülkelere göre dağılımı ...	12
Şekil 2.9 2016 yılı bölgelere göre petrol rezervleri	13
Şekil 2.10 2016 yılı en çok petrol üreten ülkeler	14
Şekil 2.11 2004-2015 yılları arasında Türkiye'nin petrol tüketimi ve yerli üretim...	15
Şekil 2.12 2016 yılında Türkiye'nin ithal ettiği petrolün kaynak ülkelere göre dağılımı.....	16
Şekil 3.1 Dünya güneş enerjisi kurulu gücü (2000 – 2015).....	41
Şekil 3.2 2014 yılında en iyi solar pv kapasitesi ve 2015 yılında eklemeler	42
Şekil 3.3 Yıllara göre Avrupa'da güneş enerjisi kurulu güç artışı (2000 – 2015)	42
Şekil 3.4 Avrupa'da güneş enerjisi kurulu gücü (2000 – 2015)	43
Şekil 3.5 Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli haritası.....	44
Şekil 3.6 2012-2017 yılları arasında güneş enerjisi gelişimi (MW)	44
Şekil 3.7 Küresel kurulu rüzgâr enerjisi (MW) - ülke bazında dağılım.....	45
Şekil 3.8 Dünyada yıllık net global rüzgâr kapasiteli ekleri, 2001-2015.....	46
Şekil 3.9 Bölgelere göre yıllık rüzgâr enerjisi güçleri	47
Şekil 3.10 Kurulu güç içinde rüzgâr enerjisinin değişimi. (2016-2017).....	48
Şekil 3.11 2012-2017 yılları arasında rüzgâr enerjisi gelişimi. (MW).....	48
Şekil 3.12 2012-2017 yılları arasında hidrolik enerji artışı (MW)	50
Şekil 3.13 2013 yılında biyomas kaynaklarının primer enerji temini.....	52
Şekil 3.14 Yenilen+atık+atık ısı+pirolitik yağ enerjisinin değişimi (2016-2017)	53
Şekil 3.15 Türkiye'nin orman varlığı haritası.....	53
Şekil 3.16 Dünya çapında 2015 yılında kurulu kapasite.....	54
Şekil 3.17 Jeotermal enerji ülke kapasiteleri (2015, MW)	55
Şekil 3.18 2012-2017 yılları arasında jeotermal enerji gelişimi (MW).....	56
Şekil 4.1 Bazı ülkelerin elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı	58
Şekil 4.2 Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi.	59
Şekil 4.3 2016 yılı faturalanan tüketimin tüketici türüne göre dağılımı (%)	63
Şekil 5.1 Rüzgâr enerjisi üretiminde zaman içindeki dalgalanmaların görünümü ...	65
Şekil 5.2 Enerji depolama formuna göre E.D.S. teknolojilerini gösteren şema.	68
Şekil 5.3 Süper kapasitörler	68

Şekil 5.4 SMES sistemi bileşenleri	70
Şekil 5.5 Pompaj depolamalı hes çalışma sistemi	71
Şekil 5.6 Sıkıştırılmış Hava Depolama Tesisinin Şematik Görünümü	72
Şekil 5.7 Bir yakıt pilinin genel yapısı ve işleyişi.....	78
Şekil 5.8 Bir Yakıt pili yığını ve elemanlarının detaylı görünümü.....	79
Şekil 6.1 Pompaj depolamalı HES üretim ve depolama gösterimi	84
Şekil 6.2 Pompaj depolamalı ve klasik HES’lerin yıllık enerji üretim oranlarının karşılaştırılması	89
Şekil 6.3 PDHES sistemi ve elemanları.....	90
Şekil 7.1 Dünyadaki enerji depolama sistemlerinin kullanımı	97
Şekil 7.2 Avrupa-pompaj depolamalı HES kurulu gücü (2016).....	98
Şekil 7.3 Japonya- Okinawa PDHES	100
Şekil 7.4 Amerika – Ludington PDHES	101
Şekil 7.5 İtalya - 1992 Presenzano PDHES (1000 MW)	101
Şekil 7.6 Almanya -2004 Goldisthal PDHES (300 MW)	102
Şekil 7.7 Almanya -2004 Goldisthal PDHES (300 MW).....	102
Şekil 7.8 Almanya Waldeck I PDHES 120 MW, Waldeck II PDHES 480 MW ...	103
Şekil 7.9 Avusturya - 2008 Kopswerk-2 PDHES (450 MW)	103
Şekil 7.10 Japonya- örnek HES ve PDHES su alma yapıları	104
Şekil 7.11 Dünyanın en büyük PDHES’i.....	104
Şekil 8.1 2017 – 2040 üretim kapasitesi projeksiyonları	109
Şekil 8.2 2017 aylık saatlik PTF ortalamaları(TL/MWh).....	111
Şekil 8.3 PDHES planlama aşamaları.....	112
Şekil 8.4 Türkiye’nin 2016 yılı bölgesel elektrik üretim ve tüketim miktarları	115
Şekil 8.5 Bölgelerin 2016 yılı elektrik tüketimindeki payı	115
Şekil 8.6 Türkiye’de önerilen PDHES sahaları	117
Şekil 8.7 Gökçekaya PDHES görünümü	121
Şekil 8.8 Gökçekaya HES pompa türbini şeması	122
Şekil 8.9 Kaskat sistem HES ve PDHES projesi uydu görünümü.....	123
Şekil 8.10 Kaskat sistem HES ve PDHES projesi şeması	124
Şekil 8.11 Hazar gölü PDHES projesi ana bileşenleri	125
Şekil 8.12 Hazar gölü PDHES projesi saha uydu fotoğrafı	125
Şekil 8.13 Altınkaya PDHES projesi saha uydu fotoğrafı	126
Şekil 8.14 YEGM kampüsündeki mini hibrit PDHES.....	126

SEMBOL LİSTESİ

CH₄	: Metan
CO₂	: Karbondioksit
EJ	: Exajoule
g	: Gün
GW	: Gigawatt
H₂S	: Hidrojen Sülfür
kWh	: Kilowatt Saat
MTEP	: Milyon Ton Eşdeğer Petrol
MVA	: Mega Volt Amper
MW	: Megawatt
NiCd	: Nikel-Kadmiyum
NiH₂	: Nikel-Hidrojen
NiMH	: Nikel-Metal Hidrit
NH₃	: Amonyak
PJ	: Petajoule
Tcm	: Trilyon Metreküp
TWh	: Terawatt saat
SO₂	: Kükürtdioksit
V	: Varil
η_g	: Üretim Verimliliği
η_h	: Dönüş Verimliliği
η_p	: Pompalama Verimliliği



TÜRKİYE İÇİN POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN ÖNEMİ VE DURUM ANALİZİ

ÖZET

Teknolojileşmenin ve sanayileşmenin hız kazanmasıyla beraber dünya genelinde elektrik tüketimi her geçen gün artış göstermektedir. En temel ihtiyaçlarımızdan biri olan enerjinin temini günümüzün en büyük sorunlarından biri haline gelmiştir. Dünyada elektrik enerjisi üretmek için kullanılan fosil yakıtlar çevreye büyük ölçüde zarar vermekte ve her geçen gün fosil yakıt rezervleri azalmaktadır. Bu ve buna benzer sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları süreklilik arz etmesi, temiz olması ve yerel enerji kaynağı olmasından dolayı gün geçtikçe daha fazla önem kazanmaktadır.

İş sadece enerjiyi temin etmekle kalmamakta temin edilen elektrik enerjisinin fazlasının depolanması gerekmektedir. Büyük miktarlardaki enerjinin elektrik olarak depolanması çok maliyetli olduğundan dolayı dünya genelinde pompaj depolamalı hidroelektrik santraller kullanılmaya başlanmıştır.

Tarihsel olarak, nükleer enerji santralleri ile birlikte dalgalı güç taleplerini karşılamak için de kullanılan bu depolama sistemi rüzgâr enerjisi ve güneş enerjisi gibi stabil olmayan enerji kaynaklarından kaynaklanabilecek şebekedeki aşırı yük ve dengesizliklerin önlenmesine de katkı sağlamaktadır.

Bu tez çalışmasında PDHES'lerin genel yapısı ayrıntılı olarak anlatılarak bu santrallerin Türkiye'deki güncel durumun incelenmesi ve ülkemizdeki mevcut hidroelektrik santralleri içerisindeki durumunun anlatılması amaçlanmıştır.

Bu çalışmanın başında konvansiyonel enerji kaynaklarının dünyadaki ve Türkiye'deki durumu ve yenilenebilir enerji kaynakları, dünyadaki ve Türkiye'deki durumlarından bahsedilmiştir. Sonraki aşamada dünyadaki ve Türkiye'deki enerji ihtiyacı ve buna bağlı olarak elektrik enerjisi üretimi ve tüketimi irdelenmiştir. Daha sonra enerji depolama sistemleri anlatılmıştır. PDHES'ler hakkında kapsamlı bir çalışma yapılarak dünyadaki mevcut durumu anlatılmış ve dünyadaki bazı pompaj depolamalı hidroelektrik santraller hakkında örnekler verilmiştir. Son olarak PDHES'lerin Türkiye'deki gelişim aşamalarından bahsedilmiştir. Türkiye'nin elektrik tüketim ve puant talepleri incelenmiştir. PDHES'ler bölgesel arz güvenliği dikkate alınarak incelenmiş olup fizibilite çalışmaları tamamlanan Gökçekaya PDHES hakkında bilgiler verilmiştir. PDHES'lerin mevcut hidroelektrik santraller ile durumu anlatılarak önerilerde bulunulmuştur.



PUMPED STORAGE HYDROELECTRIC POWER PLANT IMPORTANCE AND ANALYSIS OF STATE FOR TURKEY

SUMMARY

The rapid rise in technology and industry has brought with it an overall increase in electricity consumption throughout the world. Today one of the most significant issues is the question of how this energy, which has now become a primary need, will be sourced. The fossil fuels used to generate electricity throughout the world have been harming the environment with fossil reserves becoming more scarce. As a consequence, finding renewable energy sources that are sustainable, clean and locally sourced is becoming more important than ever.

The issue is not limited to merely sourcing the energy, but what is also vital, is to find efficient means of storing this electricity. Since storing large reserves of electricity is a very costly exercise, the general practice worldwide has been to have it stored in hydroelectric pump stations.

Historically, fluctuating power demands have been met by nuclear energy stations together with the implementation of storage systems for other unstable energy sources such as wind energy and solar energy, which have all contributed to mitigate excess loads and instability across the network.

The aim of this thesis is to provide a detailed outline of pumped-storage hydropower stations (PSH) and to evaluate the current state of such stations in Turkey, and by providing an analysis vis-a vis the current hydroelectric stations that are currently in use throughout the country.

The introduction includes an overview on the state of conventional energy sources as well as the present state of renewable energy resources, both worldwide and in Turkey. The next part will present research in energy demands across the world and in Turkey, and the electricity supply and consumption in relation to this. This is later followed by an explanation of current energy storage systems. A comprehensive investigation is offered regarding PSH, and its current state in the world is discussed with examples of how PSH is used in other countries. Finally, PSH's stage of development are discussed in Turkey. Turkey's electricity consumption and peak demand have been examined. PSHs were examined considering the regional supply security and information about Gökçekaya PSH where the feasibility studies were completed was given. The thesis ends with proposals on PSH in relation to the current hydroelectric stations in use.

1. GİRİŞ

Yeryüzündeki sıcaklıkların artması, küresel ısınmaya karşı, küremizi korumak için çeşitli tedbirlerin alındığı konusunda daha fazla farkındalığa yol açmıştır. İklim ve enerji kuruluşları, küresel sıcaklıkların artan eğilimini azaltmayı amaçlayan sıkı önlemleri yürürlüğe koymuştur. Isınma, esas olarak atmosferdeki ısıyı yakalayan sera gazlarının emisyonundan kaynaklanmakta olup, bu gazlar karbondioksit (%81), metan (%11), Nitröz oksit (%6) ve florlanmış gazlardır (%2). Küresel sıcaklıklarda meydana gelen artış, şiddetli kuraklık, fırtına ve sel gibi olumsuz etkilerin yaşanması, çeşitli hayvan türlerinin yok oluşu ve buzulların erimesi riskini doğurmaktadır.

Yukarıda belirtildiği gibi bu yıkıcı etkiler, kaynakların çoğunun insanların dikkatsiz faaliyetlerinden kaynaklandığından, yine bu yıkıcı etkileri etkisiz hale getirecek olanda insanların hayata geçirdiği tedbir ve önlemlerle olacağı muhakkaktır. Dünyada birçok örgütsel kuruluş yukarıda belirtilen yıkıcı etkileri bertaraf edecek tedbir ve önlemler konusunda birçok hedef belirlemiş ve belirledikleri hedefleri yerine getirmek için çeşitli önlemler ve politikalar koymuşlardır. Bu hedeflerin yerine getirilmesinde, en iyi yenilenebilir enerji kaynaklarının en iyi şekilde yararlanılabilmesi için nasıl kullanılabileceğine dair daha fazla araştırma programı dâhil olmak üzere, dünyayı kurtarma seyrini tamamen kanalize etmek için ajanslar ve kampanya komiteleri oluşturulmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarına ve kirlenici olmayan diğer kaynaklara geçiş planı, ele alınması gereken kendi zorluklarına sahiptir. Temel sorunlardan biri, yenilenebilir enerji kaynaklarının stabil olmaması ve hava durumu gibi çevresel etkenlere aşırı derecede bağlı olmasıdır. Bu durum ise talep zamanında daha az enerji çıkışı olmasına veya talebin az olduğu zamanlarda fazla enerji çıkışına sahip olmasına sebep olacak kararsız bir sistem oluşturmaktadır.

Bu durum, üretilen güç dengesini dengelemek için, üretim ve tüketim arasındaki farkı telafi etmek için yüksek potansiyele sahip güç sistemlerindeki enerjiyi

depolamanın olası uygulamalarına yönelik çalışmaların artmasına yol açmıştır. Bu enerji depolama sistemleri, ele geçirilen enerjiyi verimli bir şekilde dönüştürülebilmesinden ve taleplerin karşılanması için kontrol edilebildiğinden, bu sorunu çözmeye yardımcı olabilecek en iyi yöntemlerden biri olduğunu söyleyebiliriz.

Ülkemiz dünyadaki çoğu devlete nazaran nüfus ve sanayileşmede yüksek bir gelişim sürecine girmiş bulunmakta ve bu gelişim sürecinin iktiza ettiği enerjiyi sağlamak için temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarına olan meyli gün geçtikçe artırmaktadır. Türkiye konumu itibariyle bütün yenilenebilir enerji kaynakları bakımından yüksek bir enerji potansiyeline sahiptir. Bu kaynaklar içinde ise günümüzde Türkiye’de en etkili yenilenebilir kaynak %32,1’lik kurulu gücü ile hidroelektrik santraller olmaktadır. Ülkemizdeki bu potansiyel dünyanın %1’ini Avrupa’nın ise %16’sını oluşturması bakımından önemi fark edilir derecede büyüktür.

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PDHES) depolama bakımından çok yüksek potansiyele sahip olması, ülkemizde hidroelektrik santrallerin enerji üretiminde etkin bir kaynak olması, Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin (PDHES) ülkemizde gelişen diğer yenilenebilir kaynaklar ile entegre edilebilmesi ve bu depolama sisteminin sağladığı birçok faydalı özelliğinden dolayı ülkemizdeki en etkin depolama sistemi olarak kullanılması gerekmektedir.

PDHES sisteminin çalışma mantığı, üretilen fazla enerji, daha yüksek bir rezervuara pompalamak için kullanılacak olan iki rezervin kullanılmasıyla çalışmaktadır. Enerji talep edildiğinde, üst rezervuardaki depolama ile elde edilen potansiyel enerji, suyun türbinlerden tekrar alt rezervuarlara doğru iletilerek elektrik enerjisine dönüştürülmektedir.

1.1 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Her geçen gün artan nüfus ve gelişen sanayi ile birlikte enerjiye olan ihtiyaç hızlı bir şekilde artmaktadır. Konvansiyonel enerji kaynaklarının aşırı derecede hava kirliliğine sebep olması, gün geçtikçe tükenme eğiliminin artması ve dışa bağımlılığı artırması gibi nedenlerden dolayı insanlar enerji ihtiyaçlarını karşılamak için temiz ve tükenmez olan yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmişlerdir. Bu kaynakların

çevreci olma, tükenmemesi, milli kaynak olması gibi birçok avantajı sağlarken bazı problemleri de barındırmaktadır. Bu enerji kaynaklarının en büyük problemlerinden biri talebin az olduğu zamanlarda üretilen yüksek enerjiyi depolayamamasıdır. Bu problemin çözümü için ise enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

Bizim tezimizde ise yüksek bir gelişim meyline girmiş olan ülkemizde enerji depolama sistemleri arasında yüksek potansiyele sahip, ülkemizin en büyük potansiyele sahip yenilenebilir kaynağı olan HES'ler ile ve diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile entegre olunabilen, sistem güvenilirliği ve frekans kontrolü yapabilmek için hızlı bir şekilde devreye girebilen ve daha birçok özelliğe sahip olan PDHES'ler incelenmiş olup Dünyadaki ve Türkiye'deki durumu araştırılmıştır.

Tez 9 bölümden oluşmaktadır.

- Birinci kısımda giriş, tezin amacı ve kapsamı yazılmıştır.
- İkinci kısımda ise yenilenemez enerji kaynaklarının Dünyadaki ve Türkiye'deki durumları hakkında bilgiler verilmiştir. Ayrıyeten yenilenebilir enerji kaynakların çevresel etkileri, kullanım alanları, avantaj ve dezavantajları anlatılmıştır.
- Üçüncü kısımda ise yenilenebilir enerjinin Dünyadaki ve Türkiye'deki durumu araştırılmıştır.
- Dördüncü bölümde Dünyada ve Türkiye'de elektrik enerjisi üretimi ve tüketiminden bahsedilmiştir.
- Beşinci bölümde enerji depolama sistemlerinden ve enerji depolamanın öneminden bahsedilmektedir.
- Altıncı bölümde pompaj depolamalı hidroelektrik santraller hakkında genel bilgi verilmiştir.
- Yedinci bölümde ise pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin Dünyadaki durumu anlatılmış olup dünyadaki bazı pompaj depolamalı hidroelektrik santraller hakkında örnekler verilmiştir.
- Sekizinci bölümde pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin Türkiye'deki durumu hakkında güncel bilgiler verilip yapılan çalışmalardan bahsedilmiştir.
- Dokuzuncu bölüm ise sonuç ve öneri kısmını kapsamaktadır.

1.2 Literatür Taraması

Enerji depolama sistemi raporu, depolama sistemlerinin gerekliliğini ve etkinliğini açıkça belirtir. Enerji depolama konseyi , Enerji Depolama başlıklı rapor üzerindeki enerji depolama sistemlerini özetler ve depolama sistemlerinin hayati önemini gösterir. Elektriksel değer zinciri, büyük ölçekli enerji depolama eklendiğinde altı boyut, düzen önerilmektedir. Makale, depolama sisteminin gerekliliğini ortaya koyarak sonuca varmış ve bu sistemlerin karşılaştırması yapılmıştır.

Jonah G. Levine 2007 yılında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını iyileştirme yöntemleri olarak pompalanan hidrolik enerji depolama ve rüzgâr kaynaklarının mekansal çeşitliliği başlıklı bir tez, güç ve kapasite, gelir, maliyet ve geri ödeme parametrelerinden oluşan bir model kullanır. En yüksek üretim maliyetinden kaçınan doğal gaz üretim maliyeti göz önünde bulundurulur ve kaçınılan pik üretim maliyeti belirlenir. Ayrıca, doğal gaz santrali zirve saatine geçtiğinde emisyon (CO₂ ve SO₂) da dikkate alınmaktadır. pompalanan depolama sisteminin gecelik sermaye maliyeti ve bileşenleri oluşturan değerler (arazi ve arazi hakları, güç istasyonu yapıları ve iyileştirmeleri, rezervuarlar ve su yolları, pompalar türbin valfleri, jeneratör motorları ve statik başlangıç ekipmanları, elektrik santrali, trafo merkezi ekipmanı, yollar, inşaat sırasında fonlar için ödenek) sermaye maliyetinin yüzdesi olarak dikkate alınmıştır. Her site için hesaplanan gelir ve geri ödeme süresi raporda açıklığa kavuşturuldu ve analiz edildi [1].

Yazarlar James ve arkadaşları Enerji Depolama Faydaları ve Piyasa Analiz El Kitabı başlıklı el kitabında enerji depolama sistemleri hakkında ayrıntılı analizler yaptılar. Elektrik enerjisi depolama uygulama alanları, şebeke sistemi, son kullanıcı / yardımcı müşteri ve yenilenebilir alt bölümlerde genel olarak gözden geçirilmiştir. Depolama sisteminin uygulama ve yararı (maliyette azalma) analiz edildi [2].

Bureau ile birlikte Dr. David Harpman, bu bilgi havuzuna bir dizi çaba ile katkıda bulunmuştur. Yapılan bu çalışmada bağlantılı elektrik sisteminde hidroelektrik ekonomik değer araştırılması yapılmıştır. Bu çalışma, pompalanan hidroelektrik ekonomik modellemede yan hizmetlerin nicelleştirilmesinde etkili olmuştur [3].

Chiu, L Et Al 1979 yılında Mekanik Enerji Depolama Sistemleri: Basıncılı Hava ve Yeraltı Pompalı Hidro isminde makale yazdı. Bu makale, CAES ve yeraltı PDHES'in

gelişim maliyetlerini inceliyor. Bu çalışma 1978 yılının Ocak ayında Alabama'da bir AIAA toplantısında sunuldu [4].

Bueno ve Carta, 2006 yılında Kanarya Adaları'ndaki yenilenebilir enerjinin penetrasyonunu artıran bir yöntem olan Rüzgâr Enerjili Pompalı Hidro Depolama Sistemlerini yazdı. Bu belge, belirli bir ada enerjisi sisteminin ihtiyaçlarını karşılamak için bir PDHES uygulamasının boyutlandırılmasına bakıyor [5].

2005-2006 yılları arasında Van Kooten ve diğ. ark. Yenilenebilir enerjinin artan penetrasyonlarına karşı şebekedeki farklı üretim ve depolama kaynakları arasındaki dinamiğe bakan bir dizi rapor üretti [6].

J.P. Deane ve ark., 2009 yılında yaptıkları çalışmada, mevcut ve yeni pompalanan hidrolik enerji depolama tesisinin tekno-ekonomik incelemesi, ABD, Avrupa ve Japonya'da teknik olarak 7000MW ve ekonomik olarak geleneksel termik ile karşılaştırmalı olarak yeni ve önerilen pompalanmış depolama sistemlerini özetlemektedir [7].

2. ENERJİ KAYNAKLARI

Herhangi bir yolla enerji üretilmesini sağlayan kaynaklar, enerji kaynakları olarak tanımlanır. Enerji kaynaklarına üretim niteliği olarak bakıldığında yenilenemeyen ve yenilenebilir enerji kaynakları olmak üzere iki başlık altında değerlendirilir.

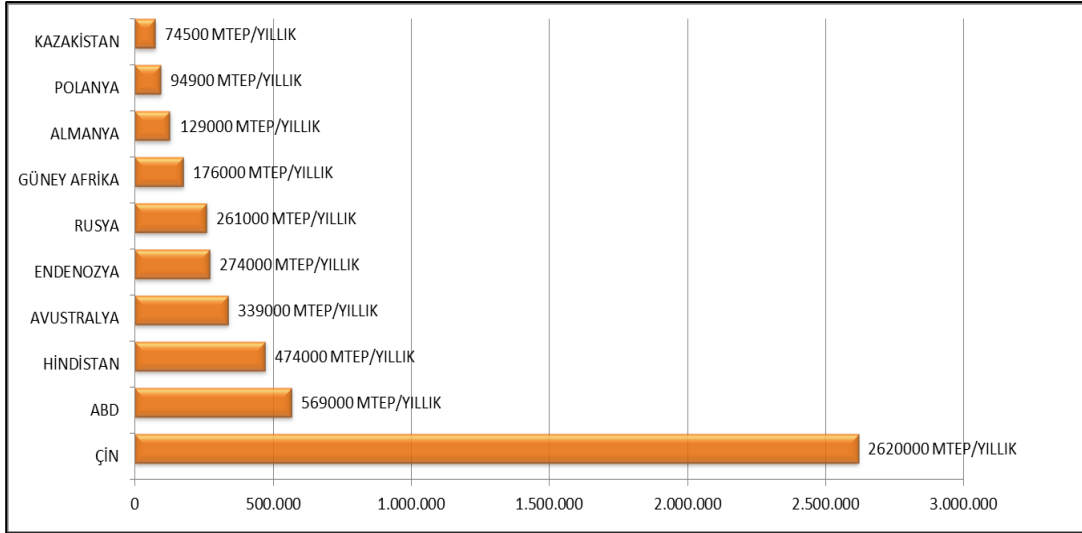
2.1 Yenilenemeyen Enerji Kaynakları

Bilimsel olarak esasen, enerji kaynakları sıralamasında yenilenemez olarak adlandırılan bir enerji kaynağı olmamasına rağmen, oluşumu çok uzun zaman alan enerji kaynaklarına yenilenemez enerji adı verilmektedir. Bu kaynakların büyük bölümü kömür, doğalgaz, petrol gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerjiden oluşmaktadır.

2.1.1 Kömür

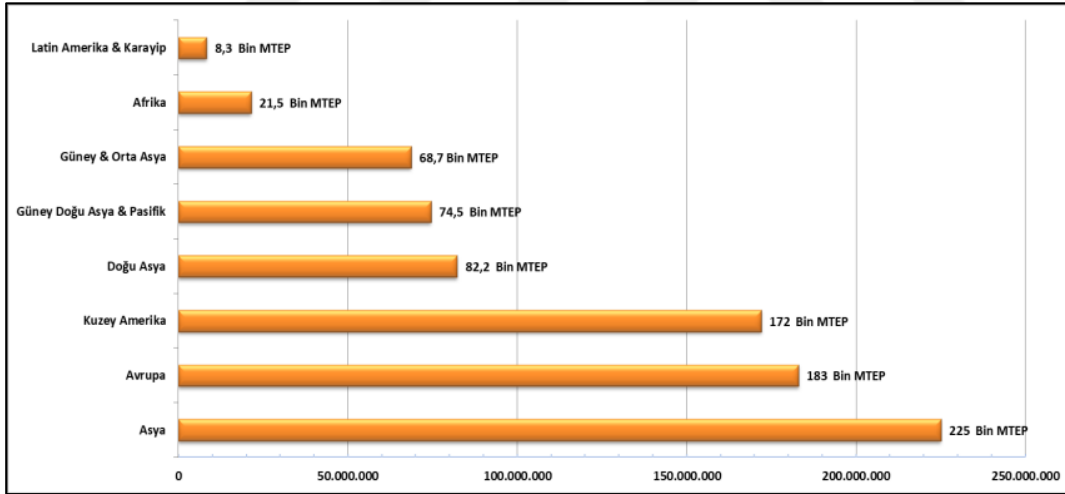
Kömür fosil yakıtların yeryüzünde en çok bulunanı ve en eski enerji kaynağıdır. Dünya şu anda enerji üretimi, demir-çelik üretimi, çimento üretimi ve sıvı yakıt gibi çeşitli sektörler tarafından kullanılan 7.800 milyon ton kömür tüketiyor. Kömürün büyük bir kısmı, ya kömür ya da linyit ya da koklaşabilir taş kömürü kullanan demir-çelik üretimi kullanan elektrik üretiminde kullanılmaktadır [8].

Kömürün enerji üretiminde rolü devam edecektir. Kömürün termik santrallerde işletilmesiyle şu anda dünyadaki elektriğin %40'ını üretiyor ve önümüzdeki 30 yıl boyunca stratejik bir pay sağlamaya devam edeceği tahmin ediliyor. En büyük kömür üreten ülkeler bir bölgeyle sınırlı değildir. İlk beş üretici Çin, ABD, Hindistan, Avustralya, Endonezya'dır.



Şekil 2.1 2016 yılı dünya kömür üretimi sıralaması [9].

2016 yılı BP istatistiklerine baktığımızda 2.62 milyar tonluk kömür üretimi ile Çin açık ara fark ile öncülük etmektedir. Amerika ise 569 milyon ton ile kömür üretiminde ikinci sırada yer almaktadır. Devamında ise sırayla Hindistan 474 milyon ton, Avustralya 339 milyon ton Endonezya 274 milyon ton ile takip etmektedir.

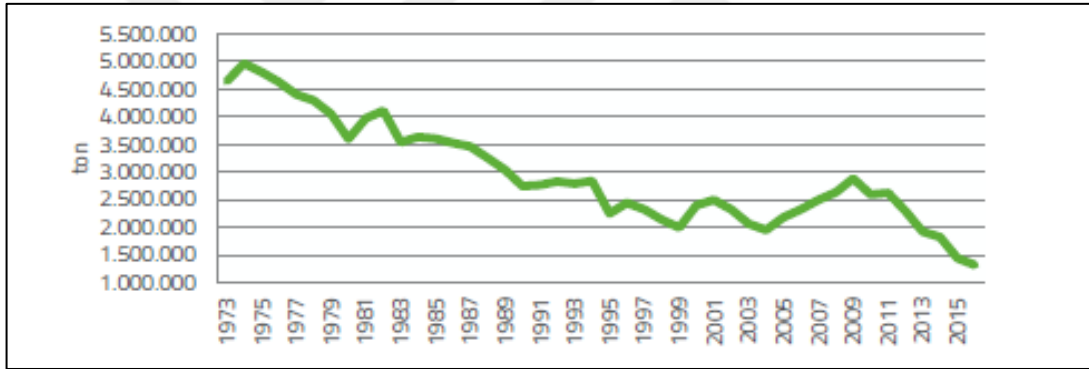


Şekil 2.2 Bölgelere göre kömür rezervleri [9].

Dünya Enerji Konseyi tarafından dünyanın genelinden rapor edilmiş verilere baktığımızda dünyadaki kömür rezervlerinin en yoğun olduğu bölge 225 milyar ton ile Asya bulunmaktadır. Asya'yı 183 milyar ton ile Avrupa ve 172 milyar ton ile Kuzey Amerika izlemektedir. Diğer bölgelerde ise doğu Asya 82.2 milyar ton, Güneydoğu Asya ve pasifik 74.5 milyar ton kömür rezervine sahip olmaktadır.

Dünya Enerji Konseyi'nin araştırmalarına göre; dünya kanıtlanmış işletilebilir kömür rezervi toplam 892 milyar ton büyüklüğündedir. Söz konusu rezervin; 403 milyar tonu antrasit ve bitümlü kömür, 287 milyar tonu alt bitümlü kömür ve 201 milyar tonu ise linyit kategorisindedir [10].

Ülkemiz 2015 yılı satılabilir kömür üretimi; 56,1 milyon ton linyit, 1,4 milyon ton taşkömürü ve 0,9 milyon ton asfaltit olmak üzere bir önceki yıla göre %10,5 azalarak toplam 58,4 milyon ton olarak gerçekleşmiştir. 1980'li yıllardan itibaren sürekli bir düşme eğilimine giren taşkömürü üretimleri 2004 yılında 1,9 milyon tona kadar gerilemiştir. Bu tarihten sonra tekrar hareketlenen satılabilir taşkömürü üretimi 2012 yılında 2,3 milyon ton düzeyindedir. 2013 yılında 1,9 milyon ton ve 2014 yılında ise bir önceki yıla göre %5 oranında gerileyerek 1,8 milyon ton olarak gerçekleşmiştir [10]. 2015 yılı satılabilir taşkömürü üretimi ise 1,4 milyon ton ve 2016 yılı üretimi ise 1,3 milyon ton düzeyindedir.



Şekil 2.3 Türkiye taşkömürü üretimleri [8].

2015 yılı sonu itibariyle 126,9 Milyon Ton Eşdeğer Petrol (MTEP) olan ülkemizin toplam birincil enerji tüketiminde kömürün payı %27,3'dür. Ülkemizin 2016 sonu itibariyle kömüre dayalı santral kurulu gücü 17.316 MW olup toplam kurulu gücün %22,1'ine karşılık gelmektedir. Yerli kömüre dayalı kurulu güç 9.437 MW (%12,1) ve ithal kömüre dayalı kurulu güç ise 7.879 MW (%10) şeklindedir [10].

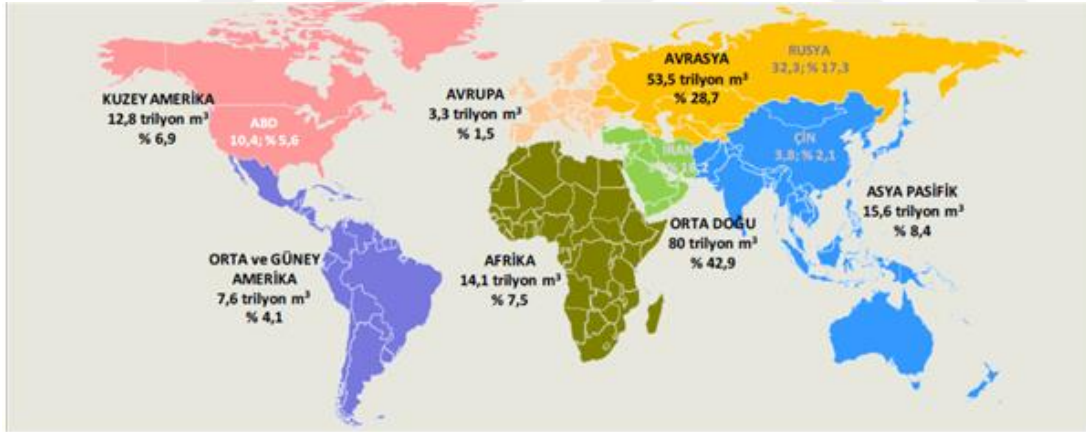
2.1.2 Doğalgaz

Doğal gaz hidrokarbonların bir karışımıdır ve genellikle az miktarda hidrokarbon içermez. Üreticilerin daha sonra ikisini üretim sürecine ayırabilecekleri bir gaz olarak ya da ham petrol ile çözelti halinde bulunabilirler.

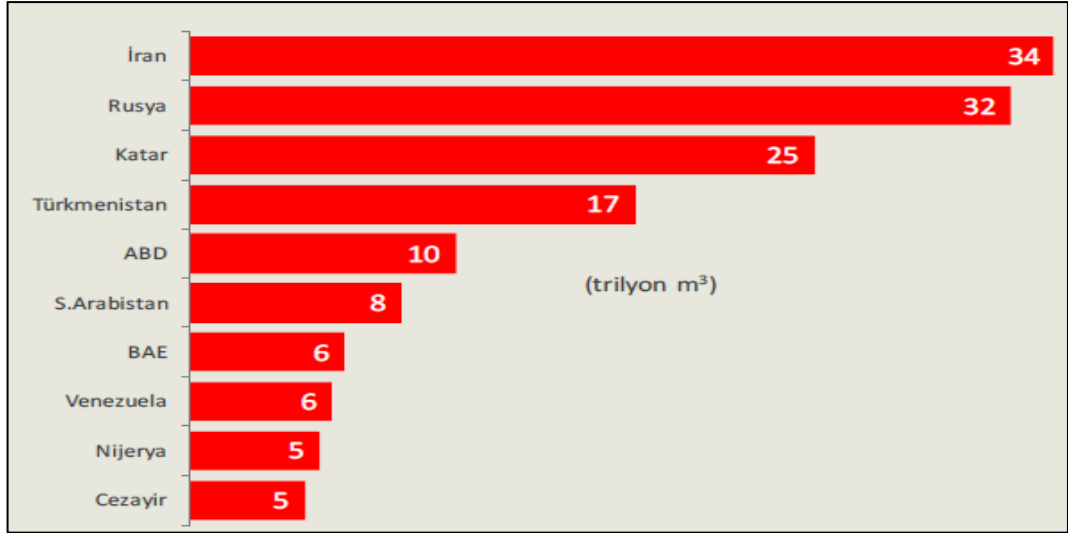
Doğal gaz fosil yakıtların en temiz ve en verimli kısmıdır. Dünyanın en temiz, daha ekonomik ve güvenli bir enerji geleceğine geçişinde önemli bir rol oynama potansiyeline sahip olduğu için, birincil enerji karışımının payının artması beklenen tek fosil yakıttır. Dünyanın toplam kanıtlanmış doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %80'i on ülkede bulunmaktadır. Orta Doğu bölgelere göre en büyük kanıtlanmış rezervlere sahipken, İran ülke bazında en büyük rezerv sahibidir [11,12].

2016 yılında, küresel olarak kanıtlanmış gaz rezervleri 1,2 trilyon metreküp (TCM) veya %0,6 ila 186,6 tcm arasında bir artış göstermiştir. Kanıtlanmış rezervler Dünya Enerji BP İstatistiği İncelemesi'ne göre mevcut üretim oranında 50 yıl sürecek yeterliliktedir [12].

2014 yılında, 187 trilyon m³ olan dünya doğal gaz rezervleri, 2015 yılında %0,5 azalarak 186,9 trilyon m³ olarak kaydedilmiştir. Dünya doğal gaz rezervlerinin %42,9'u Orta Doğu'da, %28,7'si Avrasya'da, %8,4'ü Asya Pasifik'te, %7,5'i Afrika'da, %6,9'u Kuzey Amerika'da, %4,1'i Orta ve Güney Amerika'da ve %1,5'i ise Avrupa'da bulunmaktadır (Şekil 2.4). OECD ülkelerinin doğal gaz rezervi ise 19,6 trilyon m³ olup, toplam rezervin %10,5'ini oluşturmaktadır [9,12,13].

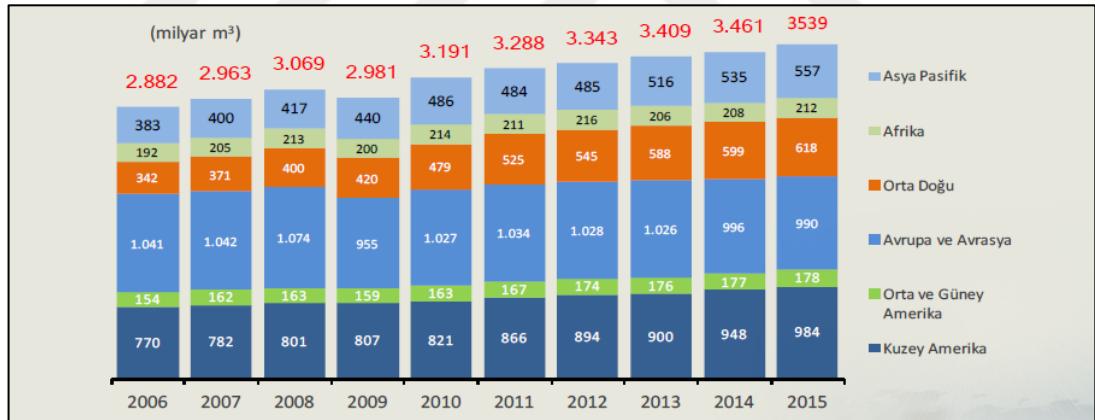


Şekil 2.4 2015 yılı dünya ispatlanmış doğal gaz rezervleri dağılımı [13].



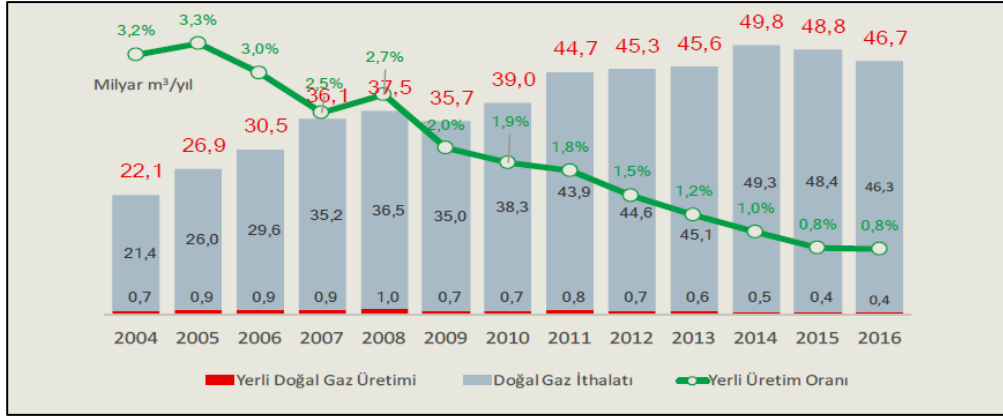
Şekil 2.5 2015 yılı en fazla doğal gaz rezervine sahip ilk 10 ülke [13].

2014 yılında, 3,46 trilyon m³ olarak gerçekleşen küresel doğal gaz üretimi, 2015 yılında, %2,2 artışla 3,54 trilyon m³ olarak kaydedilmiştir. Özellikle Asya Pasifik (%4,1), Kuzey Amerika (%3,9) ve Orta Doğu'da (%3,1) yaşanan oransal üretim artışları, 2015 yılında dikkati çeken hususlardır [13].



Şekil 2.6 2006-2015 bölgelere göre dünya doğal gaz üretimi [13].

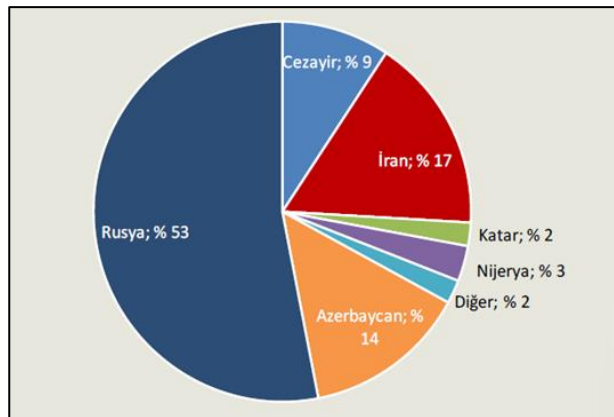
Türkiye'nin 2016 yılında yerli doğal gaz üretiminin tüketime oranı %0,8 olarak geçtiğimiz yıl ile aynı seviyede gerçekleşmiştir. 2008 yılında 1 milyar metreküpe kadar çıkan doğal gaz üretimi, 2016 yılında, 367 milyon metreküpe düşmüştür. Diğer bir ifadeyle, petrolde ithalata bağımlılık oranı %93,6 olan Türkiye'nin, doğal gazda ithalata bağımlılık oranı %99,2'dir [12,13].



Şekil 2.7 2004-2016 yılları arasında Türkiye'nin doğal gaz arzı ve yerli üretim oranları [13].

2016 yılı sonu itibari ile kalan üretilebilir doğal gaz rezervimiz 18.8 milyar m³'tür. Elektrik enerjisi üretiminde doğal gaza dayalı kurulu gücümüz 2017 yılı temmuz ayı sonu itibarıyla 26.074 MW olup bu değer toplam kurulu gücümüzün %32,37'sini karşılamaktadır [13].

Doğal gaz tüketiminde dışa bağımlılık oranı, petroldekinden de yüksek olup, Türkiye gaz talebinin %99,2'si ithalatla karşılanmaktadır. Türkiye'de, 2015 yılında 48,8 milyar m³ doğal gaz tüketilmiş ve bu rakamın %0,8'i (399 milyon m³) ülke içi üretim ile karşılanmıştır. Tüketilen doğal gazın yaklaşık %50'si ise elektrik üretimi için kullanılmaktadır. 2016 yılı Türkiye doğal gaz ithalatının ülkelere göre dağılımında Rusya %53'lük oran ile birinci sıradadır. Bu ülkeyi İran (%17), Azerbaycan (%14) ve Cezayir (%9) takip etmektedir [12,13].



Şekil 2.8 2016 yılında Türkiye'nin ithal ettiği doğal gazın ülkelere göre dağılımı [13].

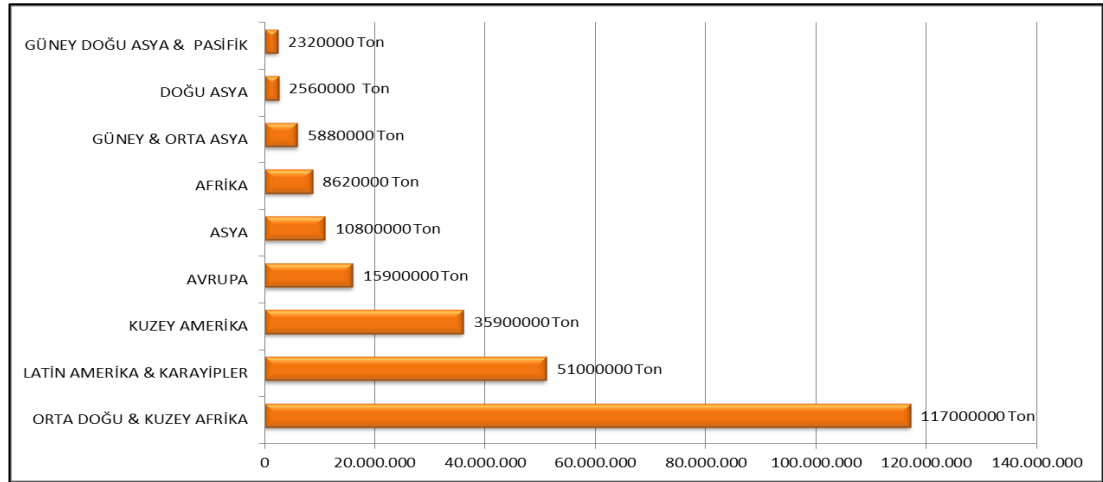
Çizelge 2.1 2016 yılı sonu itibariyle Türkiye doğalgaz [14].

	Rezervuardaki Gaz	Üretilen Gaz	Kümülatif Üretim	Kalan Üretilen Gaz
	M ³	M ³	M ³	M ³
TOPLAM	26 206 504 365	20 480 286 172	15 331 620 912	5 148 665 260

Arz kaynakları ve güzergâhlarının çeşitlendirilmesi amacıyla, Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Tesisi (FSRU) ilk olarak özel sektör tarafından Aliğa/İzmir’de 23 Aralık 2016 tarihinde işletmeye alınmıştır. Ayrıca BOTAŞ tarafından Hatay/Dörtyol İlçesi ve Saros Körfezlerinde FSRU (Yüzer LNG Depolama ve Gazlaştırma Ünitesi)’nin doğal gaz iletim sistemine bağlantısının sağlanmasına yönelik çalışmalar da sürdürülmektedir.

2.1.3 Petrol

Petrol, başlıca hidrojen ve karbondan oluşan ve içerisinde az miktarda nitrojen, oksijen ve kükürt bulunan çok karmaşık bir bileşimdir. Normal şartlarda gaz, sıvı ve katı halde bulunabilir. Gaz halindeki petrol, imal edilmiş gazdan ayırt etmek için genelde doğal gaz olarak adlandırılır. Ham petrol ve doğal gazın ana bileşenleri hidrojen ve karbon olduğu için bunlar "Hidrokarbon" olarak da isimlendirilirler.

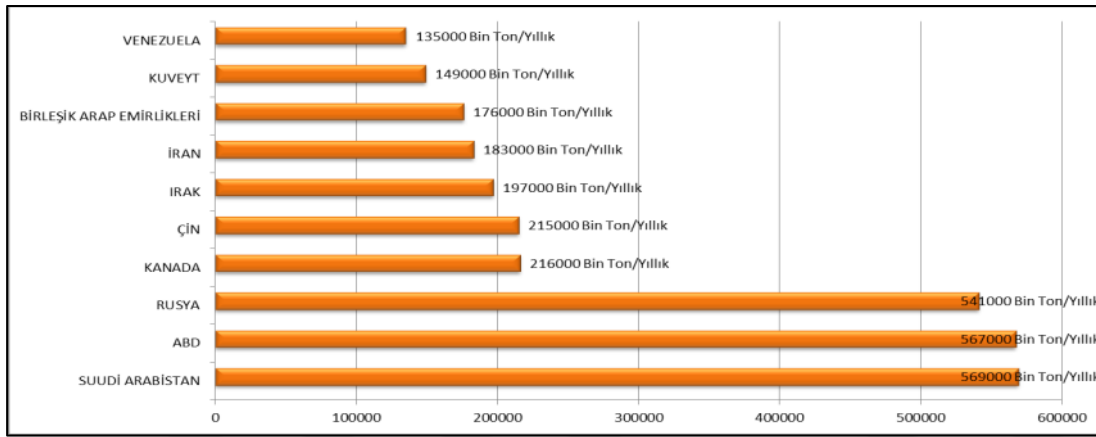


Şekil 2.9 2016 yılı bölgelere göre petrol rezervleri [9].

2016 yılı verilerine göre dünyadaki petrol rezervlerine baktığımızda Orta Doğu ve Kuzey Afrika 117 milyar tonluk petrol rezervi ile ilk sırayı alacak şekilde büyük bir petrol rezervine sahip olmaktadır. Ardından Güney Amerika neredeyse yarı miktarı

ile 51 milyar ton ile ikinci sırada bulunmaktadır. Avrupa ise 36 milyar tonluk bir rezerve sahip olmaktadır. Orta Doğu ve Kuzey Afrika yüzde 46'lık bir rakam ile neredeyse dünyadaki petrol rezervlerinin yarısına sahip olduğu görülmektedir.

İspatlanmış rezervler son 20 yılda 1126,2 milyar varilden 1697,6 milyar varile ulaşmıştır. Bölgesel dağılımı zaman içinde tutarlı bir şekilde sürdürülmekte ve önemli bir istisna söz konusudur - Güney ve Orta Amerika zaman içinde kanıtlanmış rezervlerin daha büyük bir kısmını ele geçirmiştir. Orta Doğu - son yüzyılın en iyi kısmı için geleneksel ham petrol kaynağı son 10 yılda %55'ten %47'ye düşmüştür [11].



Şekil 2.10 2016 yılı en çok petrol üreten ülkeler [9].

2011 yılındaki petrol üretimine baktığımızda Suudi Arabistan 526 milyon ton petrol üretirken Rusya 509 milyon ton, Amerika 352 milyon ton, İran 222 milyon ton, Çin 204 milyon ton petrol üretmiştir. Bu rakamlar 2016 yılında artış göstererek Suudi Arabistan petrol üretimini 569 milyon tona çıkarmış, Amerika Rusya'nın önüne geçerek 567 milyon tonluk üretim göstermiştir. Amerika bu artış ile petrol üretimindeki artış oranında dünyada birinci olmuştur. Amerika'yı 2016 yılı petrol üretiminde 541 milyon ton ile Rusya izlemiştir. Sonra sırasıyla Kanada 216 milyon ton, Çin 215 milyon ton, Irak 197 milyon tonluk üretimle takip etmektedir.

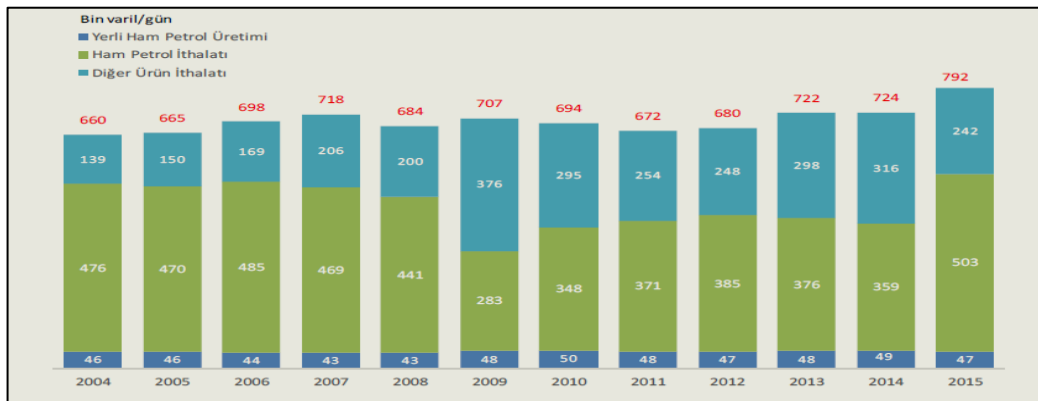
Ağırlıklı olarak ulaştırma sektörüyle bağlantılı olan petrol talebi 2016 yılında yükselmeye devam etmiştir (%1,6). Petrol ürünü talebi büyümesi, özellikle Asya ülkelerinde olmak üzere, dünya çapındaki araç filosunun güçlü talep büyümesinden kaynaklanmaktadır. Araç filolarının güçlü bir şekilde gelişmesi nedeniyle, Çin ve Hindistan, 2016 zamlarının yarısı için büyüme muhasebesinin temel kaynağı olmaya

devam ederken, OECD ülkelerinin tüketim artışı üçte birine yaklaştı. Petrol fiyatlarındaki yıllık düşüş, ABD'de rafine edilmiş petrol ürünleri tüketiminin artmasına katkıda bulunmuştur. Dinamik endüstriyel faaliyete bağlı olarak, Avrupa'nın petrol tüketimi on yıl sonra ikinci kez artış gösterdi [11,16].

Tersine, büyük Latin Amerika ülkeleri, temel olarak ekonomik kriz (Brezilya, Venezuela) ve son tüketici fiyat artışları (Meksika) nedeniyle petrol ürünleri tüketiminde önemli düşüşler kaydetmiştir [14].

Dünya üretilebilir petrol ve doğal gaz rezervlerinin yaklaşık %72'lik bölümü, ülkemizin yakın coğrafyasında yer almaktadır. Türkiye, jeopolitik konumu itibarıyla dünya ispatlanmış petrol ve doğal gaz rezervlerinin dörtte üçüne sahip bölge ülkeleriyle komşu olup enerji zengini Hazar, Orta Asya, Orta Doğu ülkeleri ile Avrupa'daki tüketici pazarları arasında doğal bir "Enerji Merkezi" olmak üzere pek çok önemli projede yer almakta ve söz konusu projelere destek vermektedir. 2030 yılına kadar %40 oranında artması beklenen dünya birincil enerji talebinin önemli bir bölümünün içinde bulunduğumuz bölgenin kaynaklarından karşılanması öngörülmektedir [11,16].

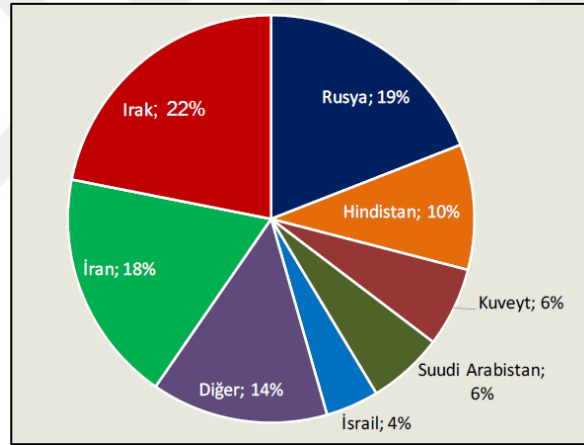
2015 yılında, Türkiye'de günlük yaklaşık 51 bin v/g ham petrol üretimi yapılmış; buna karşılık 835 bin v/g ham petrol tüketilmiş; 503 bin v/g düzeyinde ham petrol ithalatı, 242 bin v/g düzeyinde ise işlenmiş ürün ithalatı gerçekleştirilmiştir. 2014 yılına kıyasla, işlenmiş ürün ithalatı düşüş gösterirken, ham petrol ithalatı ve tüketilen ham petrol rakamı artış göstermiştir. 2015 yılında, yerli ham petrol üretiminin, toplam tüketime oranı %6,4 olarak gerçekleşmiştir [10].



Şekil 2.11 2004-2015 yılları arasında Türkiye'nin petrol tüketimi ve yerli üretim [13].

2017 yılı ilk 6 aylık dönem sonunda yurtiçi kalan üretilebilir ham petrol rezervi 332,8 milyon varil (48 milyon ton) olup yeni keşifler yapılmadığı takdirde, bugünkü üretim seviyesi ile yurtiçi toplam ham petrol rezervinin 18 yıllık bir ömrü bulunmaktadır. 2017 yılının ilk 5 aylık döneminde tüketimin yaklaşık %7,7'si yerli üretimle karşılanmış, doğal gazda ise bu oran %0,6 olarak gerçekleşmiştir.

2016 yılında, Türkiye'nin ithal ettiği petrolün %86'sı yedi ülkeden gelmiştir. 2015 yılına göre Irak'tan gelen petrolün oransal olarak azaldığı, İran'ın payının biraz arttığı gözlemlenirken Rusya'dan gelen petrolün payı %1 artmıştır. Petrol ithalat oranı azalmakla birlikte Irak, %22'lik payla yine ilk sırada yer alırken, Rusya %19 ile ikinci, İran %18 ile üçüncü sırada yer almıştır. Irak, Rusya ve İran ile birlikte Hindistan, Suudi Arabistan ve İsrail 2015 yılına benzer olarak önemli miktarda petrol ithal edilen ülkeler olmaya devam ederken 2016'da Kuveyt bu ülkelere katılmıştır. 2016'da ithal edilen petrolün %6'sının Kuveyt'ten ithal edildiği gözlenmektedir.



Şekil 2.12 2016 yılında Türkiye'nin ithal ettiği petrolün kaynak ülkelere göre dağılımı [13].

Her geçen gün artan petrol ve doğal gaz ihtiyacının mümkün olduğunca yurtiçi kaynaklardan karşılanması yönündeki faaliyetler kapsamında, ülkemizin yeterince aranmamış basenlerinde ve özellikle Karadeniz ve Akdeniz'deki deniz alanlarında yapılan çalışmalar büyük bir ivme kazanmıştır. Son yıllarda deniz sondaj teknolojisindeki gelişmelerin, su derinliklerinin fazla (1.000-2.000 m) olduğu alanlarda arama ve üretim imkânlarını ortaya çıkarması ile denizlerimizde hidrokarbon aramacılığının yapısı hızla oluşturulmuştur. Özellikle, son yıllarda

yapılan çalışmalarla Karadeniz ve Akdeniz'in hidrokarbon potansiyelini ortaya çıkartmak adına arama çalışmaları başlatılmıştır [14].

2.2 Yenilenebilir Enerji

Yenilenebilir enerji, neredeyse sınırsız olan veya kolayca geri dönüştürülebilir veya yenilenebilir enerji kaynaklarını ifade eder.

Enerji Piyasaları Düzenleme Kurumu biyoenerji çalıştayında yenilenebilir enerjiyi şöyle tanımlanmaktadır;

Tedarik edilmesi esnasında hiçbir üretim sürecine gereksinim görülmeyen, fosil kaynaklı (kömür, petrol ve karbon türevi) olmayan,

Elektrik enerjisi üretimi sürecinde CO₂ yayılımının hiç olmadığı veyahut az bir seviyede gerçekleştirdiği, çevreye olan etkisi konvansiyonel kaynaklara göre oldukça az olan,

Kullanılmaya hazır olarak doğada var olan, hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyogaz, dalga, akıntı enerjisi ve gel-git, hidrojen gibi enerji kaynaklarını ifade eder [17].

Yeryüzünün yenilenemeyen enerji kaynaklarına olan bağımlılığının devam etmesinin en ciddi sonuçlarından biri iklim değişikliğidir. Son zamanlarda, dünyanın dört bir yanındaki sayısız alan, yaz mevsimindeki aşırı sıcak havalarda, düşük kış sıcaklıklarının kaydedilmesi ve kuraklık, sel ve daha fazlası gibi görülmemiş sayıda doğal felaketler de dâhil olmak üzere aşırı hava koşullarına tanıklık edilmekte ve bunların hepsi de zararlı karbon emisyonlarına atfedilmektedir. Bu sebeplerden dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarına olan önem artış göstermektedir.

Dünyadaki birçok ülke ham petrol kaynakları için orta doğuya güveniyor. Bu muazzam bağımlılık, onları iradesini artırabilecek büyük orta doğu petrol şirketlerinin merhametine bırakıyor. Bu tür eylemler, bir ülkenin ekonomisi üzerinde zararlı etkilere sahip olabilir ve yeni artan petrol fiyatlarının karşılanması için mücadele edebilecek olan yoksul ülkeler için ciddi yankı uyandırmaktadır. Bu, zamanla daha da kötüye gidecek bir sorun, çünkü bu kaynaklar azalmaya devam ediyor. Fosil yakıtlara daha az bağımlılık ve yeşil enerji kaynaklarını kullanma

konusuna daha fazla odaklanan milletler, yabancı şirketler tarafından dayatılan zorlamalara karşı kendi kendine yeterli ve daha az duyarlı olacak ve olmaktadır.

Ulusların temiz enerji kaynaklarına göç etmelerinin temel nedenlerinden biride fosil yakıtlar gibi geleneksel enerji kaynaklarının sınırlı bir kaynağa sahip olmasıdır. Sonsuza dek sürmeyecekler ve küresel nüfusun katlanarak büyüyecekleri gibi, bu malzemeler de aynı şekilde üstel bir hızla buharlaşacaktır. Bunları düşündüğümüzde yenilenebilir enerji kaynaklarının tükenmez olması bu konuda da fosil yakıtlarına göre büyük avantaj sağlamaktadır.

2.2.1 Yenilenebilir enerjinin çevresel etkileri

2.2.1.1 Güneş enerjisinin çevresel etkileri

Fosil yakıtların aksine, güneş enerjisi atmosfere karbondioksit yaymaz, bu nedenle güneş enerjisi kullanımı atmosfere salınan daha az miktarda sera gazı üretir. Güneş enerjisi sistemleri de sessizdir ve genellikle herhangi bir rahatsız edici gürültü kirliliği bırakmayan yüksek hareketli parçaları yoktur. Ne yazık ki, güneş enerjisi panelleri sadece gündüz vakti ışığı absorbe edebilir, bu yüzden verimli olabilmeleri için güneş sistemlerine genellikle çok büyük miktarlarda ihtiyaç duyulur. Bu büyük sistemler, çevreyi ve hayvan yaşamını olumsuz yönde etkileyebilecek büyük miktarda alan ve arazi kullanabilir. Büyük ölçekli güneş enerjisi sistemleri kurmak için arazinin temizlenmesi, ekosistemleri rahatsız ederek ve bitki ömrünü kaldırarak çevreyi olumsuz yönde etkileyebilir. Bu sistemlerin kurulumu, malzeme aranması, çıkarılması, üretimi ve bertaraf durumları konusunda da arazilere zarar verilmektedir.

Ayrıca, güneş panellerinin üretimi çevreye olumsuz bir etki yapabilir. Güneş paneli üreticileri, güneş panellerinin üretimi sırasında atmosfere yeşil ev gazları ve diğer kirleticiler salmaktadırlar. Fosil yakıtların nakliye sırasında kullanılması durumunda güneş panellerinin taşınması da çevre üzerinde olumsuz etki yaratacaktır.

Güneş panellerinin soğutulması esnasında su gereksinimi olmaktadır. Su talebindeki artış mevcut su kaynaklarının yanı sıra tesislerdeki kimyasal atıkların yeraltı sularının ve zemin yüzeyinin kirlenmesine de sebep olmaktadır.

Büyük ölçekli sanayi tesislerinin geliştirilmesinde olduğu gibi, güneş enerjisi santrallerinin yapımı da hava kalitesine zarar vermektedir. Bu tür tehditler, toprakla

taşınan patojenlerin salınmasını sağlar ve su rezervuarlarının kirlenmesine neden olan hava partikül maddesinde bir artışa sebep olur.

Fotovoltaik üretim prosesi, hidroklorik asit, sülfürik asit, nitrik asit, hidrojen florür ve aseton gibi toksik kimyasalları kullanır. Eğer üreticiler yasalara ve düzenlemelere uymuyorsa, bu kimyasallar özellikle imalatçı işçilere önemli sağlık riskleri getirebilir.

Ayrıca, güneş panelleri uygun şekilde bertaraf edilmezse, bu zehirli kimyasallar çevresel bir tehlike oluşturabilir.

Çatılarda kullanılan güneş panelleri de oldukça fazla görüntü kirliliği oluşturmaktadır.

2.2.1.2 Rüzgâr enerjisinin çevresel etkileri

Rüzgâr, önüne bir engel konulması veya sabit bir engelle karşılaşması halinde, onun üzerine bir basınç uygular. Böyle bir engelin harekete müsait olması durumunda, rüzgâr, o engelin hareket etmesine de sebep olur. İşte bu mantıktan hareketle, bir mil etrafında dönebilecek bir pervanenin (türbin) rüzgâr etkisi ile o mil etrafında dönmesi mümkün olabilmektedir [18].

Rüzgâr temiz, özgür, yerli ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Rüzgâr türbinleri herhangi bir yakıt türüne ihtiyaç duymaz, bu yüzden yakıtın araştırılması, çıkarılması, taşınması, nakliyesi, işlenmesi veya bertaraf edilmesinden kaynaklanan çevresel riskler veya bozulmalar söz konusu değildir. Rüzgâr kaynaklı enerji üretim sistemlerin sahip olabileceği muhtemel olumsuzluklar ise şöyle sıralanabilir.

Rüzgâr enerjisi üretiminde bir yanma olayı olmadığı için yâda su ile sistemi soğutma olayı olmadığı için ve üretim aşamasında bir atık çıkmadığı için hava kirliliğine su kirliliğine ve çevreyi pisletme gibi durumları yoktur. En büyük ekolojik sorunlardan biri, rüzgar türbinlerinin kuş popülasyonları üzerindeki etkisidir. Kuşlar, rüzgâr türbinlerinin kanatlarından uçtuklarında yaralanabilir veya öldürülebilirler.

Kimileri için rüzgâr türbinleri güzel bir manzara olarak görülse de fitri ortamı bozduğu için görüntü kirliliği oluşturmaktadır. Türbinlerin dönüşü ve çalışan motorlar da çevresinde durulamayacak şekilde gürültü kirliliğine sebep olmaktadır.

2.2.1.3 Baraj ve HES'lerin çevresel etkileri

Hidroelektrik barajlar son derece güvenilir bir elektrik kaynağı olarak kabul edilir ve sonuç olarak dünya genelinde birçok ülkede kullanılmaktadır. Ancak, nehirlerin ve çevredeki peyzajların biyolojik, kimyasal ve fiziksel özellikleri için ciddi sonuçlar doğurabilecek hidroelektrik barajların bazı önemli çevresel etkileri vardır.

Bir hidroelektrik baraj inşa edildiğinde, geniş bir alanı selleyen bir rezervuar oluşturulur. Su baskını ölçeği büyük ölçüde değişiklik gösterebilir ve doğal yaşamı yerinden etme potansiyeline sahip olup, bu süreçte habitatları yok eder.

Hidroelektrik barajlar ayrıca somon ve alabalık gibi bazı balık türlerinin göç yolu üzerinde de etkili olabilir. Bu tür balık türlerinin, yumurtlamaya doğru akış yönünde ilerlediği bilinmektedir ve bir barajın varlığı, bu durumun, popülasyonların düşmesiyle sonuçlanan imkânsız bir görev olmasını sağlar.

Bir nehir akışı değiştiğinde, bu bir nehir üzerinde çeşitli etkilere sahip olabilir. Değişen nehir seviyeleri ve yoğunluğuna bağlı olarak bir hidroelektrik barajın inşasından sonra hem yukarı hem de aşağı yönde erozyon görülmektedir.

Bir hidroelektrik barajdan aşağı akan nehir bölümleri, su akışının yeterli bir yönetim olmaması durumunda kuruma potansiyeline sahiptir.

Hidroelektrik barajların arazi üzerinde yarattığı etkilere gelince bariz sorun, ilk etapta su basması gereken arazi alanına inmektedir.

Daha aşağı yönde, çiftçilerin nehirlerle yakın verimli topraklara güvendiği tarım arazileri için ciddi etkiler olabilir.

Hidroelektrik barajlarla ilişkili çok sayıda atmosfer etkisi vardır. Önemli bir etki, önemli düzeyde bitki örtüsüne ev sahipliği yapabilecek toprakların su basması ile ilgilidir. Bu bitki örtüsü batırıldığı için, en güçlü sera gazlarından biri olan metan oluşumunu ve salınmasını sağlar.

Küresel ısınma emisyonları, hidroelektrik santrallerin kurulumu ve sökümü sırasında üretilmektedir

Nehirlerin, okyanusun derinliklerinde bulunan sedimentleri ve besinleri sürdüğü bilinmektedir. Bu tortular ve besinler, atmosferimizden karbondioksit emdiği bilinen alg ve diğer sucul yabancı otların üretimine yardımcı olabilir. Eğer bir nehir baraj

olmuşsa, çökeltilerin ve besinlerin akışı geçmişte olduğu kadar büyük değildir ve sonuçta denizde yosun tarafından daha az karbondioksit emilir.

2.2.1.4 Jeotermal enerjinin çevresel etkileri

En yaygın olarak geliştirilen jeotermal enerji santrali, sıcak erimiş kayaların yer kabuğuna yakın olduğu ve sıcak su ürettiği jeolojik “sıcak noktaların” yakınında yer alır. Diğer bölgelerde, daha derin jeotermal kaynaklara ulaşmak için Dünya'nın yüzeyine delinmeyi içeren gelişmiş jeotermal sistemler, jeotermal enerjiye daha geniş erişime izin verebilir.

Jeotermal santraller, kaynağı elektriğe dönüştürmek için kullandıkları teknoloji ve kullandıkları soğutma teknolojisi açısından da farklılık göstermektedir. Çevresel etkiler, kullanılan dönüşüm ve soğutma teknolojisine bağlı olarak değişecektir.

Jeotermal enerji santralleri, derin topraktan çekilen sıvıları kullanır. Bu akışkanlar, özellikle karbondioksit (CO₂), hidrojen sülfür (H₂S), metan (CH₄) ve amonyak (NH₃) gibi bir gaz karışımı taşıyabilir. Bunlar küresel ısınmaya, asit yağmura ve serbest bırakılırsa zararlı kokulara sebep olmaktadır. Mevcut jeotermal elektrik santralleri ortalama 122 kg CO₂ yayar.

Jeotermal akışkanın korozyona ve kireçlenmeye sebep olmaktadır ve içerdiği bor yüzünden tarımsal sulamaya uygun değildir

Yüksek derecede mineralleşen su bitkisel yaşamı öldürmektedir. Santralin inşaatı, patlamaların etkisi doğal yaşamı değiştirmektedir [19].

2.2.1.5 Hidrojen enerjisinin çevresel etkileri

Hidrojen bir birincil ya da doğalgaz enerji çeşidi olmayıp, bir başka enerji tüketilerek elde olunan sentetik yakıt durumundaki enerji taşıyıcısıdır. Hidrojen motor yakıtı olarak kullanılabilirdiği gibi sanayide, elektrik üretiminde, konutlarda güvenle kullanılabilir durumdadır. Uygulamaya aktarılacak üretim, taşıma, dağıtım, kullanım teknolojileri geliştirilmiş, uluslararası standartlar çıkarılmıştır [20].

Hidrojen enerjisinin yakılması sonucu sadece su ve enerji gibi zararsız maddeler ortaya çıktığı görülse de ucunun yukarıda sayılan alanlarda yakıt olarak kullanılması sonucu CO₂ gazının büyük oranda havayı kirlettiğini çoğu kişi görmemektedir.

Bir başka kirlenme olayı da hidrojen üretiminde doğalgaz kullanılarak yine havaya CO₂ salınımının fazla olmasıdır.

2.2.1.6 Deniz kaynaklı enerjilerinin çevresel etkileri

Kıyı ve kıyıya yakın şemalar, akıntı ve dalgaların değişmesi nedeniyle kıyı erozyonuna etki edebilir. Gelgit hızları, dalga genliği ve su akışı, dizinin büyüklüğü ile orantılı olarak değişebilir.

Elektrik enerjisi üretirken, dalga enerjisi sera gazı veya diğer atmosferik kirlenmeler üretmezken, yapım, nakliye ve yaşam döngüsünün diğer aşamalarından kaynaklanan emisyonlar ortaya çıkar. Ayrıca hidrolik rampalar, güç aktarma organları, yağlama yağları ve sıvıları, korozyon önleyici ve biyolojik kirlenme boya ve çevresindeki denizlere kaplamalar için hidrolik sıvıların salınması ve sızması ile ilgili potansiyel etkiler.

Kıyıda uzaktaki cihazlar etrafındaki dışlama bölgeleri yerel balıkçılık alanlarını etkileyebilir. Çapa hatları, dişleri ve güç kabloları ağların kullanımını kısıtlarken, yüzer aygıtlar bazı deniz canlılarına ve yaşam alanlarına erişim sağlayarak ve bu bölgedeki balıkçılığı ve balıkçılığı sınırlandırarak korunaklı koşullar oluşturabilir.

Deniz memelileri yüzen yapılara karşı savunmasız olabilir veya deniz yatağında fauna ve florayı etkileyen deniz hareketine ve göçüne engel teşkil edebilir. Denizdeki dalga enerjisi cihazlarının çoğu doğrudan deniz tabanına demirlenir ve demirleme hatları bazı hayvanlar, özellikle de daha büyük balinalar için dolanma tehlikesi oluşturabilir.

Düşük profilli olmaları nedeniyle nakliye için olası seyir tehlikeleri, bunların görsel olarak veya gemi radarı tarafından tespit edilmesinin zor olmasına neden olabilir. Dalga enerjisi cihazları gece aydınlatılmıyorsa veya şamandıraları fırtınalar sırasında koparsa, nakliye üzerindeki potansiyel etki. Ayrıca, bakım ve onarım için bölgede artan tekne trafiğinden kaynaklanan potansiyel petrol sızıntılarından dolayı su kalitesi etkilenebilir.

Özellikle kaba koşullarda dalga yakalama cihazlarından gelen sabit gürültü, avlanmak için yankı konumunu kullanan balinalar ve yunuslar üzerinde etkili

olabilir. Kıyı şeridi ve kıyıdaki cihazlar için, işletim gürültüsü seviyeleri, sahil veya sahil şeridinde yerel olarak bir gürültü sıkıntısı oluşturabilir.

2.2.1.7 Biyokütle enerjisinin çevresel etkileri

Biyokütle enerjisi, genel anlamda çevreye uyumlu bir enerji kaynağı olmakla birlikte, kullanılan biyokütle türüne göre bazı çevresel etkiler yaratabilmektedir. Örneğin, çöp ve benzeri bazı atıkların yakılması sonucu ortaya çıkan atıklar Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği (TAKY) kapsamına girmekte ve bazı çevresel önlemlerin alınmasını gerektirmektedir [20].

Dünyanın birçok yerinde nüfus artmakta ve insanlar ormanlık alanları açarak besinleri elde edecekleri tarla haline dönüştürmekte ve ormandaki geri kalan ağaçları da yakacak olarak kullanmaktadır. Dolayısıyla ormanlardaki doğal yaşamı olumsuz etkilemekte hatta türlerin nesillerini devam ettirmesini tehlikeye düşürmektedir [21].

Biyokütle besleme stoğunun yetiştirilmesi ve toplanması, besleme stoğunun santrale taşınması ve besleme stoğunun yakılması ya da gazlaştırılması ile ilişkili küresel ısınma emisyonları bulunmaktadır.

Depolanmasıyla birlikte çevrede kötü bir görüntü ve pis kokular yaymaktadır.

2.2.2 Yenilenebilir enerjinin kullanım alanları

Yenilenebilir enerjiler, direkt kullanılabilirdiği gibi farklı enerji biçimine de çevrilebilir. Doğrudan kullanıma örnek; jeotermal kaynaklı ısıtma, güneş gücü ile çalışan sistemler, su ve rüzgâr gücü değirmenleridir. Bunlardan en sık görülen yararlanma şekli ise, elektrik sağlamada kullanılan fotovoltaik (PV) pilleri ve rüzgâr türbinleridir. Yenilenebilir olan enerji; günlük hayatta, ısıtmada, aydınlatmada, soğutmada, seralarda, tarım alanlarında, atıkların dönüşümünde, sanayi ve endüstride birincil enerji olarak kullanılabilir.

Temiz ve tükenmez bir enerji kaynağı olan yenilenebilir enerji, özellikle alternatif bir enerji kaynağı olarak ülke ekonomilerinin canlanmasında, istihdam sağlamada ve ülkelerin kalkınmasında politik, ekonomik ve toplumsal amaçlı kullanılır [22].

2.2.2.1 Güneş enerjisi

Güneş enerjisi en temiz, en güvenilir yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir ve evinize ya da işinize güç sağlamak için çeşitli biçimlerde kullanılabilir. Güneş enerjili fotovoltaik (PV) paneller güneş ışınlarını güneşten gelen ışığın fotonlarını kullanarak silikon hücrelerdeki heyecan verici elektronlarla elektrik enerjisine dönüştürür. Bu elektrik, evinize veya işinize yenilenebilir enerji sağlamak için kullanılabilir. Genel olarak kullanım alanlarına bakacak olursak:

Güneş enerji sistemlerinin en yaygın kullanımını elektrik enerjisi üretmektir. Genel olarak elektrik ile çalışan her şeyde güneş enerjisi kullanılabilir.

Aydınlatma ve diğer kullanımlar için küçük ölçekli güneş enerjisi kullanımı, gazla çalışan jeneratörlere ya da elektrik prizine olan kablo ihtiyacını ortadan kaldırdığı için kullanışlıdır. Küçük bir güneş paneli, inşaat işlerinde kullanılan durma işaretlerini veya mesaj panolarını aydınlatmak için yeterli güç sağlar. Güneş enerjisiyle çalışan diğer işaretler hız sınırı işaretlerini ve radarla çalışan hız uyarılarını içerir.

Güneş çatı kolektörleri, sıcak su ve bina ısısı için güneş ışığından toplanan ısıyı kullanırlar. Bu güneş enerjisi tesisleri ışığı elektriğe dönüştürmez. Suyun sıcaklığını artırmak için güneşin ısını veya toplayıcıdaki borulardan akan başka bir sıvıyı kullanırlar. Bina daha sonra yüzme havuzları, duşlar, çamaşırhane ve diğer uygulamalar için sıcak suyu kullanır.

Güneş enerjisi konut ve iş yerlerinin soğutma ve ısıtma sistemlerinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Uzayda, güneş ışığını azaltmak için bulutlar ya da hava olmadan, metrekaresine başına 1.300 watt enerji güneşten geliyor. Uydular, güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürmek, sofistike radyo ve bilgisayar ekipmanlarını güçlendirmek ve günlük hayatınızı uydu radyo, televizyon ve hava durumu tahmini yoluyla etkilemek için güneş pilleri kullanır.

Bazı masaüstü ve cep hesap makinelerinin içlerinde minyatür güneş panelleri bulunur, bu da içerdeki elektronik cihazları çalıştırmak için enerji sağlar. Güneş paneli hem akkor hem de floresan ampuller gibi hem güneş ışığında hem de yapay aydınlatmada çalışır.

Güneş enerjisinin ulaşım araçlarında kullanımı hidrojenle mümkün olmaktadır. Güneş enerjisinden elde edilen ucuz elektrik ile su hidrolize edilir ve böylece tüm yakıtlardan bile daha verimli olabilen hidrojen elde edilmiş olur. Hidrojen elde etmenin en temel yolu güneş enerjisini kullanmaktan geçer [23].

Tarımda güneş enerjisinin kullanımına bakacak olursak sebze ve meyve kurutmada çok eskiden beri devam etmektedir. Yine tarımda sulama için suyun pompalanmasında gerekli olan enerji güneş panellerinden sağlanmaktadır.

2.2.2.2 Rüzgâr enerjisi

Günümüzde rüzgâr enerjisinin en popüler kullanımlarından biri elektrik enerjisi üretimi içindir.

Rüzgâr enerjisinin başka bir kullanımı ulaşım dadır. Medeniyetler binlerce yıl boyunca deniz taşımacılığında rüzgâr enerjisi olarak kullanılıyor.

Rüzgâr enerjisinin daha keyifli bir şekilde kullanılması, rüzgârın gücüne dayanan sporlar ve aktiviteler içindir.

Rüzgâr enerjisi geleneksel olarak yel değirmenleri kullanılarak gıda üretimi amacıyla kullanılmıştır.

Birçok ülkede ve toplumda, rüzgâr enerjisinin gücü, suyu topraktan dışarı pompalamak için kullanılmıştır.

Birçok ülkede ve toplumda, rüzgâr enerjisinin gücü, suyu topraktan dışarı pompalamak için kullanılmıştır.

2.2.2.3 Jeotermal enerji

Jeotermal enerji sıcak su, ısı gerektiren birçok uygulama için kullanılabilir. Mevcut kullanım alanları arasında, ısıtma binaları (tek tek veya bütün kasabalar), seralarda bitki yetiştirme, bitkileri kurutma, balık çiftlikleri ısıtma suyu ve pastörize süt gibi çeşitli endüstriyel işlemler yer almaktadır.

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı insanların banyo yapmak, yemek pişirmek ve tüyleri ve cildi gevşetmek için kaplıcaları kullanmaya başladıklarında binlerce yıl öncesine dayanır.

Jeotermal enerji ısı, kâğıt, odun hamuru ve kurutma kerestesinin sindirilmesi için kullanılabilir.

Sanayi, jeotermal enerjinin başka bir tüketicisidir. Kullanım alanları, meyvelerin kurutulması, sebzelerin kurutulması, odun kurutması ve ölen yünden cevherden altın ve gümüş elde edilmesine kadar değişmektedir.

Jeotermal enerji de kışın donmayı önlemek için kaldırımları ve yolları ısıtmak için kullanılır.

Çizelge 2.2 Jeotermal enerji sıcaklık seviyesine göre kullanım alanları [24].

Sıcaklık	Kullanım Alanları
180 °C	Yüksek Konsantrasyonlu Solüsyon Buharlaştırma, Amonyum Absorpsiyonuyla Soğutma
170 °C	Hidrojen Sülfür Yolu İle Ağır Su Eldesi, Diatomitlerin Kurutulması
160 °C	Kereste Kurutulması, Balık vb. Yiyeceklerin Kurutulması
150 °C	Bayer's Yolu İle Alüminyum Eldesi
140 °C	Çiftlik Ürünlerinin Çabuk Kurutulması
130 °C	Şeker Endüstrisi, Tuz Eldesi
120 °C	Temiz Su Eldesi, Tuzluluk Oranının Artırılması
110 °C	Çimento Kurutması
100 °C	Organik Madde Kurutma, Yün Yıkama
90 °C	Balık Kurutma
80 °C	Ev ve Sera Isıtma
70 °C	Soğutma
60 °C	Kümes ve Ahır Isıtma
50 °C	Mantar Yetiştirme, Balneolojik Banyolar
40 °C	Toprak Isıtma, Kent Isıtması, Sağlık Tesisleri
30 °C	Yüzme Havuzları, Fermantaston, Damıtma, Sağlık Tesisleri
20 °C	Balık Çiftlikleri

2.2.2.4 Hidrolik enerji

Rüzgâr enerjisi gibi, hidrolik enerji de çoğunlukla elektrik üretimi için kullanılmaktadır. Hidroelektriğin başka bir büyük ama çoğunlukla bilinmeyen kullanımı enerji depolamak içindir. Mevcut baraj altyapısını kullanarak, kamu hizmetleri “pompalanan hidro depolama” olarak bilinen enerjiyi depolamak için hidro güç kullanır. Ucuz enerji depolama için sınırlı seçenekler olduğundan bu kullanım daha da önem kazanmaktadır.

Hidrolik enerjinin bazı kullanımları şunlardır:

Elektrik üretimde kullanılır. Hidrolik enerji, dünyanın en önemli enerji kaynaklarından biridir. Hidrolik enerji, en ucuz ve kirlenici olmayan güç kaynaklarından biridir. Her ne kadar ekolojik hasara neden olsa da, nükleer, kömür, gaz ve diğerleri gibi diğer enerji türlerinden daha iyi bir iklim uyumuna sahiptir.

Enerji depolamada kullanılır. Dünyada hâlihazırda var olan 90 GW Küresel Pompalı Hidro Depolama var ve artan güneş ve rüzgâr enerjisi ile bu kapasite büyümektedir.

Tarımda kullanılmaktadır. Hidrolik enerji, eskiden tahıldan un üretmek için kullanılırdı ve ayrıca kereste ve taşların kesilmesinde, sulama kanallarına yükseltilmiş sular da kullanılıyordu. Sulama kanalları oluşturularak tarımsal sulamada da kullanılmaktadır.

Endüstride kullanılır. Hidrolik enerji, küçük yüksek fırınlarda körüklerin sürülmesi ve metal cevherlerin hushing olarak bilinen bir yöntemle çıkarılması gibi bazı endüstriyel uygulamalarda daha erken kullanılmıştır.

Balıkçılığı geliştirmede ve su taşkınlarını önlemede de önemli bir rol oynar.

2.2.2.5 Hidrojen enerjisi

Hâlihazırda, hidrojen esas olarak NASA uzay programında bir yakıt olarak kullanılmaktadır. Hidrojen yakıt hücreleri mekiğin elektrik sistemlerini çalıştırırken, sıvı hidrojen uzay mekiğini ve diğer roketleri itmek için kullanılır. Hidrojen yakıt hücresi ayrıca mekik mürettebatı için saf su üretmek için kullanılır.

Hidrojen ayrıca birçok organik bileşimde, özellikle benzin, doğal gaz, metanol ve propan gibi yakıtlarımızın çoğunu oluşturan hidrokarbonlarda bulunur.

Bir yakıt hücresi elektrik, ısı ve su üretmek için hidrojen ve oksijeni birleştirir. Yakıt hücreleri genellikle bataryalarla karşılaştırılır. Her ikisi de bir kimyasal reaksiyon tarafından üretilen enerjiyi kullanılabilir elektrik enerjisine dönüştürür. Ancak yakıt hücresi, yakıt (hidrojen) sağlandığı sürece elektrik üretecek ve asla şarjını kaybetmeyecektir [23].

Yakıt hücreleri, binalar için ısı ve elektrik kaynağı olarak ve elektrikli motorların itici araçları için bir elektrik kaynağı olarak kullanılmak üzere ümit vaat eden bir teknolojidir. Yakıt hücreleri en iyi saf hidrojen üzerinde çalışır. Ancak, doğal gaz,

metanol veya hatta benzin gibi yakıtlar, yakıt hücreleri için gerekli olan hidrojeni üretmek üzere yeniden düzenlenebilir [23,25].

Bugün üretilen hidrojenin %80'inden fazlası, gübre içinde önemli bir bileşen olan amonyağı yapmak ve petrol rafinasyonundaki yakıttan sülfürü çıkarmak için kullanılmaktadır. Diğer kimyasal prosesler için, belirli cam yapım süreçlerinde ve plastik ve baskılı devre kartlarının üretiminde kullanılır.

Bir hidrojen yakıt hücresi elektrik üretir ve ısı ve su verir.

Yakıt hücreleri, sadece elektrikli araçlar için değil, aynı zamanda tüm boyutlardaki ekipmanlarda kullanılmak üzere uyarlanabilir.

Sabit yakıt hücreleri evlerde, binalarda ve mağazalarda bir güç kaynağı olarak hızla popülerlik kazanmaktadır.

Hidrojen, konut veya endüstride geleneksel kullanım için %5 ila %10'luk konsantrasyonlarda doğal gaz şebekesine enjekte edilebilir. Bu hidrojenle güçlendirilmiş doğal gaz, aynı zamanda, otobüs filoları için bir yakıt olarak da kullanılabilir.

2.2.2.6 Biyokütle enerjisi

Biyokütle sistemleri, evlerde ısıtma veya yemek pişirmek için kullanılan küçük ocaklardan, elektrik üretimi için merkezi tesislerin kullandığı büyük enerji santrallerine kadar uzanmaktadır.

Biyokütleden biyogaz üreterek elektrik üretme, ısınma ve aydınlatmada kullanılabilir.

Konut uygulamalarında, biyokütle mekân ısıtması veya yemek pişirmek için kullanılabilir. Birçok farklı malzeme kullanılmasına rağmen odun en yaygın yakıt kaynağıdır. Ormancılık için yeni tasarımlar, pişirme veya ısıtma sisteminin verimliliğini artırarak ihtiyaç duyulan yakıt miktarını azaltabilir.

Sanayi ve işletmeler, alan ısıtma, sıcak su ısıtma ve elektrik üretimi gibi çeşitli amaçlar için biyokütle kullanır. Kereste fabrikaları gibi birçok endüstriyel tesis doğal olarak organik atık üretir.

Hayvansal atıklardan biyogaz üretimi sonucu çıkan verimli gübreler tarım arazilerinde kullanılmaktadır.

2.2.2.7 Okyanus enerjisi

Okyanuslardan dalga enerjisi ve gel-git enerjisi olarak iki türlü enerji elde edilmektedir.

1) Dalga enerjisi: Okyanus ve denizler gibi büyük su kütlelerinde meydana gelen dalgaların enerjisinden yararlanılmaktadır. Yenilenebilir enerji formlarından bir tanesidir.

2) Gel-git enerjisi: Gel-git veya okyanus akıntısı nedeniyle yer değiştiren su kütlelerinin sahip olduğu kinetik ve/veya potansiyel enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesidir [26].

2.2.3 Yenilenebilir enerjinin avantajları ve dezavantajları

Fosil yakıtları esas alan enerji kullanımı; yakıt konusunda dışa bağımlılık, yüksek ithalat giderleri ve çevre sorunları gibi önemli olumsuzlukların yanında, dünya fosil yakıt rezervlerinin hızla tükenmesi sebebiyle yenilenebilir enerji kaynaklarının önemini arttırmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynakları, sürekliliği nedeni ile sürdürülebilir olmasının yanında dünyanın her ülkesinde bulunabilmesi ile de büyük önem taşımaktadır. Ayrıca çevresel etkileri, yenilenemeyen enerji kaynaklarına oranla çok azdır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı, mevcut teknik ve ekonomik sorunların çözümlenmesi halinde 21. yüzyılda en önemli enerji kaynağı olacağı kabul edilmektedir [27].

2.2.3.1 Güneş enerjisinin avantajları

Güneş enerjisinin avantajlarını maddeler halinde sıralayacak olursak;

Güneş olduğu sürece yüzyıllarca güneş enerjisini kullanabilir olması ve güneş enerjisinin potansiyelinin çok fazla olması,

Geleneksel enerji kaynaklarına kıyasla neredeyse yok denecek kadar çevre kirliliğine yol açmaması,

Tüm dünyada kullanılabilir bir enerji kaynağı olması,

Ev tipi yerlerde kurulan paneller sayesinde elektrik faturasını düşürebilir olması,
Güneş enerjisi uygulamalarının çoğunda yer alan hareketli parçalar bulunmadığından dolayı sessiz olması,
Günümüzün güneş enerjisi sistemlerinin çoğunluğu çok fazla bakım gerektirmiyor olması,
Yapılan teknolojik çalışmalar çerçevesinde verimliliğinin her geçen gün artırılması,
Yiyecek kurutmak, ısınmak, sıcak su elde etmek gibi birçok alanda kullanımının yaygın olması,
Çok birikimli bir deneyime sahip olmayı gerektirmemesi,
Kurulumunun uzun sürmeyip kolay olması ve bakım onarım maliyetlerinin düşük olması,
Ülkelerin yerel enerji üretimine katkı sağlayarak dışa olan bağımlılığı azaltması gibi olaylar güneş enerjisinin avantajları arasında sayılmaktadır.

2.2.3.2 Güneş enerjisinin dezavantajları

Bir güneş sistemi satın almanın ilk maliyeti oldukça yüksektir.

Güneş enerjisi hala bulutlu ve yağmurlu günlerde toplanabilse de, güneş sisteminin verimi düşer.

Güneş enerjisi hemen kullanılmalı veya büyük pillerde saklanabilir. Şebeke dışı güneş sistemlerinde kullanılan bu piller, gün boyunca enerji tüketilmekte, böylece gece enerji kullanılmaktadır. Bu, gün boyu güneş enerjisi kullanımı için iyi bir çözümdür, ancak aynı zamanda oldukça pahalıdır.

Güneş panelleri çok fazla yer gerektirir ve bazı çatılar sahip olmak istediğiniz güneş panellerinin sayısına uyacak kadar büyük değildir.

Güneş enerjisi sistemleriyle ilgili kirlilik diğer enerji kaynaklarına oranla çok daha az olsa da, güneş enerjisi kirlilikle ilişkilendirilebilir. Güneş enerjisi sistemlerinin taşınması ve montajı, sera gazı emisyonları ile ilişkilendirilmiştir. Ayrıca, güneş fotovoltaiklerinin üretim sürecinde, çevreyi dolaylı olarak etkileyebilecek bazı zehirli malzemeler ve tehlikeli ürünler de bulunmaktadır. Bununla birlikte, güneş enerjisi diğer alternatif enerji kaynaklarından çok daha az kirletir.

Geceleri güneş olmadığı için elektrik üretimi durur.

Çatılarda veya gerektirdiği büyük alanlarda görüntü kirliliğine sebep olabilir.

2.2.3.3 Rüzgâr enerjisinin avantajları

Rüzgâr enerjisi kendisi yenilenebilir ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır.

Rüzgâr enerjisi, günümüzde mevcut olan en çevre dostu enerji kaynaklarından biridir. Rüzgâr türbinlerinin üretimi ve montajından sonra, rüzgâr türbinlerinin kendileri tarafından üretilen hiçbir kirlilik oluşmayacak kadar az olacaktır.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretmek, kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıt alternatiflerini yakma ihtiyacını azaltmaktadır. Bu da dışa bağımlılığı azaltmaktadır.

Diğer bazı enerji kaynaklarının aksine, rüzgâr enerjisi tamamen ücretsizdir.

Rüzgâr türbinleri sadece rüzgâr çiftlikleri gibi endüstriyel ölçekli tesislerle sınırlı değildir. Ayrıca, yerel bir elektrik tesisinin bir parçasını sağlamak için daha küçük, daha az güçlü rüzgâr türbinleri kurmayı tercih eden birçok arazi sahibiyle birlikte, yerel ölçekte kurulabilirler.

Rüzgâr türbinleri, uzak yerlere güç getirmek için önemli bir rol oynayabilir.

İlk elektrik üreten rüzgâr türbini 1888 yılında icat edildi. O zamandan beri rüzgâr türbinleri önemli ölçüde iyileşti ve günümüzde teknoloji fiyatların düşmeye başlamasıyla daha kolay erişilebilir hale geliyor.

Rüzgâr türbinleri nispeten düşük bakım olarak kabul edilir.

Rüzgâr enerjisi serbest olduğundan, işletme maliyetleri düşük olarak değerlendirilmektedir.

Rüzgâr enerjisi büyük bir potansiyele sahiptir. Hem yenilenebilir hem de sürdürülebilir ve çok çeşitli yerlerde mevcut. Her ne kadar rüzgâr türbini kurulmasının maliyet etkin hale getirilmesi için önemli bir rüzgâr enerjisi seviyesi gerekli olsa da, teknoloji, jeotermal enerji santrallerinde olduğu gibi sadece birkaç yer ile sınırlı değildir.

Rüzgâr enerjisi türbinleri piyasaya çıktığı için rüzgâr enerjisi endüstrisi patladı. Bu, tüm dünyada işçi istihdamına yardımcı olmaktadır.

RES'ler çok kısa sürelerde inşa edilebilir ve talebe göre kapasite artımı kolayca yapılabilir ve çok fazla alan kaplamazlar.

Rüzgâr türbinlerinde enerji üretimi için gece ve gündüz aktiftir.

2.2.3.4 Rüzgâr enerjisinin dezavantajları

Rüzgâr enerjisi, sabit bir enerji kaynağı olmadığı için güneş enerjisine benzer bir dezavantaja sahiptir. Rüzgâr enerjisi sürdürülebilir olsa da ve asla bitmeyecek olsa da, rüzgâr daima esmez. Bu, belirli bir yerin rüzgâr enerjisi üretimi için uygun olup olmadığını araştıran, önemli ölçüde zaman ve para harcayacak olan rüzgâr türbini geliştiricileri için ciddi sorunlara neden olabilir.

Maliyetler zamanla azalsa da, bir rüzgâr türbini kurulumu pahalı olarak değerlendirilmektedir. Öncelikle, önemli bir süre boyunca rüzgâr hızlarını ölçmek için örnek bir türbin kurmayı gerektirebilecek bir saha araştırmasının yapılması gerekecektir. Yeterli sayılırsa, rüzgâr türbinin önceden yapılmış bir temelin üzerine üretilmesi, taşınması ve dikilmesi gerekecektir. Tüm bu süreçler, bir rüzgâr türbini kurmanın toplam maliyetine katkıda bulunur.

Rüzgâr türbinlerinin, başta kuşlar ve yarasalar olmak üzere, vahşi yaşam için bir tehdit oluşturduğu yaygın olarak bildirilmektedir. Bununla birlikte, rüzgâr türbinlerinin, cep telefonu direkleri ve radyo kuleleri gibi diğer yapay yapılardan daha az vahşi yaşam için bir tehdit oluşturduğuna inanılmaktadır.

Rüzgâr türbinlerinin en popüler dezavantajlarından biri de ürettikleri gürültü kirliliğidir. Tek bir rüzgâr türbini yüzlerce metre uzakta duyulabilir.

Rüzgâr türbinlerinin bir diğer yaygın olarak dezavantajı görsel kirliliktir.

Lokasyonun uzaklığı bir avantaj olsa da (rüzgâr türbinlerini ıssız bölgelere yerleştirmek, insanlardan uzakta), aynı zamanda bir dezavantaj olabilir. Türbinlerde seyahat ve bakım maliyeti artar ve zaman alır. Offshore rüzgâr türbinleri teknelere ihtiyaç duyar ve yönetmek tehlikeli olabilir.

Rüzgâr dalgalı (aralıklı) bir enerji kaynağıdır ve belli bir enerji depolama biçimi kullanılmadıkça (örneğin piller, pompalı hidro) temel yük enerji talebini karşılamaya uygun değildir.

2.2.3.5 Jeotermal enerjinin avantajları

Jeotermal enerji hem yenilenebilir hem de sürdürülebilirdir. Dünyanın termal kaynakları asla tükenmez ve dünya yaşadığı sürece etrafta olacaktır.

Jeotermal enerji, kömür, petrol ve gaz gibi fosil yakıt alternatifleriyle karşılaştırıldığında çevre dostu bir enerji kaynağıdır.

Diğer yenilenebilir enerji teknolojilerinden (güneş ve rüzgâr enerjisi gibi) farklı olarak, jeotermal enerji sürekli ve kesintisiz bir elektrik kaynağı sağlayabilir.

Diğer ana enerji santralleriyle (kömür, güneş, petrol ve nükleer santraller gibi) karşılaştırıldığında jeotermal enerji santralleri nispeten küçük bir alan gerektirir.

Jeotermal enerji santrallerinin ilk maliyeti, arama, sondaj kuyuları ve tesis montajı için gerekli yatırımı dikkate alırken oldukça yüksek olmasına rağmen, bu tesisler inşa edildiğinde, diğer ana enerji santralleri ile karşılaştırıldığında çok az bakım gerektirdiği düşünülmektedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretmek nispeten düşük bir gürültü işlemidir. Bir jeotermal enerji santrali inşa edildikten sonra, ana gürültü kaynağı soğutma sistemlerinde bulunan fanlardan gelir. Jeneratör evleri genellikle dış gürültüyü en aza indirmek için gürültü azaltıcı malzemeler kullanılmaktadır.

Jeotermal enerji, fosil yakıt alternatiflerine olan bağımlılığımızı azaltarak, fosil yakıt rezervlerinin fiyatındaki dalgalanmalardan etkilenmeyen istikrarlı elektrik maliyetlerinin sağlanmasına yardımcı olmaktadır.

Jeotermal enerji, sadece temiz ve yenilenebilir bir elektrik kaynağı sağlamakla kalmaz, aynı zamanda belirli bir ülkenin ekonomisine, istihdam yaratma gibi birçok açıdan fayda sağlayabilir.

Jeotermal enerji teknolojileri söz konusu olduğunda coğrafi sınırlamalar olsa da, bu güç kaynağının büyük bir potansiyeli vardır.

Enerji üretme dışında ısıtma gibi farklı alanlarda da kullanılabilir.

Hava koşullarından bağımsızdır.

2.2.3.6 Jeotermal enerjinin dezavantajları

Dünya yüzeyinin altındaki sera gazı potansiyel olarak yüzeye ve atmosfere göç edebilir. Bu tür emisyonlar, kükürt dioksit ve silika emisyonları ile ilişkili olan jeotermal santraller yakınında daha yüksek olma eğilimindedir. Ayrıca rezervuarlar cıva, arsenik ve bor içeren toksik ağır metallerin izlerini içerebilir.

Jeotermal enerji santrallerinin inşaatı arazinin istikrarını etkileyebilir. Ocak 1997'de, İsviçre'deki jeotermal enerji santrali inşaatı, Richter ölçeğine göre 3.4 büyüklüğünde bir deprem tetikledi.

Yer altından pompalanan su yer altında boşluk oluşturarak çökmelere sebep olabilir.

Jeotermal ısı pompaları bir güç kaynağına ihtiyaç duyar. Ek olarak bu pompalar gürültü kirliliğine de sebep olmaktadır.

Jeotermal enerji tesisleri genellikle şehirden uzak bölgelerde olduğu için dağıtım maliyeti bulunmaktadır.

2.2.3.7 Hidroelektrik santrallerin avantajları

Hidroelektrik santrallerin en büyük avantajlarından biri, elektrik üretmek için herhangi bir yakıt gerektirmemeleridir.

Hidroelektrik santraller için yakıt gerektirmediğinden, bunların ürettiği elektrik maliyeti az ya da çok sabittir.

Hidroelektrik santraller herhangi bir yakıt yakmadığından kirlilik oluşturmaz. Zararlı gazlar ve partikül madde yaymaz, böylece çevreyi çevreleyen yaşam için temiz ve sağlıklı tutar.

Hidroelektrik santrallerin ömrü termik santrallerin ömründen daha uzundur. 50-100 yıl önce inşa edilmiş ve hala devam eden bazı hidroelektrik santraller var.

Hidroelektrik santralının çalışması için operasyonların çoğu otomatikleştirildiği için çok az insan gereklidir, bu nedenle hidroelektrik santrallerin işletme maliyetleri düşüktür.

Günde günlük güç tüketimi sürekli değildir. En yüksek güç geceleri oluşur. Termal ve nükleer santralleri günlük olarak başlatmak ve durdurmak çok zordur. Hidroelektrik santraller, çok zaman harcamadan kolayca çalıştırılabilir ve

durdurulabilir. Su, gün boyunca barajda toplanabilir ve bu, yoğun dönemlerde elektrik üretmek için kullanılabilir.

Barajlardan elde edilen su, tarım arazilerinin sulanması için de kullanılabilir, bu da yıl boyunca tarımsal üretimin yetersiz olduğu veya yağış olmadığı alanlarda bile üretilebilir.

Barajlar ayrıca büyük nehirlere bitişik bölgelerde taşkınların önlenmesine yardımcı olur.

Maliyet söz konusu olduğunda hidroelektrik santralleri hakkında iyi olan şey, düşük bakım ve işletme maliyeti gerektirmesidir. Aynı zamanda içinde bulunan daha az parça nedeniyle minimal değişimler gerektirir.

Hidroelektrik santrallerin kullanımı, enerji gereksinimlerine göre kontrol edilebilir. Gerekli olan enerji daha az ise, barajdan gelen su akışı da azalır, aksi takdirde gerekli enerji çok büyük olduğunda su tünellerini açığa çıkararak maksimum seviyeye gelecektir.

Barajın arkasında oluşan göl su sporları ve eğlence/eğlence aktiviteleri, balıkçılık gibi faaliyetler için kullanılabilir. Genellikle büyük barajlar kendi başlarına turistik yerler haline gelir.

2.2.3.8 Hidroelektrik santrallerin dezavantajları

Barajın büyüklüğüne bağlı olarak, rezervuar dolduğunda arazi sular altında kaldığından, bu durum büyük bir alan üzerinde etkili olabilir, bu da yaban hayatı, balık ve hatta bitkiler için felaket getiren sonuçlar doğurur.

Çoğu zaman, bir hidroelektrik baraj için bir rezervuar oluşturmak için arazinin su basması gerektiğinde, insanlar yerinden edileceklerdir.

Hidroelektrik barajların inşa edilmesi oldukça pahalıdır. Bir baraj, kendi başına ödeme yapmaya başlamak için güç üretmeye başlamadan önce, planlama, mühendislik ve inşaatın birçoğu gereklidir.

Düşük yerleşim bölgelerindeki yerel popülasyonlar, barajdan tahliye edilebilecek olası güçlü su akımları nedeniyle sel mağdurları olabilir.

İklimeye bağlı olduğundan kuraklık olan dönemlerde verimleri oldukça azalmaktadır.

Baraj nehrin normal akışı suyun durması nedeniyle suda çözülmüş oksijeni azaltır. Bu, yapay bir rezervuarda balıkların ölümüne yol açabilir ve rezervuarın kendisi ve etrafındaki bitki ömrünü tehlikeye sokabilir.

Genel olarak yerleşim yerlerinden uzakta inşa edildikleri için enerji hatlarına ihtiyaç duyar. Bu da daha fazla enerji kaybına ve maliyete sebep olur.

2.2.3.9 Biyokütle enerjisinin avantajları

Biyokütle enerjisi yenilenebilir bir enerji kaynağıdır çünkü kaynakları, mahsuller, gübre ve çöp gibi kaynakları her zaman mevcuttur.

Diğer enerji türlerinden daha az kirlilik üretir, çünkü salınan karbondioksit, biyokütle enerjisinin kaynağı olan fotosentez sırasında bitkiler tarafından nötr hale getirilir. Böylece, bu karbon döngüsü atmosferde bir denge oluşturur.

Fosil yakıtlara kıyasla maliyet etkin ve ucuzdur, çünkü petrol için sondaj yapmak, gaz boru hattı inşa etmek için gerekli ekipman gibi sermaye maliyetlerini içermez.

Hammadde her yerde mevcut olduğundan ve elektrik kesintilerinde güvenilir olmadığı için elektriğe aşırı bağımlılığı en aza indirir.

Biyokütle enerjisi, farklı organik madde formları aracılığıyla çok fazla ürün üretebilir. Yağı, etanol , plastik, ilaç ve yağdan gelen diğer biyoürünleri yapmak için kullanılır.

Biyokütle enerjisi, aynı zamanda, ithal edilen yabancı yağa güvenme ihtiyacını azaltan, yerel olarak da üretilebilir.

Tarım ürünleri biyokütle enerjisi elde etmede oldukça fazla kullanıldığından dolayı kırsal kesimlerde tarımsal faaliyetleri arttırarak iş imkânı sağlamış olacak ve bu sayede şehirlere olan göçlerde azalma sağlayacaktır.

Çorak alanlarda yetiştirilen biyokütle miktarının fazla olması ile eskiden atıl kalan yerlerin değerlendirilmesine sebep olabilir.

2.2.3.10 Biyokütle enerjisinin dezavantajları

Biyokütle enerjisinin ana kaynakları ağaç ve bitki olduğundan, bu enerjinin kütle üretimi genellikle küresel ısınmaya neden olan ormansızlaşmaya yol açabilir.

Biyokütle'den enerji elde etmek için, üretim tesislerinin bu kentleşme ve büyüyen nüfus dünyasında büyük bir sorun olan büyük alanlara ihtiyacı vardır.

Biyokütle enerji'nin kaynakları, büyümesi için yeterli miktarda suya ihtiyaç duyan temel bitkidir. Su kıtlığı varsa, maliyetli bir sulama tesisine ihtiyacı vardır.

Biyokütle enerji üretim tesisleri, kaynaklarının daha yüksek bir maliyete sahip olması nedeniyle, ek maliyetle kurulacak miktarda para gerektirmektedir. Bunun dışında fosil yakıtlarla kıyaslandığında verimsizdir.

2.2.3.11 Dalga enerjisinin avantajları

Dalga enerjisi ile ilgili en iyi şey, asla bitmeyecek olmasıdır.

Fosil yakıtlardan farklı olarak, dalgalardan güç yaratmak, gaz, atık ve kirlilik gibi zararlı yan ürünler oluşturmaz.

Bu enerjiyi kullanmanın bir başka yararı da, onu kullanabilecek yerlere yakınlığıdır. Büyük şehirler ve limanlar bir sürü okyanusun yanındadır ve kullanımları için dalgaların gücünü kullanabilirler. Kıyı kentleri iyi nüfuslu olma eğilimindedir, bu nedenle birçok kişi dalga enerji santrallerinden faydalanabilir.

Dalga enerjisinin diğer alternatif enerji kaynaklarının çoğuna karşı en büyük avantajı, kolayca tahmin edilebilir olması ve üretebileceği miktarı hesaplamak için kullanılabilir olmasıdır.

Fosil yakıtlar için yabancı şirketlere bağımlılık, dalga gücünün enerjisi maksimum seviyeye çıkarılabiliyorsa azaltılabilir.

Onlardan enerji çekerken büyük delikler açabileceğinden toprağa büyük zarar veren fosil yakıtların aksine, dalga gücü yeryüzünde herhangi bir hasara neden olmaz. Güvenli, temiz ve okyanustan enerji elde etmek için tercih edilen yöntemlerden biridir.

Dalga enerjisi cihazları, suyun altında ya da tamamen altında olacak şekilde kurulabilir. Cihazlar, minimum görsel etki sağlamak için kıyıdan yeterince uzakta kurulabilir.

2.2.3.12 Dalga enerjisinin dezavantajları

Enerjinizi dalgalardan elde etmenin en büyük dezavantajı yer. Sadece okyanus yakınlarındaki santraller ve kasabalar doğrudan bundan faydalanabilir.

Dalga enerjisi hala gelişim aşamasında olduğu için dalga cihazları oluşturmak çok masraflıdır.

Dalga enerjisi temiz olduğu kadar, yakınındaki bazı canlılar için de tehlike yaratır.

Bir başka olumsuz yanı ticari ve özel gemileri rahatsız etmesidir.

Zorlu havalarda dalga gücünün performansı önemli ölçüde düşer.

Dalga enerji jeneratörleri kıyı bölgelerine yakın yaşayan insanlar için hoş olmayabilir. Okyanusun ortasında çalışan büyük makinelere benziyorlar ve okyanusun güzelliğini yok ediyorlar. Ayrıca, gürültü kirliliği de üretirler.

Sağlam okyanus koşullarına 7/24 maruz kalan ekipman, dalga ekipmanına ve tuzlu deniz suyunun korozyona uğramasına ve bakım gerektirmesine neden olabilir.

Günümüzde okyanus dalgası kaynaklı elektriğin uzun mesafelere taşınması, günümüzde tüketileceği yere taşınması çok zordur.

2.2.3.13 Hidrojen enerjisinin avantajları

Hidrojen yakıt üretmek için yakıldığında, yan ürünler tamamen güvenlidir, yani bilinen yan etkileri yoktur.

Ana kaynağı bol olan zengin bir enerji kaynağıdır.

Hidrojen, her pound yakıt için çok fazla enerji iletme kabiliyetine sahip olduğu için katı bir şekilde verimli enerji türüdür.

Hidrojen yakıt hücrelerinin birçok uygulaması vardır ve endüstri, makine, motosiklet, otomobil ve NASA tarafından kullanılmaktadır.

Hidrojenin bir enerji kaynağı olarak kullanılmasının avantajlarından biri, halihazırda mevcut olmasıdır.

Başlangıç maliyetleri biraz yüksek olsa da, bir kez kurulduklarında, hidrojen yakıt hücrelerinin bakımı çok uygundur.

Hidrojen gaz seklinde, sıvı seklinde veya metal hidrit seklinde depolanabilir. Hidrojen boru hatları veya tankerler ile büyük mesafelere taşınabilir.

Yangın tehlikesi ve zehirlilik dikkate alındığında hidrojen en güvenilir yakıttır.

Elektrik kullanmanın zor olduğu yerlerde ulaşım, ısıtma ve enerji jenerasyonları için kullanılabilir.

2.2.3.14 Hidrojen enerjisinin dezavantajları

Yaygın olarak bulunurken, hidrojen pahalıdır. Bunun iyi bir nedeni, ögeyi diğerlerinden ayırmanın çok zaman almasıdır.

Hidrojen ve oksijenin atomlarını ayırmak ve aslında hidrojen yakıtı üretmek için fosil yakıtlara ihtiyaç vardır. Bu, alternatif bir enerji kaynağının amacını tamamen bozar.

Çok güçlü bir yakıt kaynağı olduğu için hidrojen çok yanıcı olabilir.

Sıvı formda depolanması için düşük sıcaklığın gerektiği buda ek bir soğutma sistemine ihtiyaç duyulduğunu anlamına gelir.

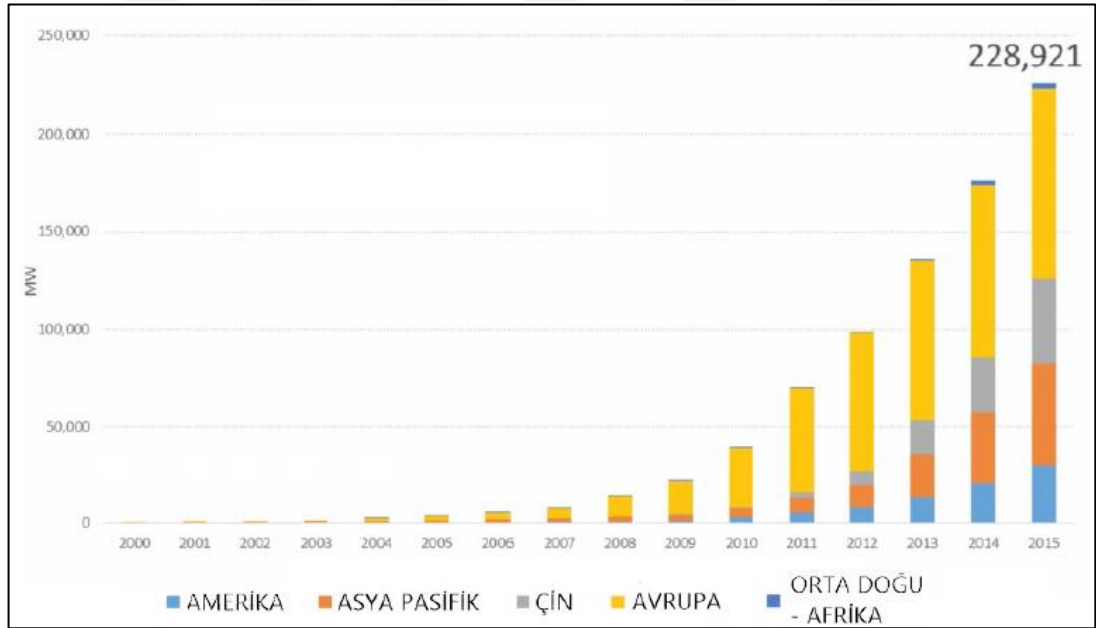
Şeffaf ve kokusuz olması sızıntı anında fark edilebilirliğinin düşük olması anlamına gelir.



3. YENİLENEBİLİR ENERJİNİN DÜNYADAKİ VE TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

3.1 Güneş Enerjisinin Dünyadaki durumu

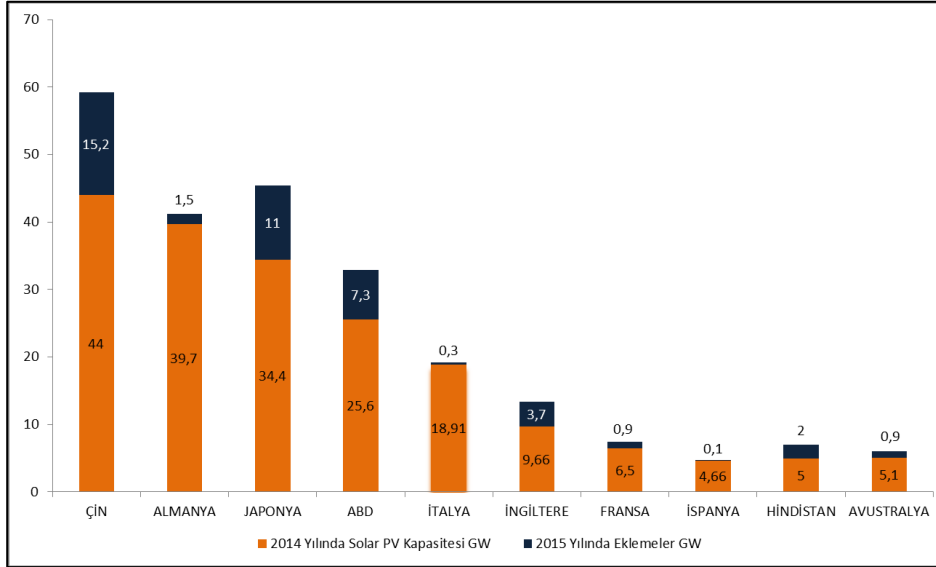
2014 yılından sonra güneş enerjisi piyasasında yaklaşık yüzde 25 civarında bir büyüme sağladığı görülmektedir. 2015 yılında güneş enerjisinden üretilen enerji miktarında 50 GW'lık bir artış göstererek dünya genelindeki toplam kapasiteyi 228 GW'lara çıkarmıştır. Güneş enerjisinden elde edilen elektrik tüm dünyada kullanılan elektriğin %1'ini karşılamaktadır. Büyük güneş enerjisi tesisatı nispeten daha az güneş enerjisi (Avrupa ve Çin) bölgelerinde olmuştur, yüksek kaynak bölgelerinde (Afrika ve Orta Doğu) potansiyel hala kullanılmamaktadır.



Şekil 3.1 Dünya güneş enerjisi kurulu gücü (2000 – 2015) [28].

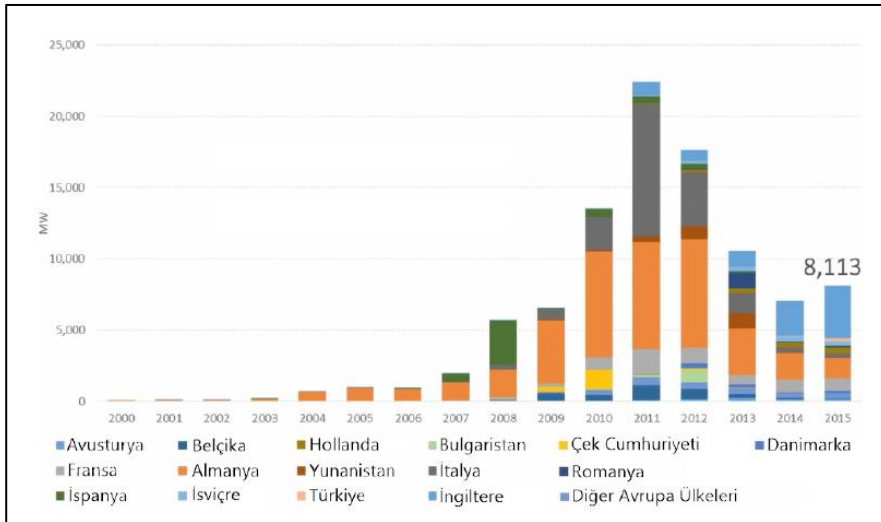
Şekil 3.2'e baktığımızda Çin sahip olduğu güneş fotovoltaik sistem kapasitesi ile dünya genelinde birinci sırada yer almaktadır. İkinci ve üçüncü sırayı Almanya ve Japonya takip etmektedir. 2015 yılındaki kapasite artışlarına nazarımızı

çevirdiğimizde Almanya'ya göre Çin, Japonya ve ABD büyük ölçüde artışa sahip oldukları görülmektedir. Ayrıyeten Çin, ABD ve Almanya'yı güneş enerjisinden ısı elde etme kapasitesi açısından Türkiye takip etmektedir.

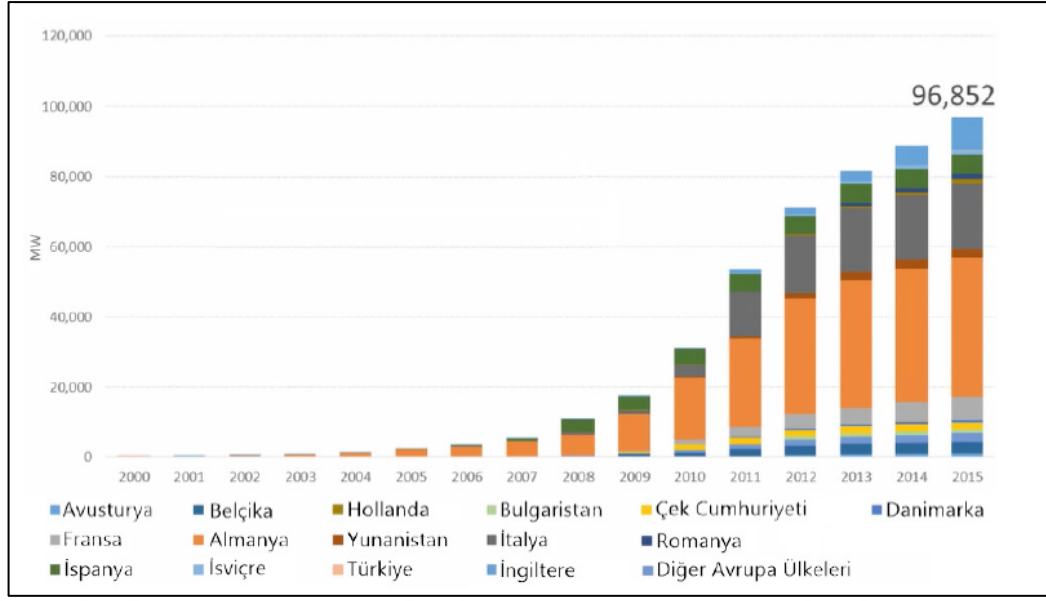


Şekil 3.2 2014 yılında en iyi solar pv kapasitesi ve 2015 yılında eklemeler [28].

Güneş enerji sistemlerindeki teknolojinin gelişimine bağlı olarak 2015 yılında Avrupa'da faaliyete geçen güneş enerjisindeki kurulu güç 8.113 MW artmıştır. 2015 yılında Avrupa'da ulaşılan güneş enerjisi kurulu gücü Şekil 3.3'te 96.852 MW olarak gösterilmektedir.



Şekil 3.3 Yıllara göre Avrupa'da güneş enerjisi kurulu güç artışı (2000 – 2015) [29].



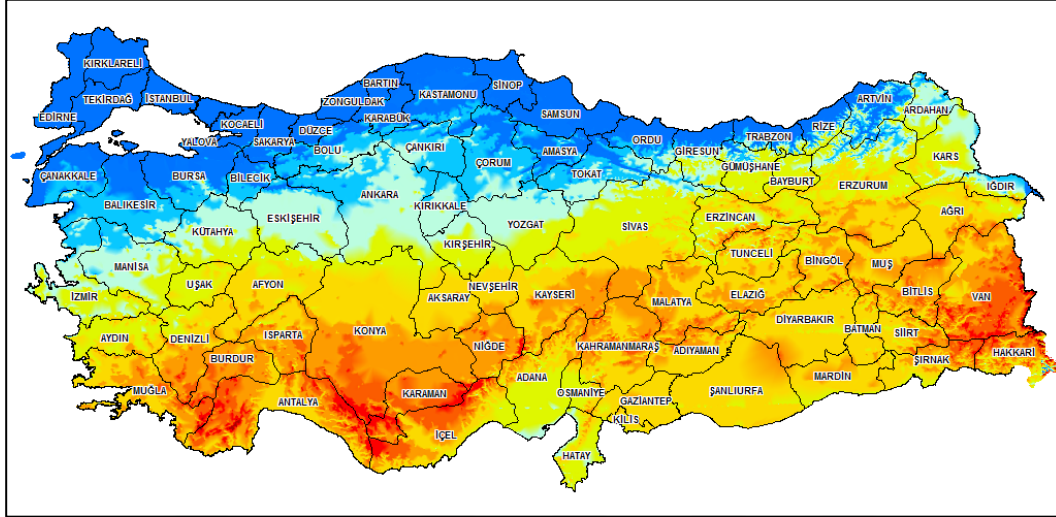
Şekil 3.4 Avrupa’da güneş enerjisi kurulu gücü (2000 – 2015) [29].

Yoğunlaştırılmış güneş enerji sistemleri 2015 yılı kapasitesindeki artışa baktığımızda ilk sırada 160 MW’lık kapasite artırımı ile Fas bulunmaktadır. Fas’ın ardı sıra Güney Afrika ve ABD sırasıyla 150 MW ve 110 MW’luk değerler ile ikinci ve üçüncü sıralarda Fas’ı takip etmektedir. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisindeki toplam kapasite göz önüne alındığında ise ilk sırada İspanya yer almaktadır. Yoğunlaştırılmış güneş enerjisi sistemlerinin kullanılabilirliğinin artış göstermesi açısından bakıldığında 2015 yılı oldukça önemli bir dönem olmuştur. 40 GW artışla birlikte toplam kapasite 435 GW termal seviyelerine ulaşmıştır.

3.2 Güneş Enerjisinin Türkiye’deki Durumu

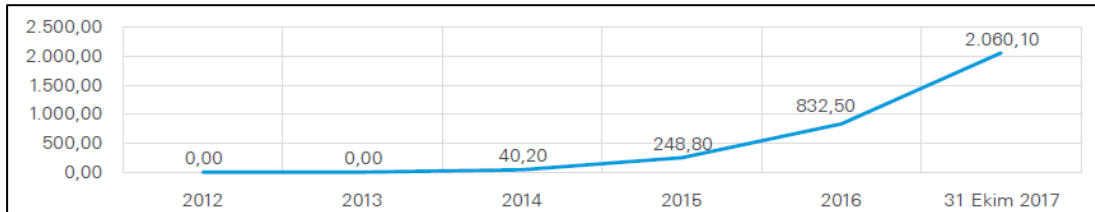
Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası’na (GEPA) göre Türkiye, 2.737 saat yıllık toplam güneşlenme süresi ve 1.527 kWh/m² yıllık ortalama güneş enerjisi miktarına sahiptir [30]. Bu potansiyel değerlendirildiğinde Türkiye’nin güneş enerjisinden faydalanması bakımından şu anki konumundan çok daha ileride olması beklenebilir. Yapılan araştırmalar ve hesaplamalar çerçevesinde Türkiye’nin güneşten ürettiği elektrik potansiyeli yaklaşık olarak 500 bin MW civarında olduğu tahmin edilmektedir.

Türkiye’de güneş enerjisi potansiyeline bakıldığında Marmara ve Doğu Karadeniz güneşi en az alan bölgeleri olmakla beraber Güneydoğu Anadolu Bölgesi ve Akdeniz Bölgesi ise güneşlenmenin en fazla olduğu yerler olarak görülmektedir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Türkiye’nin güneş enerjisi potansiyeli haritası [31].

Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına kıyasen güneş enerjisi Türkiye’de çok yüksek bir potansiyele sahip enerji kaynağıdır. Güneş panellerindeki verimliliğin artması ve yaşanan maliyet düşüşü güneş enerjisinden elektrik elde etme yatırımlarına hız kazandırdı. 2014 yılında 40 GW ile enerji üretimine başlayan Türkiye bu miktarı 2017 yılının ilk 10 ayı sonunda 2.060 MW’a kadar çıkarmayı başarmıştır. Lisanssız üretim yapan ya da şebeke bağlantısı olmadan üretim yaparak tüketimin bir bölümünü bu yollarla sağlayan hane ve tesis sayısının hesaplanamıyor olması, Türkiye’nin güneş enerjisinden üretilen elektriğin gerçek miktarını gizlemektedir. Fakat şebekeye bağlı güneş enerjisi üretimi göz önüne alındığında Türkiye’deki toplam tüketime olan katkısı yüzde 2,5’e ulaşmış durumdadır.



Şekil 3.6 2012-2017 yılları arasında güneş enerjisi gelişimi (MW) [32].

3.3 Rüzgâr Enerjisinin Dünyadaki Durumu

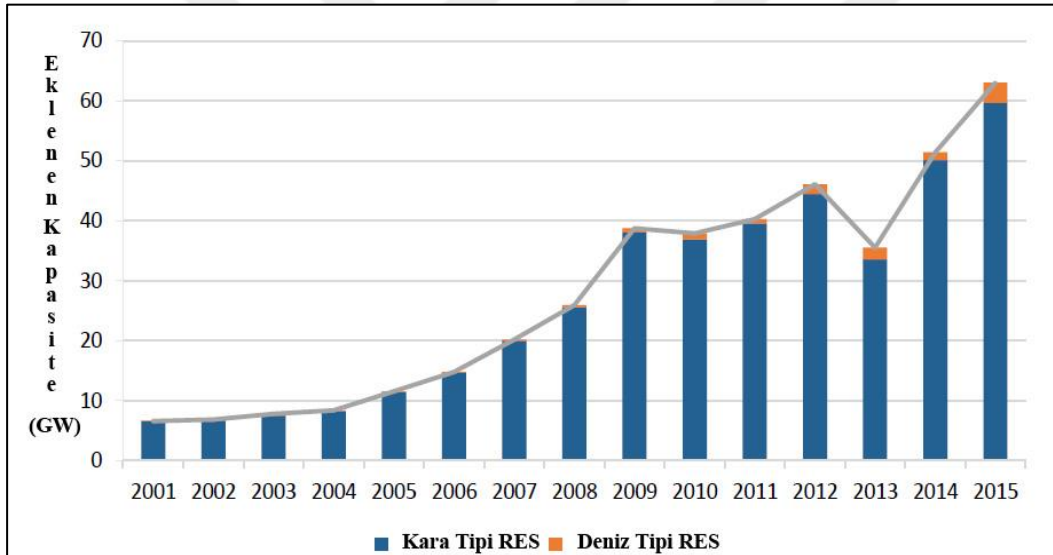
2015 yılı sonunda dünyadaki toplam üretilen rüzgâr enerjisi kapasitesine bakıldığında toplam küresel enerji üretim kapasitesinin yaklaşık %7'si olarak görülmektedir. Bu oran ise 435 GW'a tekabül etmektedir. 2015 yılında 64 GW'lık bir rekor eklenmiştir. Küresel büyüme oranı (%17,2) 2014'dekinden (%16,4) daha yüksek görülmektedir. Dünyada teknik olarak bakıldığında rüzgâr enerjisinden elde edilebilecek enerji miktarı 53.000 TWh/yıl seviyesinde görülmektedir. IEA verilerine 2050' ye kadar dünyada kullanılan elektriğin yüzde 18'lik kısmı rüzgâr enerjisinden temin edilecektir. 2020 ye kadar dünyadaki tüketilen elektriğin 25.579 TWh/yıl'a kadar yükselmesi tahmin edilmektedir. Dünyada bölgelerin rüzgâr enerjisi potansiyeline baktığımızda Doğu Avrupa ve Rusya (10600 TWh/yıl) Okyanusya (3000 TWh/yıl) Kuzey Amerika (14000 TWh/yıl) Güney Amerika (5400 TWh/yıl) Afrika (10600 TWh/yıl) Batı Avrupa (4800 TWh/yıl) Asya (4600 TWh/yıl) olarak tespit edilmiş bulunmaktadır [29].

ÜLKELER	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
1 Çin	2,599	5,912	12,210	25,104	44,733	62,733	75,564	91,412	114,763	145,104
- Avrupa Birliği	48,122	56,614	65,255	74,919	84,278	93,957	106,454	117,384	128,752	141,579
2 Amerika	11,603	16,819	25,170	35,159	40,200	46,919	60,007	61,110	65,879	74,472
3 Almanya	20,622	22,247	23,903	25,777	27,214	29,060	31,332	34,250	39,165	44,947
4 Hindistan	6,270	7,850	9,587	10,925	13,064	16,084	18,421	20,150	22,465	27,151
5 İspanya	11,630	15,145	16,740	19,149	20,676	21,674	22,796	22,959	22,987	23,025
6 İngiltere	1,963	2,389	3,288	4,070	5,203	6,540	8,445	10,711	12,440	13,603
7 Fransa	1,589	2,477	3,426	4,410	5,660	6,800	7,196	8,243	9,285	10,358
8 Kanada	1,460	1,846	2,369	3,319	4,008	5,265	6,200	7,823	9,694	11,205
9 Brezilya	237	247	339	606	932	1,509	2,508	3,466	5,939	8,715
10 İtalya	2,123	2,726	3,537	4,850	5,797	6,747	8,144	8,558	8,663	8,958
11 İsveç	571	831	1,067	1,560	2,163	2,970	3,745	4,382	5,425	6,025
12 Türkiye	65	207	433	801	1,329	1,799	2,312	2,958	3,763	4,718
13 Polonya	153	276	472	725	1,107	1,616	2,497	3,390	3,834	5,100
14 Portekiz	1,716	2,130	2,862	3,535	3,702	4,083	4,525	4,730	4,914	5,079
15 Danimarka	3,140	3,129	3,164	3,465	3,752	3,871	4,162	4,807	4,845	5,063
16 Hollanda	1,571	1,759	2,237	2,223	2,237	2,328	2,391	2,671	2,805	3,431
17 Avustralya	651	824	1,306	1,712	1,991	2,176	2,584	3,239	3,806	4,187
18 Meksika	84	85	85	520	733	873	1,370	1,859	2,551	3,073
19 Japonya	1,309	1,528	1,880	2,056	2,304	2,501	2,614	2,669	2,789	3,038
20 Romanya	2	7	10	14.1	462	982	1,905	2,599	2,953	2,976
21 İrlanda	746	805	1,245	1,260	1,379	1,614	1,738	2,049	2,272	2,486
22 Avusturya	965	982	995	995	1,011	1,084	1,378	1,684	2,095	2,412
23 Belçika	194	287	384	563	911	1,078	1,375	1,651	1,959	2,229
24 Yunanistan	758	873	990	1,087	1,208	1,629	1,749	1,866	1,980	2,152
25 Finlandiya	86	110	143	147	197	199	288	447	627	1,005

Şekil 3.7 Küresel kurulu rüzgâr enerjisi (MW) - ülke bazında dağılım [29,30].

Küresel rüzgâr enerjisi üretimi, 2015 yılında toplam küresel enerji üretiminin yaklaşık %4'üne 950 TWh'ye ulaşmıştır. Bazı ülkeler çok daha yüksek oranlara ulaşmıştır. Dünya geneline bakıldığında 2015 yılında elektrik enerjisinin %42'sini rüzgâr türbinlerinden sağlayarak dünya çapında birinci olan ülke Danimarka olmuştur. Almanya'da rüzgâr enerjisi, 2015 yılında ülkenin enerji tüketiminin %13'lük yeni bir rekoruna katkıda bulundu.

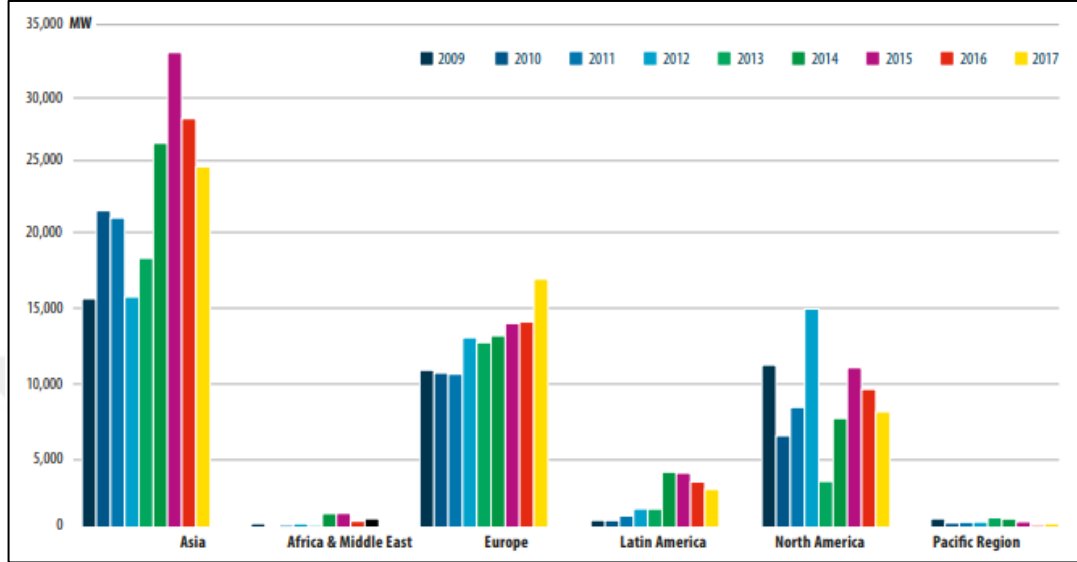
Deniz aşırı rüzgâr kapasitesinin küresel kurulu kapasitesi, 2015 yılında 12.107 MW'a ulaştı ve 15 ülkedeki 73 offshore(deniz üstü) rüzgâr çiftliğinde 2.739 türbin bulunuyor. Şu anda, tüm açık deniz rüzgâr tesislerinin %92'den fazlası (10.936 MW) Avrupa sularındadır. Çin'deki offshore potansiyeli 30000 MW seviyelerinde olduğu araştırmalarda görülmektedir. Kayan temel teknolojiler geliştirilmekte ve çeşitli tam ölçekli prototip yüzen rüzgar türbinleri dağıtılmaktadır.



Şekil 3.8 Dünyada yıllık net global rüzgâr kapasiteli ekleri, 2001-2015 [30].

Mevcut politika planları ile küresel rüzgâr kapasitesi 2015 yılında 435 GW'dan 2030'da 977 GW'a (905 GW karada ve 72 GW açık deniz rüzgârında) büyüyebilir. 2015 yılsonu itibarıyla rüzgâr enerjisinde küresel liderler Çin (98.588 MW), ABD (61.946 MW), Almanya (36.488 MW), Hindistan (21.262 MW) ve İspanya'dır (22.970 MW). Sonraki sıralama da İngiltere, Fransa, İtalya, Kanada, Danimarka gibi gelişmiş ülkelerin gittikçe azalan değerlerine göre değişmektedir. Küresel rüzgâr sektöründeki toplam yatırımlar 2015 yılı boyunca 109,6 milyar ABD doları seviyesine ulaşmıştır.

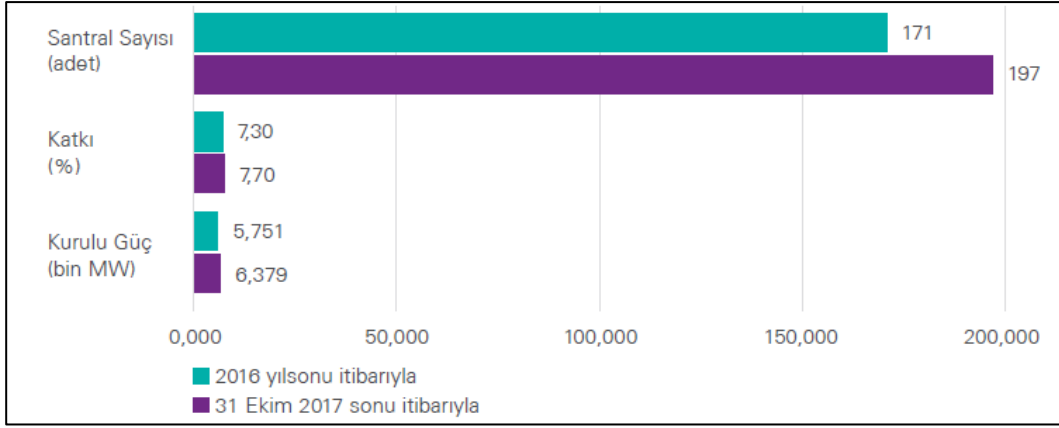
Rüzgâr yayılımı, sürekli maliyet azaltımları ile desteklenen kara rüzgârından etkilenmeye devam etmektedir. Son yıllarda tedarikçi endüstrisindeki eğilimler, büyük şirketlerin güçlü bir şekilde konsolidasyonunu ve küresel rüzgâr pazarında doğruya doğru Çin ve Hindistan'a kaydığını göstermektedir.



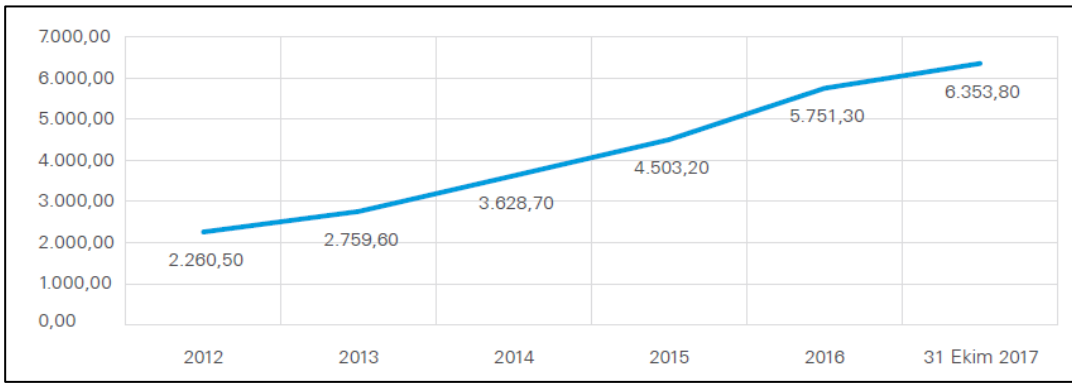
Şekil 3.9 Bölgelere göre yıllık rüzgâr enerjisi güçleri [28].

3.4 Rüzgâr Enerjisinin Türkiye'deki Durumu

Dünyada ve Türkiye'de önemli bir yere sahip olan rüzgâr enerjisi yatırımları gün geçtikçe artmaktadır. Büyük çoğunluğu Ege, Doğu Akdeniz ve Marmara bölgelerinde olan Türkiye'deki rüzgâr enerjisi potansiyeli 48 bin MW civarındadır. OECD ülkelerinin geneline bakıldığında rüzgâr enerjisi potansiyeli bakımından İspanya'nın 2 ve Almanya'nın yaklaşık 7 katı potansiyele sahip olan Türkiye ilk sırada yer almaktadır. 2016 yılının sonlarına doğru bakıldığında Türkiye'de faaliyette olan lisanslı rüzgâr enerji santrallerindeki toplam kurulu güç miktarı 5.738 MW iken bu rakam 2017 Ekim sonu itibariyle 6.353 MW'a kadar artış göstermiştir [34].



Şekil 3.10 Kurulu güç içinde rüzgâr enerjisinin değişimi. (2016-2017) [32].



Şekil 3.11 2012-2017 yılları arasında rüzgâr enerjisi gelişimi. (MW) [32].

48.000 MW'lık rüzgâr enerjisi potansiyeline sahip olması ve bu potansiyelin kaplayacağı toplam alanın Türkiye'nin yüz ölçümünün %1.3'üne tekabül etmesi Türkiye'de rüzgâr enerjisinin verimli olarak kullanılabilmesi için son derece avantajlı bir coğrafyaya sahip olduğunu ifade etmektedir.

3.5 Hidrolik Enerjinin Dünyadaki Durumu

Hidroenerji, dünya çapında elektrik üretimi için lider yenilenebilir bir kaynaktır ve 2015 sonunda tüm yenilenebilir elektriğin %71'ini tedarik etmektedir. Gelişmemiş potansiyel dünya çapında yaklaşık 10.000 TWh/y'dir. Küresel hidroelektrik santrallerin kapasitesi, 2007 ve 2015 yılları arasında %30'dan fazla artarak, 2015 yılında toplamda 1.209 GW'lık bir tasarruf sağladı ve bunun 145 GW'lık depolama alanı bulunmaktadır. Son yıllarda küresel olarak hidroelektrik santrallerin gelişiminde büyük bir artış olmuştur. Toplam kurulu kapasite, 2005'ten 2015'e kadar

%39 oranında büyümüş ve yıllık ortalama %4'lük bir büyüme oranı yakalamıştır. Yükseliş, Hidrolik Enerji sadece temiz enerjiyi değil, aynı zamanda su hizmetleri, enerji güvenliği sağladığını ve bölgesel işbirliğini ve ekonomik gelişmeyi kolaylaştırdığı gelişmekte olan pazarlarda yoğunlaşmıştır.

Dünyanın elektrik depolama kapasitesinin %99'unun pompalı depolama dâhil olmak üzere hidroelektrik santraller şeklinde olduğu tahmin edilmektedir. Depolama hazneleri, saniyeler, günler ve birkaç ay arasında değişen zaman ölçeklerinde daha sonra kullanılmak üzere potansiyel enerjiyi depolamak için yüksek derecede esneklik sunar.

Özellikle pompalı depolama, enerji sisteminin istikrarı için giderek daha önemli olan frekans regülasyonu, atalet tepkisi, eğirme ve dönmeyen rezerv ve voltaj desteği dâhil olmak üzere gücün ötesinde bir dizi enerji hizmeti sunmaktadır.

Hidroelektrik santrallerdeki teknolojik yenilikler şunları içerir:

- türbinlerin (kalkınmada 1000 MW türbin) ölçeğinin artırılması,
- yenilenebilir hibritlere olanak sağlayan gelişmiş hidroelektrik santral kontrol teknolojileri,
- hem yenilenen değişkenleri dengelemek için esnek bir kaynak olarak giderek daha fazla kullanılan hem geleneksel hem de pompaj depolamalı hidroelektrik gücü kaynaklar.

Çizelge 3.1 2015'deki en yüksek hidroelektrik santral kapasiteleri [29].

	2015'in Sonundaki Toplam Kapasite(GW)	2015'de Eklenen Kapasite(GW)	Üretim(TWh)
ÇİN	319	19	1,126
AMERİKA	102	0,1	250
BREZİLYA	92	2,5	382
KANADA	79	0,7	376
HİNDİSTAN	52	1,9	120
RUSYA	51	0,2	160

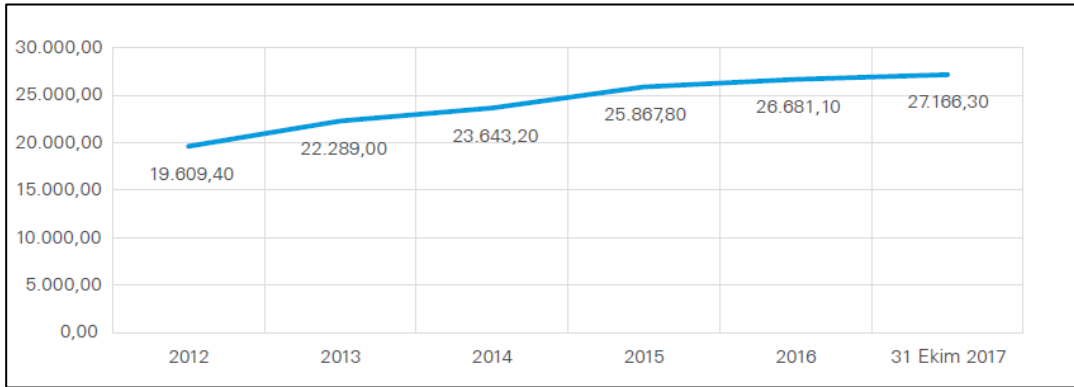
Hidroenerji, tüm yenilenebilir elektriğin %71'ini sağlayan, dünya çapında elektrik üretimi için lider yenilenebilir kaynaktır. 2016 yılında kurulu gücün 1064 GW'a

ulaşması, tüm kaynaklardan dünya elektriğinin %16,4'ünü oluşturdu. Önemli yeni gelişme Çin, Latin Amerika ve Afrika'da yoğunlaşmıştır. Asya, 7195 TWh / y'de tahmin edilen en büyük imtiyaz potansiyeline sahip ve gelecekteki kalkınma için önde gelen pazar haline getirdi. Çin, 2015 yılında ABD'nin (%8,4), Brezilya (%7,6) ve Kanada'nın (%6,5) çok ötesinde, küresel kurulu kapasitenin %26'sını oluşturmuştur.

3.6 Hidrolik Enerjinin Türkiye'deki Durumu

Temiz, yüksek verimli, uzun ömürlülük, yenilenebilir ve yakıt gideri olmayan hidroelektrik santraller elektrik üretimi içinde yaklaşık olarak %32'lik bir paya sahip bulunmaktadır. Ülkemizdeki bu potansiyel dünyanın %1'ini Avrupa'nın ise %16'sını oluşturmaktadır.

Türkiye'nin teorik Hidrolik Enerji potansiyeli (tüm doğal akışın yüzde 100 verimle değerlendirilebilmesi) 433 milyar kWh, teknik olarak değerlendirilebilir potansiyelin (teorik potansiyelin teknolojik koşullara göre değerlendirilebilmesi) 216 milyar kWh ve ekonomik potansiyelin (teknik potansiyelin ekonomik olarak değerlendirilebilmesi) ise 140 milyar kWh/yıl olduğu hesaplanmaktadır [30,34].



Şekil 3.12 2012-2017 yılları arasında hidrolik enerji artışı (MW) [32].

2000 yılında hidroelektrik santrallerden elde edilen enerji miktarı 11.175 MW iken 2016 yılının sonlarına doğru yaklaşık olarak yüzde 140 değerinde bir artış göstererek 26.681 MW seviyelerine ulaşmış 2017 sonlarında ise bu rakam 27.166 MW seviyesine gelmiştir.

3.7 Biyokütle Enerjisinin Dünyadaki Durumu

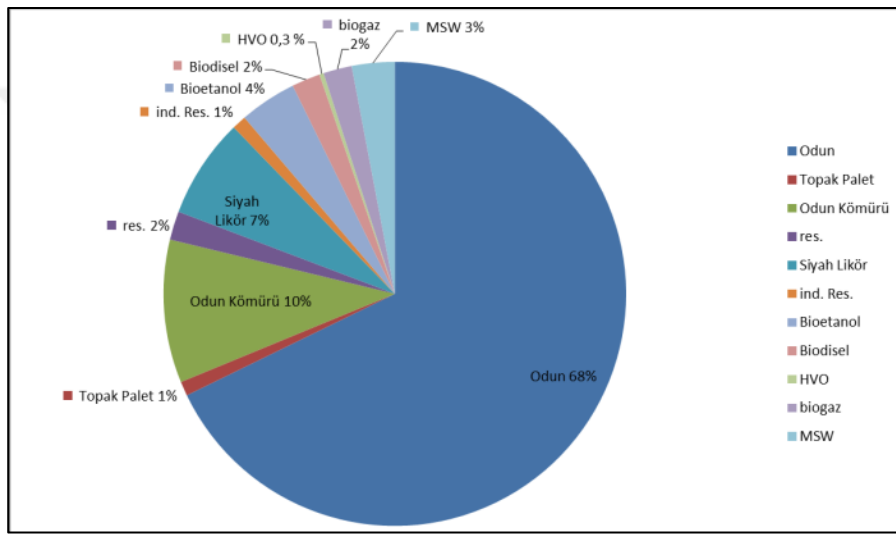
Dünya Enerji Konseyi, biyoenerjiyi geleneksel biyokütle (örnek ormancılık ve tarımsal artıklar), modern biyokütle ve biyoyakıtları içerecek şekilde tanımlamaktadır. İster doğal bir çevreden toplanmış olsun, isterse amaç için yetiştirilmiş olsun, organik maddenin bir enerji kaynağına dönüşmesini temsil eder. Gelişmiş ülkelerde, biyoenerji, hidrokarbonlar için, özellikle biyoetanol ve biyodizel gibi ulaşım yakıtları, kombine ısı ve enerji üretimi ve konut ısıtmasında odun kullanımı için alternatif veya daha sürdürülebilir bir kaynak olarak desteklenmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde biyoenerji, iç endüstriyel gelişme ve ekonomik büyüme için fırsatları temsil edebilir. En az gelişmiş ülkeler, geleneksel biyokütle, özellikle elektrik ve diğer enerji kaynaklarına erişimi olmayan daha kırsal alanlarda, çoğunlukla hâkim yerli yakıttır. Küresel etanol ve biyodizel üretiminin, sırasıyla, 2024 yılına kadar neredeyse 134,5 ve 39 milyar litre seviyesine ulaşması bekleniyor. Ardından, hem etanol hem de biyodizel fiyatlarının, 2014 seviyelerine yakın olarak nominal olarak iyileşmesi bekleniyor.

Çizelge 3.2 Biyoyakıt üretiminin bölgelere göre dağılımı [29].

Kıtalar	YÜZDE			
	1993	2003	2013	2014
Asya Pasifik	-	3.3%	9.5%	10.5%
Afrika				1%
Orta Doğu	-	-	-	
Avrupa	1.1%	11.1%	17.1%	16.5%
G. Ve Ort.				
Amerika	71.4%	49.2%	28.5%	28.7%
Kuzey Amerika	27.4%	36.4%	44.8%	44.1%

Biyoenerji, enerji karışımındaki %18'lik yenilenebilir enerjinin %14'ünü ve küresel enerji arzının %10'unu sağlayan en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır. Diğer enerji kaynaklarının aksine, biyokütle katı, sıvı ve gazlı yakıtlara dönüştürülebilir. Geleneksel ve yerli bir enerji kaynağından modern ve küresel olarak ticareti yapılan bir metaya geçiş yapar. Tüketim paterni Amerika, baskın odun ve odun kömürü ile Asya ve Afrika'da baskın olarak biyoyakıtlar ve Avrupa'daki birleşik ısı ve enerji üretimi ile coğrafi olarak değişir. Dünya genelinde kullanılan orman biyokütlesinin

birincil enerji kaynağı yaklaşık 56 EJ'de tahmin edilmektedir ve genel odunsu biyokütle, her biyokütle türünden yıllık olarak elde edilen birincil enerjinin yaklaşık %90'ını sağlamaktadır. Odun, aynı zamanda, birçok ülkede yemek pişirmek için kullanılan demir ve diğer metal cevherlerinin eritilmesi için kullanılan 52 milyon tondan fazla odun kaynağı vardır. Uluslararası ticaret, peletler (2015 yılında 27 milyon ton) ve sıvı biyoyakıtlardan kaynaklanmaktadır. Biyoyakıtların, yağ bağımlılığının yerine geçmesinde en uygun ve sürdürülebilir seçenek olmasıyla, gelecekteki talep, ulaşımdaki yenilenebilir kaynaklara duyulan ihtiyaçtan kaynaklanacak, bunu da ısıtma ve elektrik sektörleri takip edecektir.



Şekil 3.13 2013 yılında biyomas kaynaklarının primer enerji temini [33].

3.8 Biyokütle Enerjisinin Türkiye'deki Durumu

Son zamanlarda enerji kaynakları arasında öne çıkan bir diğer alternatif enerji kaynağı ise biyokütle enerjisidir. Biyokütle kaynağının çevreye olan olumlu etkileri ve enerjiye dönüştürülmesi olarak bakıldığında çok önemli bir enerji kaynağı olarak göze çarpmaktadır. Türkiye'deki biyokütle atık potansiyeline baktığımızda 8,6 MTEP olarak görülmektedir.

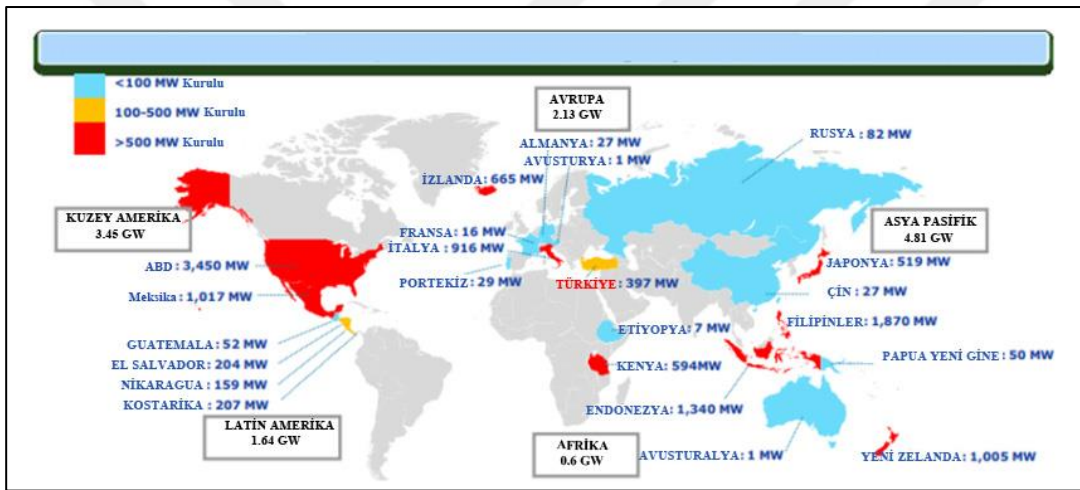
2016 senesinde biyokütle kaynaklarından elde edilen enerji 467 MW iken 2017 yılının sonlarına doğru bu miktar 554 MW'e kadar artış göstermiştir [34].

diğer enerji kaynaklarına yapılması bu alanda fazla bir gelişmenin olmamasına sebep olmuştur.

3.9 Jeotermal Enerjinin Dünyadaki Durumu

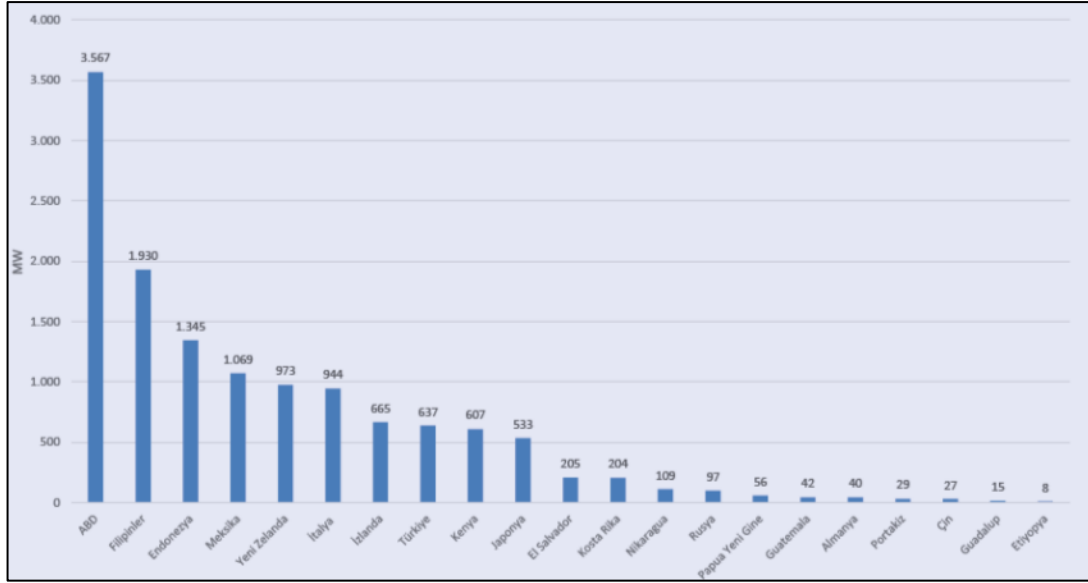
Jeotermal küresel üretimin ısı için 75 TWh ve güç için 75 TWh olduğu tahmin edilmektedir.

Jeotermal enerji, dünyanın birincil enerji tüketiminin küçük bir oranına katkıda bulunur. Jeotermal enerji elektrik üretiminde dünya çıkışının% 1'inden daha azını üretir. 2015 yılında toplam 315 MW'lık yeni jeotermal enerji kapasitesi kurulmuş olup toplam kapasiteyi 13,2 GW'a çıkarmıştır.



Şekil 3.16 Dünya çapında 2015 yılında kurulu kapasite [29].

Türkiye, yeni küresel kapasite eklemelerinin yarısını oluşturmuştur; bunu ABD, Meksika, Kenya, Japonya ve Almanya izlemiştir. 2015 yılında doğrudan jeotermalin yaklaşık% 70'ini oluşturan en büyük kullanımı olan ülkeler Çin, Türkiye, İzlanda, Japonya, Macaristan, ABD ve Yeni Zelanda'dır. Dünyanın doğal ısı rezervleri muazzamdır. Kıtasal kabuk içinde 3 km'ye kadar tahmin edilen depolanmış termal enerji, yaklaşık olarak dünyanın toplam birincil enerji tüketiminden önemli ölçüde daha yüksek olan 43×10^6 EJ'dir. Coğrafi olarak, kurulu üretim kapasitesinin %72'si tektonik plaka sınırları veya Pasifik Kıyıları'nın sıcak nokta özellikleri boyunca yer almaktadır.



Şekil 3.17 Jeotermal enerji ülke kapasiteleri (2015, MW) [28].

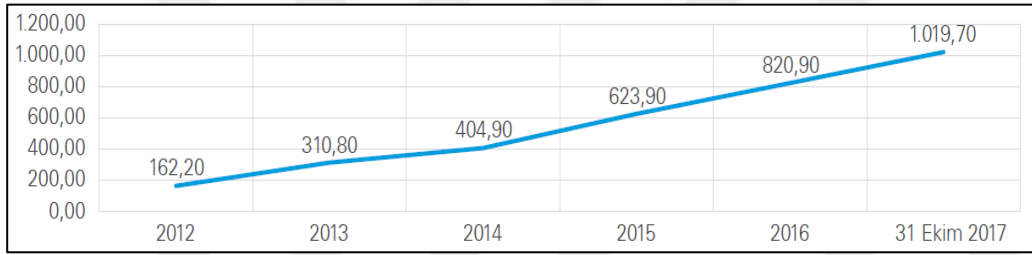
2015 yılında toplam güç çıkışı 75 TWh, aynı sayı jeotermal enerjiden (zemin ısı pompaları hariç) toplam ısı çıkışı için de geçerlidir. Dünya jeotermal ısı kullanımı (doğrudan ve depolama) 2014 yılında 563 PJ'ye ulaştı. 2015'teki küresel yatırım 2 milyar ABD doları iken, 2014 yılındaki% 23'lük bir gerileme olmuştur. 2010-2014 döneminde, hem doğrudan kullanım hem de elektrik enerjisi için 49 ülke tarafından yaklaşık 20 milyar ABD doları jeotermal enerjiye yatırım yapılmıştır. Jeotermal enerji şu anda güneş ve rüzgâra göre daha yüksek kurulum maliyetleri ve daha uzun gelişme dönemleri ile yükümlüdür. Sonuç olarak, birçok ülkede, jeotermal enerji projeleri hem doğal gaz hem de diğer yenilenebilir nesillere karşı rekabet edebilmek için devlet teşvikleri üzerinde çalışmaktadır. Jeotermal gelişimin hızı, yasal çerçeveler ve özellikle de koruma mevzuatı ile koşullandırılmıştır. Bununla birlikte, iklim değişikliği endişeleri ve enerji sektörünü dekarbonize etme ihtiyacının artması nedeniyle gelişme hızı hızlandırılabilir.

3.10 Jeotermal Enerjisinin Türkiye'deki Durumu

Türkiye'deki yerli yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak büyük öneme sahip olan jeotermal enerjinin potansiyeli 31.500 MW civarında olduğu tahmin ediliyor. Yüzde 10' unun elektrik üretimi için uygun olduğu jeotermal enerjinin yüzde 78'i Batı Anadolu bölgesinde, yüzde 9'u İç Anadolu bölgesinde, yüzde 7'si Marmara Bölgesinde, yüzde 5'i Doğu Anadolu bölgesinde ve kalan yüzde 1'diğer bölgelerde

bulunmaktadır. Jeotermal enerjiden elektrik üretiminde dünya geneline bakıldığında ABD, Filipinler, Endonezya, Türkiye ve Yeni Zelanda ilk beşte bulunmaktadır. Jeotermal enerjinin doğrudan kullanımı 70.329 MW olarak görülmektedir. Dünyada elektrik enerjisi üretimi dışında kullanımına bakıldığında Çin, ABD, İsveç, Türkiye ve İzlanda ilk sıraya yerleşmektedir [32,34].

Türkiye’de 2002 yılında elektrik üretimi yapan jeotermal saha sayısı 16 iken bu sayı 2017 yılında 25 taneye çıkmıştır. 2002 yılında jeotermal enerji ile 30 bin konut ısıtılırken, bu rakam 2017 yılında 114.567 konut seviyesine yükselmiştir.2002 yılında jeotermal kaynaklı kurulu güç 17,5 MW iken bu rakam 2017’nin sonlarına doğru 1019 seviyesine çıkarak jeotermal enerjinin toplam kurulu güç içindeki payı yüzde 1,2 olmuştur. Bu rakamlar göz önüne alındığında Türkiye jeotermal enerjiden elektrik üretiminde en hızlı artış gösteren ülke konumuna gelmiştir [32,34].



Şekil 3.18 2012-2017 yılları arasında jeotermal enerji gelişimi (MW) [32].

4. DÜNYADA VE TÜRKİYE'DE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ VE TÜKETİMİ

4.1 Dünyada Elektrik Enerjisi Üretimi

Elektrik üretiminde yenilenebilir kaynakların oranı her geçen gün artmaktadır. Bu kaynakların AB bölgesinde kullanımına baktığımızda önemli artışlar dikkat çekmektedir. Eurelectric tarafından yayınlanan verilere göre 2015 yılında Avrupa'daki devletlerin ürettiği elektrik miktarına bakıldığında %29'u yenilenebilir enerji kaynaklarından %56'sı ise düşük karbon kaynaklarından üretildiği görülmektedir. Bazı ülkelerin Elektrik üretimine ait verileri Çizelge 4.1'de gösterilmektedir [36].

Çizelge 4.1 Bazı ülkelerin 2015 yılı elektrik üretim değerleri [37].

ÜLKE	MİKTAR(TWh)	DÜNYA TOPLAMINDAKİ PAYI(%)	SIRA
ÇİN	5.810,60	24,10%	1
ABD	4.303,00	17,90%	2
HİNDİSTAN	1.304,80	5,40%	3
RUSYA	1.063,40	4,40%	4
JAPONYA	1.035,50	4,30%	5
ALMANYA	647,10	2,70%	6
KANADA	633,30	2,60%	7
BREZİLYA	579,80	2,40%	8
FRANSA	568,80	2,40%	9
GÜNEY KORE	522,30	2,20%	10
BİRLEŞİK KRALLIK	337,70	1,40%	11
SUUDİ ARABİSTAN	328,10	1,40%	12
MEKSİKA	306,70	1,30%	13
İRAN	281,90	1,20%	14
İTALYA	281,80	1,20%	15
İSPANYA	278,50	1,20%	16
TÜRKİYE	261,80	1,10%	17
TAYVAN	258,00	1,10%	18
AVUSTRALYA	253,60	1,10%	19
GÜNEY AFRİKA	249,70	1%	20
ENDONEZYA	234,70	1%	21
MISIR	180,60	0,70%	22
TOPLAM DÜNYA	24.097,70		

Çin 2015 yılında dünya genelindeki elektrik üretiminin %24,1'ini oluşturarak dünyada en fazla elektrik üreten ülke olmuştur. Çin'i takip eden ABD ise %17,9'luk bir üretim göstererek ikinci sıraya yerleşmiştir. Önceki bölümlerde de dediğimiz gibi ülkelerdeki enerji üretim miktarı ülkelerin gelişmişlik seviyesini gösterdiğinden bu çizelgeye bakarak çok net bir şekilde olmasa da ülkelerin gelişmişlik seviyeleri hakkında yorum yapabilmeyi sağlamaktadır.

2015 OECD ÜLKELERİNDE ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİ ELECTRICITY GENERATION OF OECD COUNTRIES											
Birim(Unit):TWh											
ÜLKELER	COUNTRIES	KÖMÜR COAL	SIVI LIQUID	DOĞAL GAZ N.GAS	YENİLENEBİLİR +ATIK RENEWABLE +WASTES	TERMİK TOPLAM THERMAL TOTAL	NÜKLEER NUCLEAR	HİDROLİK TOPLAM HYDRO TOTAL	JEOTERMAL GEOTHERMAL	GÜNEŞ+RÜZGAR +DALGA SOLAR+WIND + WAVE	TOPLAM TOTAL
1 AVUSTURALYA	AUSTRALIA	158,60	6,80	52,46	3,61	221,47		13,45		17,44	252,36
2 AVUSTURYA	AUSTRIA	5,09	0,86	7,78	5,19	18,92		40,59		5,79	65,30
3 BELÇİKA	BELGIUM	4,25	0,21	22,82	6,76	34,04	26,10	1,42		9,09	70,65
4 KANADA	CANADA	65,97	8,15	67,18	12,78	154,08	101,42	380,72		34,63	670,85
5 ŞİLİ	CHILE	27,99	3,16	11,36	5,62	48,13		23,88		3,38	75,39
6 ÇEK CUMHURİYETİ	CZECH REPUBLIC	43,84	0,09	2,26	4,87	51,06	26,84	3,07		2,92	83,89
7 DANİMARKA	DENMARK	7,10	0,31	1,82	4,96	14,19		0,02		14,74	28,95
8 ESTONYA	ESTONIA	8,59	0,13	0,06	0,89	9,67				0,72	10,42
9 FİNLANDİYA	FINLAND	8,78	0,21	5,20	11,81	26,00	23,25	16,77		2,58	68,60
10 FRANSA	FRANCE	12,17	2,16	19,79	8,17	42,29	437,43	59,40		29,33	568,45
11 ALMANYA	GERMANY	283,70	6,21	63,02	57,38	410,31	91,79	24,90	0,13	119,76	646,89
12 YUNANİSTAN	GREECE	22,11	5,66	9,09	0,34	37,20		6,15		8,52	51,87
13 MACARİSTAN	HUNGARY	5,91	0,08	5,11	2,30	13,40	15,83	0,23		0,88	30,34
14 İZLANDA	ICELAND	0,01	0,00	0,00		0,01		13,78	5,00	0,01	18,80
15 İRLANDA	IRELAND	7,38	0,41	12,37	0,55	20,71		1,10		6,58	28,39
16 İSRAİL	ISRAEL	29,45	0,42	33,15	0,07	63,09		0,02		1,12	64,23
17 İTALYA	ITALY	45,38	13,38	110,86	21,83	191,45		46,97	6,19	38,38	282,99
18 JAPONYA	JAPAN	343,22	102,52	409,83	41,46	897,03	9,44	91,27	2,58	41,02	1.041,34
19 KORE	KOREA	236,58	12,52	122,86	3,15	375,11	164,76	5,80		7,21	552,88
20 LETONYA	LATVIA	0,00	0,00	2,76	0,77	3,52		1,86		0,15	5,53
21 LÜKSEMBURG	LUXEMBOURG	0,00	0,00	0,83	0,19	1,02		1,53		0,21	2,76
22 MEKSİKA	MEXICO	33,80	31,58	186,25	1,79	253,42	11,58	30,82	6,33	8,99	311,14
23 HOLLANDA	NETHERLANDS	42,55	1,43	46,54	6,56	97,08	4,08	0,09		8,82	110,07
24 YENİ ZELANDA	NEW ZEALAND	1,87	0,00	6,87	0,62	9,36		24,54	7,86	2,45	44,21
25 NORVEÇ	NORWAY	0,15	0,03	2,60	0,42	3,20		139,01		2,81	145,02
26 POLONYA	POLAND	132,95	2,12	6,39	10,01	151,47		2,44		11,03	164,94
27 PORTEKİZ	PORTUGAL	14,74	1,31	10,56	3,40	30,01		9,80	0,20	12,41	52,42
28 SLOVAKYA	SLOVAK REPUBLIC	3,33	0,38	1,60	1,69	7,00	15,15	4,14		0,61	26,90
29 SLOVENYA	SLOVENIA	4,38	0,02	0,40	0,28	5,08	5,65	4,09		0,28	15,10
30 İSPANYA	SPAIN	52,67	17,24	52,50	6,53	128,94	57,31	31,37		63,40	281,02
31 İSVEÇ	SWEDEN	1,25	0,25	0,43	11,97	13,90	56,35	75,44		16,37	162,06
32 İSVİÇRE	SWITZERLAND	0,00	0,05	0,66	2,81	3,52	23,09	39,88		1,23	67,72
33 TÜRKİYE	TURKEY	76,16	2,22	99,22	1,35	178,95		67,15	3,43	12,25	261,78
34 İNGİLTERE	UNITED KINGDOM	76,72	2,13	100,03	32,97	211,85	70,35	9,03		47,87	339,10
35 ABD	USA	1.470,98	38,84	1.372,57	80,47	2.962,86	830,29	271,13	18,73	234,15	4.317,16
OECD	OECD	3.227,77	260,88	2.847,22	353,55	6.689,42	1.970,68	1.441,86	50,45	767,10	10.919,51
DÜNYA	WORLD	9.538,29	989,87	5.543,36	528,05	16.599,57	2.571,37	3.978,00	80,45	1.115,13	24.344,52

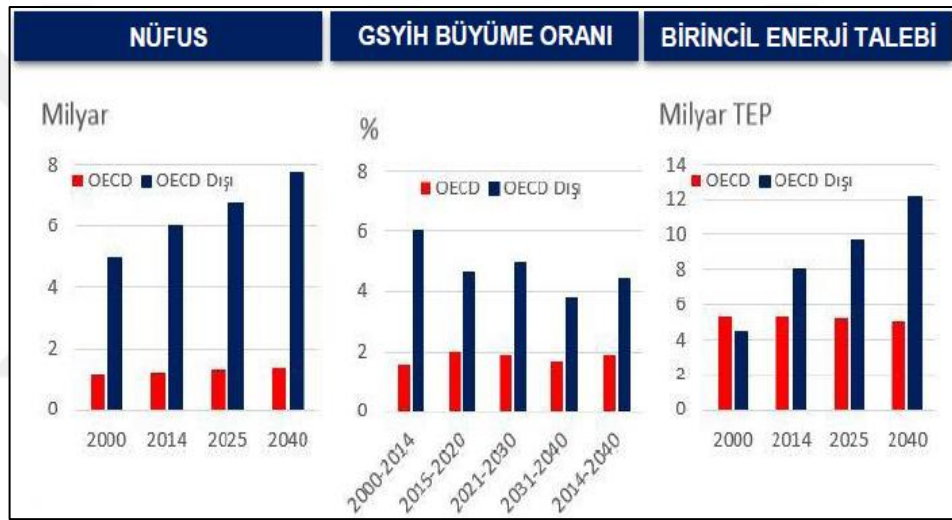
Şekil 4.1 Bazı ülkelerin elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı [37].

OECD ülkelerindeki elektrik enerjisi üretimine baktığımızda toplamda 9.538,29 TWh'lık değerle en fazla tüketilen kaynağın kömür olduğu gözükmektedir. Kömürden sonra ise yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimindeki payı diğer kaynaklara göre daha fazladır. Elektrik enerjisinin büyük bir bölümünü

Amerika Birleşik Devletleri ve Almanya kömür den sağlarken, Türkiye ve Kanada yenilenebilir enerji kaynaklarından, Fransa ise nükleer enerjiden sağlamaktadır.

4.2 Dünyada Elektrik Enerjisi Tüketimi

Dünya birincil enerji tüketimindeki artışa sebebiyet veren esas nedenlerin ilki olarak nüfustaki artış görülmektedir. Nüfus artışının ise sanayileşmeyi ve kentleşmeyi artırdığını bu artışa bağlı olarak da tüketilen enerji miktarlarında büyük artışlar yaşanacağı görülmektedir. OECD dışı ülkelerin oluşturacağı bu etki Şekil 4.2’de verilen nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi projeksiyonlarında görülmektedir [37,38].



Şekil 4.2 Nüfus, GSYİH büyüme oranı ve birincil enerji talebi.

Yapılan senaryolar çerçevesinde, dünyadaki fosil yakıt miktarı 2040 yılına kadar ki sürede oldukça azalmasına rağmen bu yakıtların hâkimiyetini koruyacağı öngörülmektedir. Birincil enerji kaynakları içindeki nükleer enerjinin payının artacağı öngörülmekte, YEK’in 2040 yılındaki aktif kullanım oranının %16,1 olacağı beklenmektedir. Mevcut politikalar senaryosuna göre dünyadaki elektrik talebinin 2040 yılına kadar yıllık yaklaşık %2,3 olmak üzere %80 değerinde artış göstereceği tahmin edilmektedir [39].

Birincil enerji tüketimleri çizelge 4.3’de verilen bazı ülkeler arasında ülkemiz 19. sırada yer almaktadır.

Çizelge 4.2 Dünya birincil enerji tüketimi (MTEP) [37].

ÜLKE	2013	2014	2015	Dünya Toplamındaki Payı (%)	SIRA
ÇİN	2.903,9	2970,30	3.014,00	22,9%	1
ABD	2.271,70	2.300,50	2.280,60	17,3%	2
HİNDİSTAN	626	666,2	700,5	5,3%	3
RUSYA	688	689,8	666,8	5,1%	4
JAPONYA	465,8	453,9	448,5	3,4%	5
KANADA	335	335,5	329,9	2,5%	6
ALMANYA	325,8	311,9	320,6	2,4%	7
BREZİLYA	290	297,6	292,8	2,2%	8
GÜNEY KORE	270,9	273,1	276,9	2,1%	9
İRAN	247,6	260,8	267,2	2%	10
SUUDİ ARABİSTAN	237,4	252,4	264	2%	11
FRANSA	247,4	237,5	239	1,8%	12
ENDONEZYA	175	188,3	195,6	1,5%	13
BİRLEŞİK KRALLIK	201,4	188,9	191,2	1,5%	14
MEKSİKA	188,9	190	185	1,4%	15
İTALYA	155,7	146,8	151,7	1,2%	16
İSPANYA	134,2	132,1	134,4	1%	17
AVUSTRALYA	130,7	129,9	131,4	1%	18
TÜRKİYE	120,3	123,9	126,9	1%	19
TAYLAND	120,3	123,4	124,9	0,9%	20
GÜNEY AFRİKA	124,6	128	124,2	0,9%	21
TAYVAN	109,9	111,4	110,7	0,8%	22
BAE	97,2	99	103,9	0,8%	23
POLONYA	96	92,4	95	0,7%	24
UKRAYNA	114,7	101	85,1	0,6%	25
TOPLAM DÜNYA	12.873,10	13.020,60	13.147,30	100,0%	

Çizelge 4.3’de de görüldüğü üzere her sene neredeyse tüm ülkelerde enerji tüketimi artmaktadır. Enerji tüketimindeki artış oranı nüfus miktarı ve ülkelerin sanayileşme ve teknolojik olarak gelişmeleriyle doğru orantılıdır. Yapılaşmanın ve sanayileşmenin çok hızlı bir şekilde ilerlediği günümüz şartlarında enerji tüketimindeki artış oranının her sene daha fazla bir şekilde artacağı aşikârdır.

4.3 Türkiye’de Elektrik Enerjisi Üretimi

2016 yılı sonu itibarıyla ülkemizdeki elektrik üretim ve tüketim oranlarına bakıldığında elektrik üretim miktarının 273,4 milyar kWh, elektrik tüketim miktarının ise 278,3 milyar kWh olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.3 Ülkemiz elektrik enerjisi görünümü(GWh) [40].

YIL	ÜRETİM	İTHALAT	İHRACAT	TÜKETİM	ÜRETİM ARTIŞ ORANI	TÜKETİM ARTIŞ ORANI
2002	129.400	3.588	435	132.553	5,40%	4,50%
2003	140.581	1.158	588	141.151	8,60%	6,50%
2004	150.698	464	1.144	150.018	7,20%	6,30%
2005	161.956	636	1.798	160.794	7,50%	7,20%
2006	176.300	573	2.236	174.637	8,90%	8,60%
2007	191.558	864	2.422	190.000	8,70%	8,80%
2008	198.418	789	1.122	198.085	3,60%	4,30%
2009	194.813	812	1.546	194.079	-1,80%	-2,00%
2010	211.208	1.144	1.918	210.434	8,40%	8,40%
2011	229.395	4.556	3.645	230.306	8,60%	9,40%
2012	239.497	5.826	2.954	242.370	4,40%	5,20%
2013	240.154	7.429	1.227	246.357	0,30%	1,60%
2014	251.963	7.953	2.696	257.220	4,90%	4,40%
2015	251.783	7.135	3.194	265.724	3,90%	3,30%
2016	273.387	6.400	1.442	278.345	4,40%	4,70%

Ülkemizdeki ortalama yıllık elektrik enerjisi üretim oranı yaklaşık olarak son 15 yılda %5,5 değerinde gerçekleşmiştir. 2002 senesinde 129,4 milyar kWh olarak üretilen elektrik enerjisi 2016 yılında 273.387 milyar kWh seviyesine ulaşmıştır. Çizelge 4.4’deki oranlara baktığımızda 2016 yılındaki elektrik enerjisi üretimindeki artış miktarı 2015 yılına göre yüzde 0,5 oranında daha fazla olduğu görülmektedir.

Çizelge 4.4 Türkiye elektrik enerjisi üretiminin birincil enerji kaynaklarına göre dağılımı(GWh) [41].

		2014		2015		2016	
BİRİNCİL ENERJİ KAYNAĞI		ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDE Kİ PAYI	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI	ELEKTRİK ÜRETİMİ (GWh)	TOPLAM ÜRETİM İÇİNDEKİ PAYI
KOMÜR	Taşkömürü + ithal kömür+ asfaltit	39.647	15,70 %	44.830	17,12%	53.778	19,67
	Linyit	36.615	14,50 %	31.336	11,97%	38.460	14,07
SIVI YAKITLAR	FUEL-OIL	1.663	0,66%	980	0,37%	1.103	0,4
	MOTORİN	482	0,19%	1.244	0,48%	1.548	0,57
	LPG		0,00%		0%		0
	Nafta		0,00%		0%	2	0
DOĞALGAZ+LNG		120.576	47,90 %	99.219	37,90%	87.820	32,1
YENİLENEBİLİR+ "ATIK		1.433	0,57%	1.758	0,67%	2.179	0,8
TERMİK		200.417	79,50 %	179.366	68,52%	184.889	67,63
HİDROLİK		40.645	16,10 %	67.146	25,60%	67.268	24,6
RÜZGAR		8.520	3,40%	11.652	4,45%	15.492	5,67
JEOTERMAL		2.364	0,90%	3.424	1,31%	4.767	1,74
GÜNEŞ		17,4	0,01%	194	0,07%	972	0,36
GENEL TOPLAM		251.963	100%	261.783	100%	273.387	100%

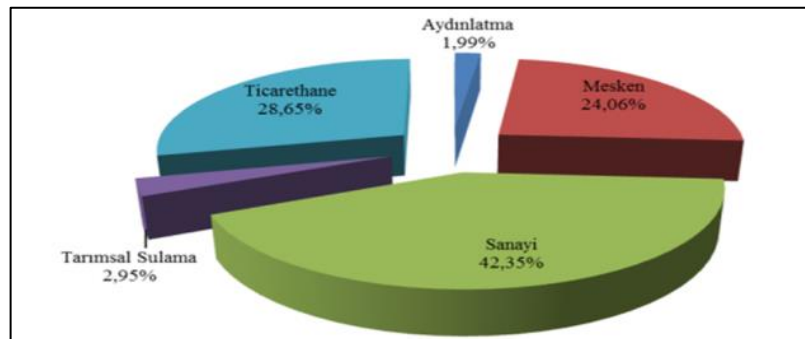
2016 yılı sonu itibarıyla termik santrallerden ürettiğimiz elektrik enerjisinin toplam elektrik enerjisi üretimi içindeki oranı %67,6'dır. Termik santrallerden sonra elektrik enerjisi üretimine bakıldığında %24,6'lık bir oran ile hidrolik santralleri etkisini göstermektedir. 2014 ile 2016 yılı sonundaki enerji kaynaklarının üretim oranlarındaki artış kıyaslandığında rüzgâr santrallerindeki üretilen elektriğin yaklaşık olarak %2.3 oranında artış göstermesi büyük önem arz etmektedir [41].

Enerji sektöründe ülkemizin rekabet oluşturmaya dayalı bir politika izlemesi nazarından bakıldığında, elektrik, doğal gaz ve petrol sektörlerinde devam ettirilebilir

bir yükselmeyi sağlayacak yatırım zeminin sağlanmasına yönelik kayda değer gelişmeler gösteren ülkemizin muvafık mevzuat altyapısının dercedilmesi ile özel sektör tarafından oluşturulan enerji üretim tesisi yatırımları ivme kazanmıştır. Özel sektörün elektrik üretiminde payı 2002’de %40,2 iken, 2016 Yılı sonu itibarıyla yaklaşık %83,0 düzeyine ulaşmıştır [42].

4.4 Türkiye’de Elektrik Enerjisi Tüketimi

Dünya ekonomisi ile hızlı bir entegrasyon sürecinde olan ülkemiz, altyapısını tamamlama, kalkınma hedeflerini gerçekleştirme, toplumsal refahı artırma, sanayi sektörünü uluslararası alanda rekabet edebilecek bir düzeye çıkarma çabası içindedir. Öte yandan, hem bölgesel bir enerji ticaret merkezi hem de artan nüfusu ve gelişen sanayisiyle büyüyen bir tüketici olarak Türkiye’nin dünya enerji piyasasındaki önemi giderek artmaktadır. Ülkemizin enerji talebi son yıllarda artış trendine girmiş olup, gelecekte de bu artışın devam etmesi beklenmektedir. Artan enerji talebinin bilinen kısıtlı yerli kaynaklarla karşılanmasının mümkün olmadığı görülmektedir. 2015 yılında 131,3 MTEP olan Ülkemizin birincil enerji talebinin 2023 yılı itibarıyla 218 MTEP’ye ulaşması beklenmektedir [29,30]. Kömürün %37, doğal gazın %23, petrolün %26, hidrolik enerjinin %4, nükleer enerjinin %4, yenilenebilir ve diğer enerji kaynaklarının üretimdeki payının %6 olması öngörülmektedir [36]. Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarının enerji talebi içindeki payını yükselterek ve nükleer enerjiden faydalanarak; enerjide kaynak bağımlılığını azaltma, yerli kaynak kullanımını maksimize etme ve iklim değişikliğiyle mücadele etme yönünde gayretlerini sürdürmektedir [40,41,42].



Şekil 4.3 2016 yılı faturalanan tüketimin tüketici türüne göre dağılımı (%) [43].

Türkiye elektrik enerjisi tüketimi 2016 yılında 278,3 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Ülkemizdeki enerji tüketiminin sektörlere göre dağılımına baktığımızda; %28'inin ticarethaneler, %42'sinin sanayi, %24'ü mesken ve %5'i aydınlatma ve tarımsal sulamada kullanıldığı görülmektedir.

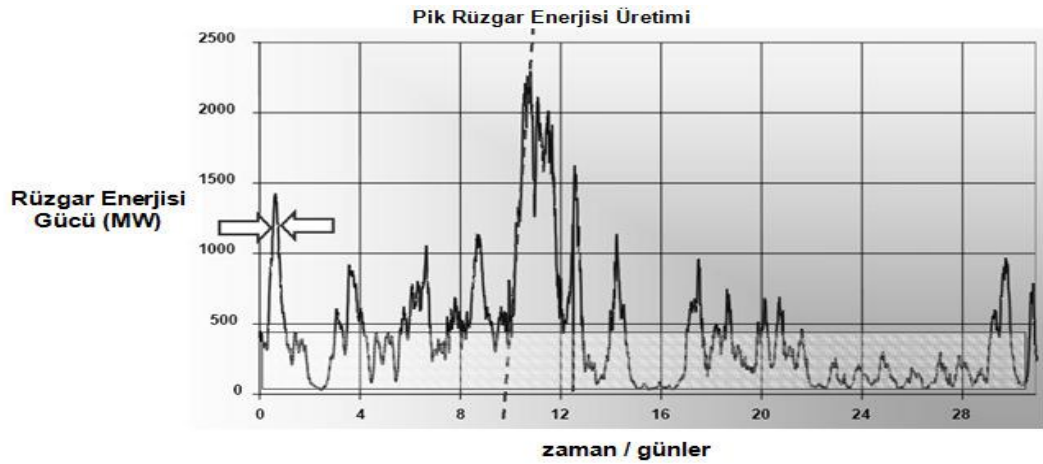


5. ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ

Dünyada ve ülkemizde konvansiyonel enerji kaynaklarındaki azalım ve bu kaynakların kullanımından dolayı ortaya çıkan küresel ısınmadaki etkilerinin hissedilmesindeki artış yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını ve üretilen enerjinin en verimli bir şekilde kullanılabilmesi için depolanmasının büyük bir öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Üretilen enerjinin etkili bir şekilde kullanımı istenilen yerde ve istenildiği zaman kullanılmaya hazır olmasına bağlıdır. Bu ise gerekli olan enerjinin istenilen zamanda kullanılmasını sağlayan enerjiyi depolama olayı ile gerçekleşir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından olan güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi, düzenli bir enerji üretim olanağına sahip değildir. Mevsimsel ve günlük olarak hava koşullardaki değişimlerden kolayca etkilenebilmektedir. Rüzgâr enerjisi üretimindeki rüzgâr enerji gücü şekil 5.1’de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1 Rüzgâr enerjisi üretiminde zaman içindeki dalgalanmaların görünümü [44].

Şekilde görüldüğü üzere bazı saatlerde üretim miktarı oldukça fazla olurken bazı vakitlerde ise yok denecek kadar düşüş göstermiştir. Rüzgâr enerjisinden elektrik üreten sistemlerde enerji yoğunluk açısından değişkenlik ve süreç açısından

kesiklik gösterdiğinden elektrik enerjisinin depolanmasına gereksinim duyulmaktadır.

Enerjiyi depolama gereksinimi sadece YEK için bir sorun teşkil etmeyip, aynı zamanda enerji yönetimini sağlamaya, gücü desteklemeye ve enerji kalitesini arttırmaya yönelik de olabilmektedir. Enerjiyi elektrik biçiminde depolamak oldukça maliyetlidir ve teknolojik bakımdan değerlendirildiğinde verimli olmadığı görülmektedir. Çoğu enerji depolama sistemleri, elektriğin farklı enerji formlarına dönüşümüne gereksinimi duyulduğundan dolayı depolama sistemleri olarak adlandırılmaktadır. Bir depolama sisteminde olması gerek özellikler; kendiliğinden boşalmanın ve kapasite kayıplarının az olması, yüksek şarj/deşarj verimi, uzun ömür, ucuzluk, yüksek depolama kapasitesi, enerjinin yoğun olmasıdır. Yani enerjiyi minimum hacimde ve ağırlıkta depolayabilmelidir. Başlıca enerji depolama sistemlerini sıkıştırılmış hava, süper kapasitörler, bataryalar, volan (flywheel), süper iletken manyetik enerji (SMES) pompaj depolamalı HES (PDHES) oluşturmaktadır.

5.1 Enerji Depolamanın Amacı Ve Faydaları

Enerji depolamada genel olarak iki temel amaç gözetilmektedir. Bunlardan biri endüstrideki veya sanayilerdeki atık ısının depolanması şeklinde enerjinin tüketildiği yerlerde oluşan atık enerjiyi depolamaktır. Diğer gözetilen amaç ise güneş enerjisi gibi sadece belli zamanlarda enerji üretebilen veya doğal şartlardan çabuk etkilenen yenilenebilir enerji kaynaklarının ürettiği enerjiyi depolayarak, enerjideki arz talep arasında oluşabilecek zaman farkını söndürmeyi amaçlamaktır.

Bu amaçların sağlanmasıyla birçok alanda ortaya çıkacak faydalar şu şekilde özetleyebiliriz;

Üretim kaynakları açısından faydalarına baktığımızda elektriğin arz ile talep arasındaki dalgalanmayı dengeleyip, kısa periyotlarda sistem stabilizesini ve frekanslardaki kontrolü uzun periyotlarda da enerji yönetimini sağlar ve kısa süreli arz güvenliği oluşturur.

Bunlara ek olarak enerji depolama teknolojilerinin sistemlere eklenmesinde emisyonları azaltmak, yenilenebilir enerji kaynaklarını daha verimli bir şekilde kullanmak, yedek güçteki yatırım maliyetlerini en aza indirmek, enerjideki arz

güvenirliliğini sağlamak, dışa bağımlılığı azaltmak gibi bir sürü önemli noktalar bulunmaktadır.

Sistem operatörleri açısından faydalarına baktığımızda ise sistem güvenliği, voltaj kontrolü, varlıkların yönetimi, enerji kalitesini artırmak ile büyük oranda yenilenebilir enerji kaynaklarının her anda sistem ile bütünleşmesi sağlanabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları için olması gereken iletim ve bağlantı hatlarının gereksinimlerini üçte iki oranında azaltılması, ılık ve sıcak ek maliyetlerin düşürülmesi gibi daha birçok avantajı bulunmaktadır.

Yardımcı hizmetler açısından depolama sistemleri; uzun dönem rezerv oluşturma, tam kapasiteye ulaşma, frekansa yanıt verme, hızla devreye girme gibi faydalar sağlar. Yenilenebilir enerji üreticileri açısından faydalarına baktığımızda ise arz ile talep arasındaki dengeyi sağlar, üretim zamanını öteler, kontrolü ve sistem entegrasyonunu sağlar.

Tüketici için puant elektrik fiyatlarını ve elektrik fatura fiyatlarını azaltmayı sağlar. Güvensiz hizmetten ve enerji kalitesindeki sıkıntılardan dolayı meydana gelen kayıpları azaltma konusunda fayda sağlar.

5.2 Enerji Depolama Sistemlerinin Sınıflandırılması

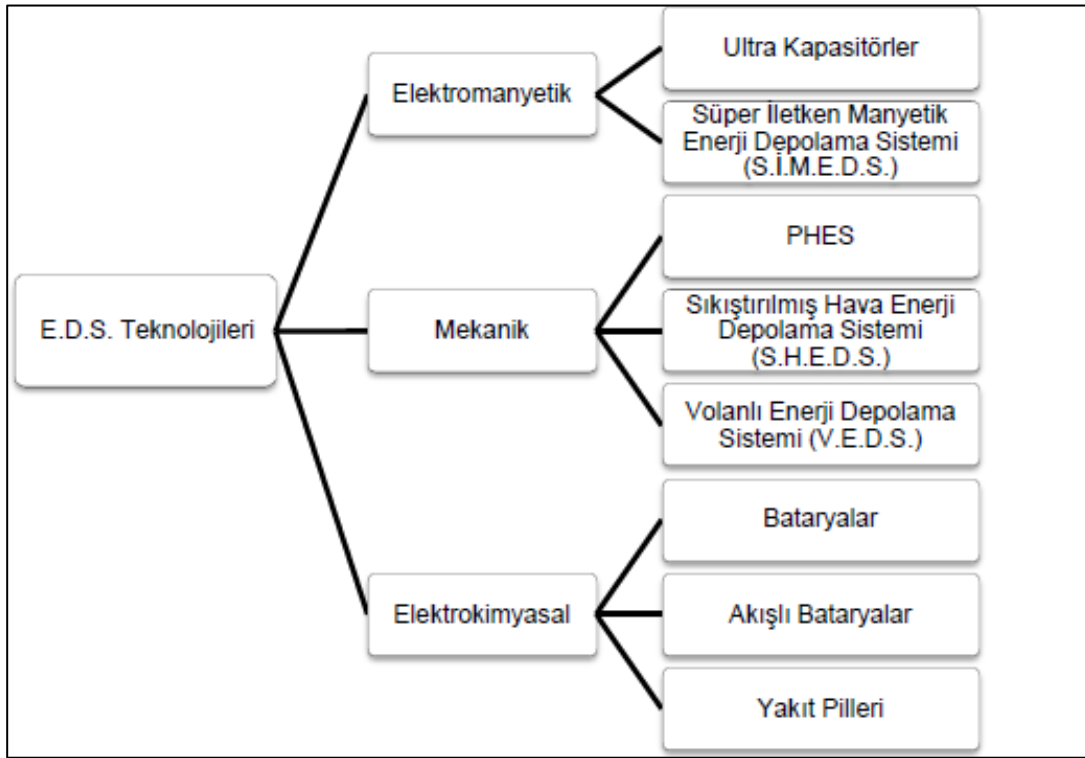
Enerjiyi elektrik formunda depolamak ucuz olmayıp yeterli teknolojilerin bulunmaması yüzünden genelde başka enerji formlarına dönüştürerek depolama tercih edilir. Başka bir deyişle enerjinin elektrik ihtiyacı olduğu zamanlarda hızlı bir şekilde elektriğe dönüşmeyi sağlayan başka enerji formlarında depolanmasıdır. Bu depolama sistemleri üçe ayrılır;

5.2.1 Teknolojisine göre sınıflandırma

Enerji depolama sistemlerinin kapsadığı saha oldukça çeşitli teknolojiler içermektedir. Fakat bizim tez çalışmamız çıktısı elektrik enerjisi olan pompaj depolamalı hidroelektrik santraller olduğu için bizde bu konumuzda çıktısı elektrik enerjisi olan enerji depolama sistemlerini incelemiş bulunmaktayız.

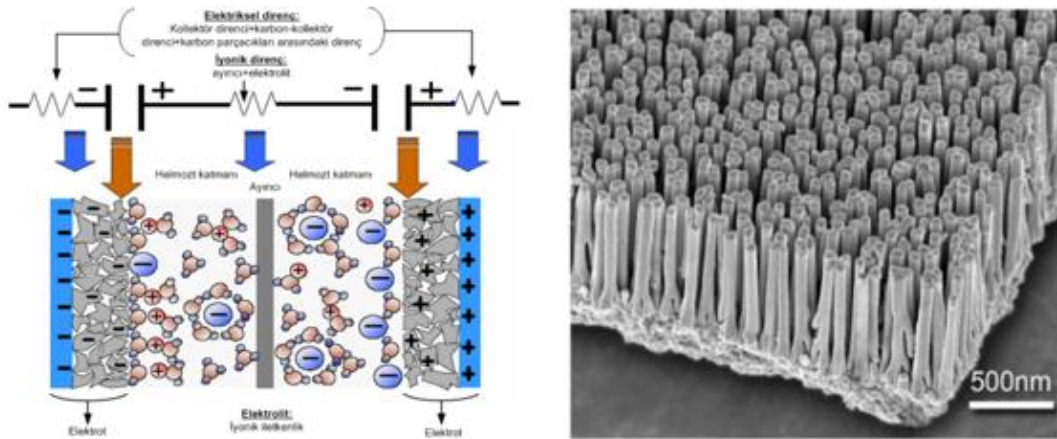
Elektrik enerjisi; elektromanyetik, mekanik (kinetik, potansiyel) ve elektrokimyasal formlarda depolanabilir. Çıktısı ısı ve termokimyasal olan EDS'ler tezimiz dahilinde

bulunmamaktadır. Enerji depolama formuna göre sınıflandırmayı gösteren teknolojiler Şekil 5.2’de verilmiştir [45].



Şekil 5.2 Enerji depolama formuna göre E.D.S. teknolojilerini gösteren şema.

5.2.1.1 Süper kapasitörler



Şekil 5.3 Süper kapasitörler [46].

Hızla gelişen ve giderek artan bir teknoloji olan süper kapasitörler, enerjii çok hızlı ve etkin bir şekilde depolayıp boşaltabilmektedir. Birçok faydası nedeniyle, süper

kapasitörler şu anda binlerce farklı uygulamada kullanılmaktadır ve gelecekteki farklı uygulamalarda değerlendirilmektedir. Bir süper kapasitör, çok yüksek kapasitansa, ancak düşük voltaj limitlerine sahip çift katmanlı bir kapasitördür. Süper kapasitörler, elektrolitik kapasitörlerden daha fazla enerji depolar. Süper kapasitörler, bir elektrot-elektrolit ara yüzünde elektrik enerjisini depolar. Sadece aktif karbon olarak bilinen gözenekli bir malzeme ile kaplanmış iki metal plakadan oluşurlar. Sonuç olarak, daha fazla şarj etmek için daha büyük bir alana sahipler.

Plakalar, bir çözücü içinde çözülmüş pozitif ve negatif iyonlardan yapılmış bir elektrolit içine daldırılır. Bir voltaj uygulandığında, yüzeyde küçük bir ayırma mesafesi ile iki ayrı yüklü tabaka üretilir. Bu nedenle, süper kapasitörlere genellikle elektrik çift katmanlı kondansatörler de denir. Süper kapasitörlerin birçok avantajı vardır. Örneğin, uzun bir döngü süresine sahip olurlar. Performansta asgari bir değişim ile yüzbinlerce kez çevrilebilirler. Bir süper kapasitörün ömrü 10 ila 20 yıl arasında değişir ve 10 veya daha fazla yıl sonra kapasite %100'den %80'e düşebilir. Düşük eşdeğer seri direnci sayesinde, süper kapasitörler saniyeler içinde neredeyse anında şarj elde etmek için yüksek güç yoğunluğu ve yüksek yük akımları sağlar. Sıcaklık performansı da güçlüdür ve enerjii -40°C 'ye kadar düşük sıcaklıklarda sağlar. Diğer taraftan, süper kapasitörler düşük enerji yoğunluğu ile dengelenir. Böylece, sürekli bir güç kaynağı olarak kullanılamazlar. Bir hücre, 2.7 V'luk tipik bir gerilime sahiptir; Daha yüksek voltaj gerekirse, hücreler seri olarak bağlanmalıdır. Süper kapasitörler, kısa süreli güç ihtiyaçları için birçok hızlı şarj / deşarj döngüsü gerektiren birçok güç yönetimi uygulamasında kullanılır. Bu uygulamalardan bazıları şunlardır:

Start / stop sistemlerinde voltaj stabilizasyonu, elektrik kesintilerinde elektronik kapı kilitleri, rejeneratif fren sistemleri, tıbbi cihazlar, tüketici elektroniği, mutfak aletleri, yedek güç, rüzgâr enerjisi, enerji verimliliği ve frekans regülasyonu, sensörler, LED'ler, anahtarlar için uzaktan güç, bellek yedekleme, forklift hibridizasyonu gibi alanlarda kullanılmaktadır.

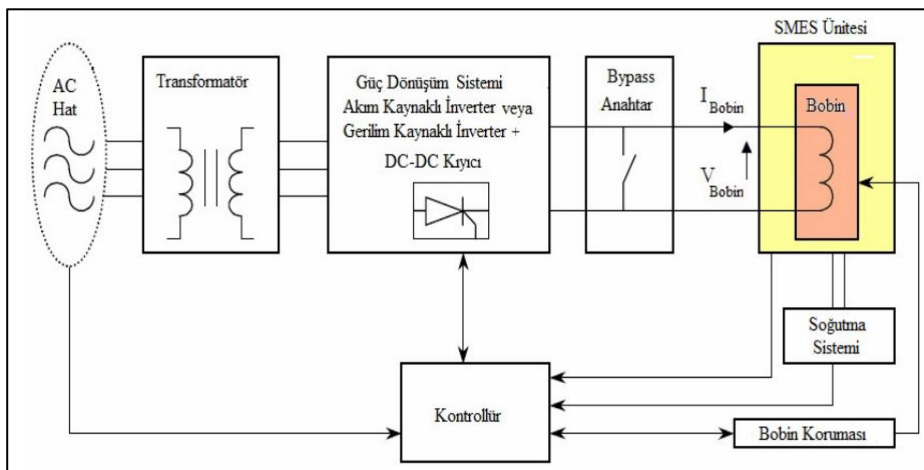
5.2.1.2 Süper iletken manyetik enerji depolama sistemi

Süperiletken Manyetik Enerji Depolama (SMES), enerjii depolayan bir manyetik alan oluşturmak için bir kriyojenik olarak soğutulmuş süper-iletken bobin üzerinden

doğru akım akışını kullanır. Süper iletken bobin şarj edildikten sonra akım bozulmaz ve manyetik enerji sonsuza kadar saklanabilir. Depolanan enerji, bobinin boşaltılmasıyla serbest bırakılır. Cihazı süperiletken özelliklerini korumak için yeterince soğuk tutmak gerekir. Bunun için de kriyojenik soğutma gereklidir.

SMES birimleri “kalıcı” depolama, acil müdahale, görev döngüsünden bağımsız ömür beklentisi ve yüksek verimlilik ve güvenilirlik sunar. Bu durumda daimi, enerjinin süresiz olarak tutulduğu anlamına gelir. Isı yayılımı, buharlaşma vb. nedenlerden dolayı bekleme kayıpları olmaz. Bu, SMES'in neredeyse anlık yanıt hızları ile birleştiğinde, SMES'i kesintisiz güç kaynakları ve güç kalitesi uygulamaları için mükemmel bir seçim haline getirir (UPS)). Buna ek olarak, SMES üniteleri birkaç mekanik parçaya sahip olmakta ve %95'in üzerinde bir gidiş-dönüş verimliliğine sahip olmakta bu sayede arıza noktalarını sınırlamakta ve güvenilirliği arttırmaktadır.

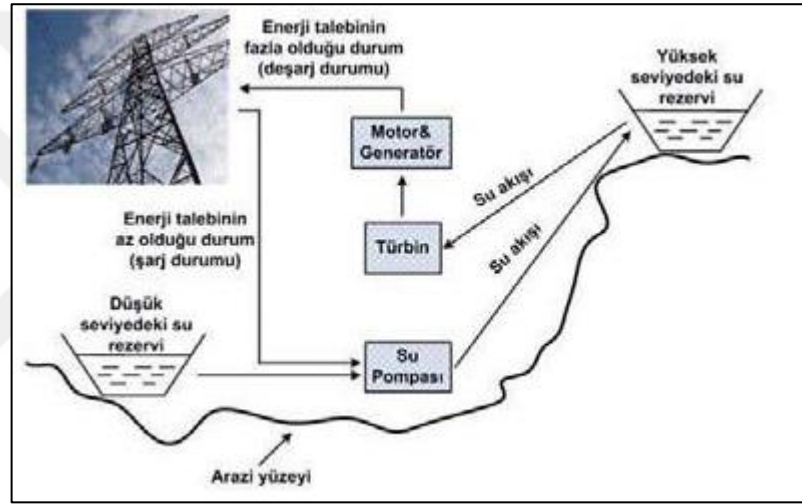
Bu depolama sisteminin bir avantajı, şarj-deşarj döngüsü için %95'e yakın büyük anlık verimliliğidir. Üstelik bu sistemler bataryaların aksine depolanmış enerjinin bütününe yakını boşaltabilmektedir. Çok sayıda tam şarj -deşarj döngüsü ile sürekli çalışma gerektiren uygulamalar için çok kullanışlıdır. Bu sistemlerin hızlı tepki süresi (100 ms altında), bunları ağ stabilitesini (yük dengeleme) düzenlemek için ideal hale getirir. Bu sistemin en büyük kusuru, oldukça maliyetli olan ve işletmeyi daha karmaşık hale getiren soğutma sistemidir.



Şekil 5.4 SMES sistemi bileşenleri [47].

5.2.1.3 Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller

Pompalanan depolama teknolojisi geleneksel hidroelektrik santrallerine çok benzer ve ilk pompalanan depolama tesisi 1929'da inşa edilmiştir. Bu sistemin ana mantığı farklı yükseklik seviyelerindeki suyun kinetik ve potansiyel enerjisinden yararlanmaktır. Bu sistemde farklı yükseklikte iki tane rezerv bulunmaktadır. Elektrik arzının düşük olduğu vakitlerde alçak seviyedeki rezervden yukarıdaki rezerve su pompalarla pompalanarak suyun potansiyel enerjisini artırmış oluruz. Daha sonra enerji arzının yüksek olduğu zamanlarda yukarıya pompalanmış olan su alçakta olan rezerve gönderilerek suyun kinetik enerjisini artırmış olup türbinlerin dönüşünden kaynaklanan mekanik enerji ile elektrik enerjisi üretmiş oluruz.



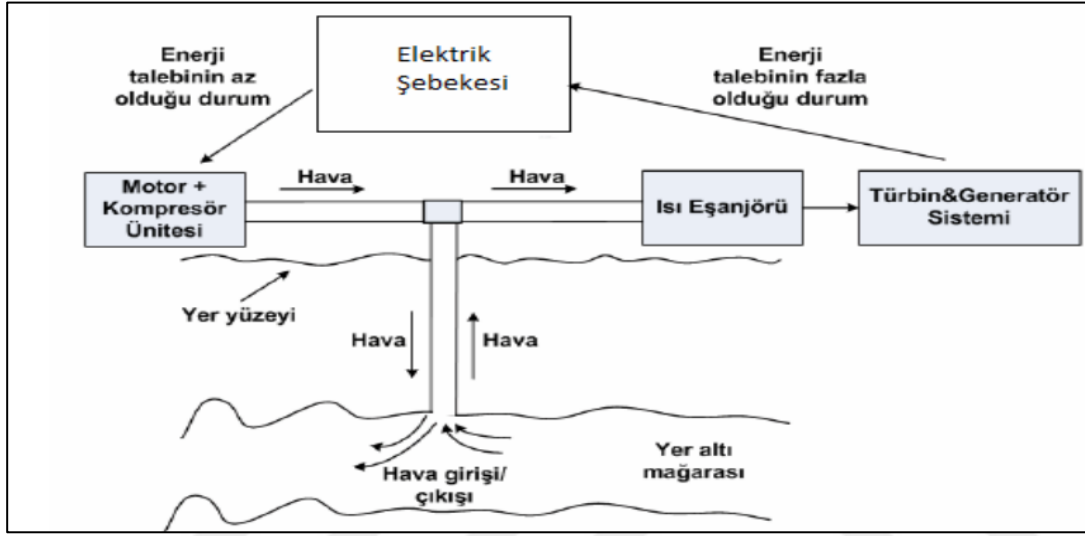
Şekil 5.5 Pompaj depolamalı hes çalışma sistemi [48].

Bu depolama sisteminin en olumlu yanı büyük ölçekli depolama yapabilmesidir. Fakat verimliliğinin %65-%80 civarında olması maliyetli oluşu ve kurulumu için uygun arazi koşulları olmaması bu sistemin dezavantajları arasında yer almaktadır.

5.2.1.4 Sıkıştırılmış hava enerji depolama sistemleri

CAES sistemleri geleneksel olarak günlük depolama ve kısmi yük koşullarında verimli çalışma için merkezi depolama tesisleri olarak tasarlanmıştır. CAES, toplu elektrik gücünün bir şebeke ölçeğinde depolanmasını ve güç gerektiğinde talep üzerine çekilmesini sağlayan bir teknolojidir. Sadece büyük hacimli bir enerji depolama aracı olarak pompalanan hidrolik enerjiye kadar, CAES, mevcut en düşük maliyetli büyük ölçekli enerji depolama sistemi olma potansiyeline sahiptir.

Basınçlı Hava Enerjisi Depolama (CAES) büyük miktarlarda yenilenebilir gücün ekonomik olarak depolanması için şimdi kullanılmaya hazır, kanıtlanmış bir teknoloji, çok yüksek basınçlarda havayı sıkıştırmak ve bu sıkıştırılmış havayı büyük yer altı mağaraları, tükenmiş kuyular veya alıcılar içinde depolamaktır. Rüzgâr türbinleri ve güneş santrallerinde enerji çıkışı azaldığında ve güce ihtiyaç duyulduğunda, basınçlı hava serbest bırakılır ve güç üretmek için türbinlerden geçirilir.



Şekil 5.6 Sıkıştırılmış Hava Depolama Tesisinin Şematik Görünümü [49].

Basınçlı hava depolama teknolojisi, büyük güneş santralleri tarafından üretilen enerjinin depolanması için verimli bir çözüm olabilir. Konsept aşağıdaki gibidir.

Enerji transfer ortamı olarak hava kullanılır. Gündüzleri, hava geçirmez bir odadaki havayı ısıtmak ve sıkıştırmak için güneş enerjisi kullanılır. Enerji gerektiğinde, bu sıkıştırılmış hava, elektrik üretmek için bir jeneratörü çalıştırmak için bir türbin veya başka bir genişletme cihazıyla genişletilebilir. Basınçlı hava enerji sistemleri (CAES), bazı konvansiyonel enerji santrallerinde kullanılmaktadır ve yenilenebilir enerji santralleri için enerji depolama sistemleri olarak geri dönüş yapmaktadır.

CAES sistemleri, normal doğal gaz zirveleri türbinlerine hemen hemen aynı gaz türbinleri kullanır. Ancak, doğal gazın sadece 1/3'ünü kullanırlar, çünkü normal türbin içindeki doğal gaz enerjisinin 2/3'ü, türbinlere girmeden önce havayı sıkıştırmak için kullanılır ve bu sıkıştırılmış hava depolanmış hava tarafından

sağlanır. Türbinlere girmeden önce havayı ısıtmak için doğal gazla ihtiyaç duyulmaktadır.

Termal depolama ile donatılmış CAES tesisleri ile karbonsuz bir elektrik sistemi de mümkündür. Termal depolama, daha sonra, türbinlere giden havanın ısıtılması için daha sonra kullanılmak üzere, havanın sıkıştırılmasından saklanırdı. “Adyabatik” CAES bitkileri olarak bilinen depolanmış termal enerji, doğal gaz ihtiyacını ortadan kaldırır ve tüm sistemin tek başına yenilenebilir enerji üzerinde çalışmasına neden olur.

Şu anda dünya çapında iki ticari CAES tesisi vardır; Almanya'daki Huntorf tesisi ve Alabama'daki McIntosh fabrikası. Bunların her ikisi de, yoğun olmayan şebeke elektriğinin hava sıkıştırmak için kullanıldığı ve daha sonra genişleme sırasında doğal gazla karıştırılan ve yakılan diyabetik sistemlerdir. Huntorf tesisi 310.000m³ kullanır 50-70 bar arasında bir basınç toleransı ile 600m derinlikte bir mağara, bir çözümlü mayınlı tuz kubbesinden dönüştürülür. 2 saat boyunca 290MW'lık bir pik çıktı sağlayan 8 saatlik bir günlük şarj döngüsü üzerinde çalışır. McIntosh 538,000m sahip 45-76 bar arasında bir basınç toleransla 450m derinlikte bir tuz mağarasındadır. Başlangıçta 26 saat boyunca 110 MW'lık bir çıkış sağlamıştır, ancak 1998'de iki ekstra jeneratör eklendi ve toplam kapasitesi şimdi 226MW oldu [46,48].

5.2.1.5 Volanlı enerji depolama sistemi

Volanlı enerji depolamada rotasyonel enerji, hızlandırılmış bir rotorda, devasa bir döner silindirin içinde depolanır. Tipik olarak dönen kütleler, sürtünmeyi mümkün olduğunca azaltmak için tasarlanan boşaltılan odacıklarda çok düşük sürtünmeli yataklarda kalır. Enerji, rotora bağlı bir mili döndüren bir motor jeneratörü kullanarak içeri ve dışarı aktarılır. Rotor volanın ana bileşenidir. Atalet ve maksimum dönme hızı gibi rotor karakteristikleri, cihazların enerji kapasitesini ve yoğunluğunu belirler. Motor jeneratörü ve ilgili güç elektroniği, volanın maksimum gücünü belirler ve güç ve enerji kapasitelerinin ayrıştırılmasını sağlar.

Dönen gövdeyi sabit bir hızda tutarak, volanda enerji korunur. Hızdaki bir artış, daha yüksek miktarda enerjinin depolanmasıyla sonuçlanır. Güç uygulamaları için kullanılan volanlar 100 kW ila 2 MW arasında değişmekte olup, deşarj süreleri 5 saniyeden 15 dakikaya kadar değişmektedir. Enerji depolama volan modülleri, 0,5 ila

1 kWh enerji depolar. Volanların %70 ila %80 arasında gidiş-dönüş verimlilikleri %1 ile %2 arasında değişen güç bekleme kayıplarına sahiptir [48].

Volanlar genel olarak kısa tepki süreleri olan cihazlar olarak kabul edilir ve bu sayede kesintisiz güç kaynakları ve güç kalitesi uygulamaları için ortak bir seçim haline gelir.

Sık sık dönme ve sürekli çalışma yüzünden mekanik komponentleri aşındığından, volanların ömür beklentisi bir endişe kaynağıdır. Volanların, mekanik aşınma ile sınırlı, 100.000 şarj-deşarj döngüsünde beklenen bir ömrü vardır. Bakım maliyetleri düşüktür. Neredeyse hiç karbon emisyonları yoktur. Hızlı tepki gösterirler. Depolama kapasiteleri düşüktür. Deşarj süresi uzundur. Alım maliyetleri yüksektir.

5.2.1.6 Bataryalar

Bataryalar, kimyasal reaksiyonlardan elektrik enerjisi üreten cihazlardır. Farklı kimyasallara sahip farklı tipte bataryalar bulunmaktadır. Bataryalar enerji ve güç kapasitelerine göre sınıflandırılırlar. Çoğu batarya tipi için güç ve enerji kapasitesi bağımsız değildir; üretim aşamasında belirlenir ve sabittir. Bataryalar için verimlilikleri, şarj-deşarj çevrim sayısı, işletme sıcaklığı, deşarj derinliği, kendinden deşarj oranı ve enerji yoğunluğu kavramları başlıca önemli parametrelerdir. Yenilenebilir enerji kaynakları tarafından üretilen enerjinin depolanması için sadece şarj edilebilir bataryalar dikkate alınacaktır [50].

Lityum-iyon bataryalar

Lityum, çok reaktif davranışından dolayı en yüksek potansiyele sahip en hafif metaldir ve teoride piller için bir bileşik görevi yapar. Lityum-iyon batarya, kurşun asit ve diğer pek çok batarya gibi, elektriği serbest bırakmak için kimyasal reaksiyonlar kullanır. Tümü lityum iyon piller olarak adlandırılrsa da, biraz farklı kimyasal bileşikler içeren çeşitli tipler vardır.

Bu bataryalarda katot; çökmüş/bastırılmış bir metal oksit ve anot ise grafit bir karbon ile tabakalı/katmanlı bir yapıda yapılmıştır. Elektrolit ise organik karbonat içinde çözülmüş lityum tuzlarından yapılmıştır. Batarya şarj olmaya başlayınca, katottaki lityum atomları iyon haline gelir ve karbon anota doğru elektrolit üzerinden geçerler bu arada harici elektronlarla birleşerek karbon katmanları arasında lityum atomları

olarak çökelirler [51]. Lityum iyon pil, yüksek enerji depolama kapasiteleri, düşük iç direnç ve %90'ın üzerinde verimliliğe sahip olmalarından dolayı kullanımları yaygındır. Teknik olarak uygun sıcaklık ve maksimum kapasitelerine dikkat edilerek çalıştırılmalıdır aksi halde lityum iyon pillerin verimleri azalır. Yüksek verimleri ve enerji yoğunlukları ile lityum iyon piller enerji kalitesinin önemli olduğu yerlerde, dağıtım sistemlerinde ve otomotiv alanlarında kullanım için çok uygundur. Lityum iyon pillerinin birçok avantajı vardır. Bunlar; uzun süreli kullanım ömrü, yüksek enerji yoğunluğu, küçük taşınabilir olmaları, bakım gerektirmemesi, geniş sıcaklık aralığında çalışabilme diye sıralanabilir. Dezavantajları ise yüksek kurulum maliyeti ve kapasiteden fazla şarj olma tehlikesi denilebilir [52].

Kurşun asit bataryalar

Kurşun-asit batarya en eski bilinen şarj edilebilir batarya tipidir. Bir kurşun-asit bataryasında genellikle her biri 2 volt (V) veren ve her biri birkaç süngersi saf kurşun katotlar, pozitif yüklü kurşun oksit anotlar ve elektrolit olarak işlev gören %20-40 sülfürik asit solüsyonu içeren birkaç seri bağlantılı pil bulunur. Tahliye edildiğinde, hem anot hem de katot, elektrolit ile kimyasal reaksiyona girer ve bu süreç, prosese elektrik enerjisini veren kurşun sülfata dönüşür. Bu reaksiyon, elektrotların elektrikle beslenmesiyle neredeyse tamamen tersine çevrilebilir, bu da kurşun asitli bir akünün yeniden şarj edilebilir olması anlamına gelir. Genellikle otomobillerde (SLI piller olarak bilinen marşlı aküler), tekerlekli sandalyeler veya golf arabalarında kullanılırlar. Düşük maliyetlidirler. Bakımları kolaydır. Performansı sıcaklıktan kolay kolay etkilenmez. Güç yoğunluğu fazladır. Olumsuz yanlarına gelecek olursak kısa ömürlüdür. Ağırırlar. Kurşun maddesinden dolayı çevreye zarar verebilir [52].

Nikel-kadmiyum bataryalar

Nikel-Kadmiyum bataryalar dünya çapında yaklaşık 27 MW kurulu güce sahiptir. %60 ile %70 arasında verimliliğine sahiptirler. Piller kadmiyum denilen oldukça zehirli madde ile kaplanmıştır. Kurşun-asitten daha pahalı olmalarına rağmen, teknolojik olarak eski oldukları ve 10-15 yıllık kurşun-asitten daha uzun bir ömür sundukları için daha kullanışlı bir teknolojidir. Bu pillerin sürekli şarjda kalıp kısa zaman aralıklarında kullanılması verimliliğini azaltmaktadır. Bu bataryalar uzay

araçları, aydınlatma sistemleri, telekomünikasyon sistemleri gibi pek çok alanda geniş uygulama sahasına sahiptir [53].

Nikel–metal hidrit bataryalar

Nikel Metal Hidrit (NiMH) batarya Nikel Hidrojen (NiH_2) hücresinden bir evrimi temsil eder. Başlangıçta havacılık uygulamalarında kullanılan NiH_2 hücresi, geniş bir çevrim ömrüne sahip olmanın yanı sıra iyi bir özgül enerjiye sahip olma avantajına sahipti. Bununla birlikte, NiH_2 hücresi dezavantajı, hidrojen gazı tankları gerektiren zayıf hacimsel verime sahip olduğu ve bir katalizör olarak platinin kullanımı nedeniyle pahalı olduğu yönündeydi. NiMH pil, bir elektrot olarak benzer bir metal hidrit hidrojen depolama sistemi kullanılarak icat edildi, böylece sistem tek bir hücreye sığacaktı.

Nikel Kadmiyum (NiCd) ile karşılaştırıldığında NiMH pillerin sayısız avantajı vardır. NiMH piller, daha yüksek bir özgül enerjiye sahip olmasına rağmen, NiCd pillerle aynı voltaja, 1.2 volta kadar çalışır. NiMH ayrıca, kadmiyum kullanmadıkları için NiCd'den daha çevre dostudur. NiMH piller genellikle lityum iyon akülere benzer uygulamalarda bulunur ve bu sayede elektrikli aletler ve hatta bazı hibrid araçlarda bile yüksek bir özgül enerjiye ihtiyaç duyulur. NiMH piller lityum iyon pillerden daha ucuz olmasına rağmen, daha düşük özgül bir enerjiye sahiptir, bu da çoğunlukla lityum iyonunu kullanan daha yeni teknolojilere yol açar. NiMH'nin diğer dezavantajları yüksek bir kendi kendine deşarj (NiCd'den yaklaşık %50 daha büyüktür) ve yüksek sıcaklıklarda depolandığında performans düşüşünü içerir.

Avantajlarına bakacak olursak: enerji yoğunluğu NiCd'dan daha iyidir. Çevrim ömrü 3000 döngüdür. Derin döngü yapabilir. Hızlı şarj mümkündür. Çevre dostudur. Elektrikli tıraş makineleri, kameralar, cep telefonları, çağrı cihazları, tıbbi aletler ve otomotiv aküleri gibi birçok alanda kullanılmaktadır [52].

Sodyum-sülfür bataryalar

Sıvı sodyum sülfür bataryası, henüz geliştirilmekte olan bir başka batarya türüdür, ancak Japonya gibi bazı ülkelerde hali hazırda faaliyete geçmiştir. Japonya'da yaklaşık 250 Megavatt (MW) sodyum pil gücü kurulmuştur. Sodyum bataryalar, 240 Wh/kg'a kadar enerji yoğunluğuna sahiptir. Güç yoğunluğu ise 150-230 W/kg

civarındadır. 10-15 yıl uzun ömürlü ve yüksek verim (%75-90) ile nispeten yüksek bir yoğunluk avantajına sahiptir. Ancak sodyum sıvısını almak için yüksek sıcaklıklarda (350°C / 623°K) çalıştırılmaları gerekir ki bu sadece çalışmayı daha zor ve pahalı hale getirmekle kalmaz, aynı zamanda sıvı sodyumun su ile kolayca reaksiyona girmesiyle atmosfer için daha da tehlikeli olmaktadır. Kendi kendilerine şarj olmamakla birlikte ucuz aplikasyonlarda kullanılır [48].

Akışlı bataryalar

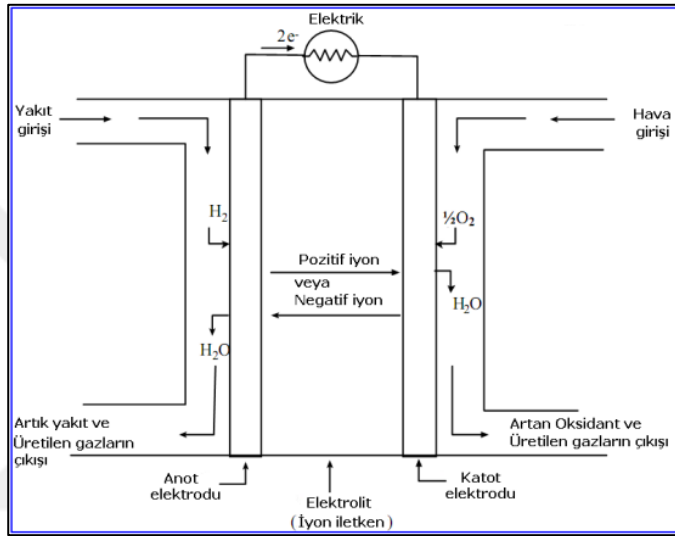
Modern akışlı bataryalar, genellikle, sıvı enerji taşıyıcıları olarak hareket eden iki elektrolitin, bir zar ile ayrılan reaksiyon hücresinin iki yarım hücresi boyunca eşzamanlı olarak pompalandığı iki elektrolit sistemidir. Şarj sırasında, sağlanan elektrik enerjisi bir elektrolitte kimyasal indirgeme reaksiyonuna ve diğerinde bir oksidasyon reaksiyonuna neden olur. Yarım hücreler arasındaki ince iyon değişim membranı, elektrolitlerin karışmasını önler ancak seçilen iyonların redoks reaksiyonunu tamamlamak için geçmesine izin verir. Deşarjda elektrolit içerisindeki kimyasal enerji ters tepkime ile serbest bırakılır ve elektrotlardan elektrik enerjisi çekilebilir. Kullanımda iken, elektrolitler sürekli olarak reaktör ve depolama tankları arasındaki bir devrede pompalanır.

Yüksek güçteki bataryalar, iki kutuplu bir düzenlemede çoklu hücre yığını kullanılarak oluşturulur. Sistemin güç derecesi, hücre yığınlarındaki elektrotların sayısına göre belirlenir, ancak bu sistemin büyük avantajı neredeyse sınırsız elektrik depolama kapasitesi sağlamasıdır, sınırlama sadece elektrolit depolama rezervuarlarının kapasitesidir. Termal yönetim için fırsatlar, elektrolitlerin, hücreler içinden pompalandıkça termal çalışma sıvıları olarak kullanılmasıyla da kolaylaştırılmaktadır. Bu bataryaların olumsuz yanlarına gelecek olursak kullanılan malzeme ve işletme bakımından tutarının biraz fazla olmasıdır [50].

5.2.1.7 Yakıt pilleri

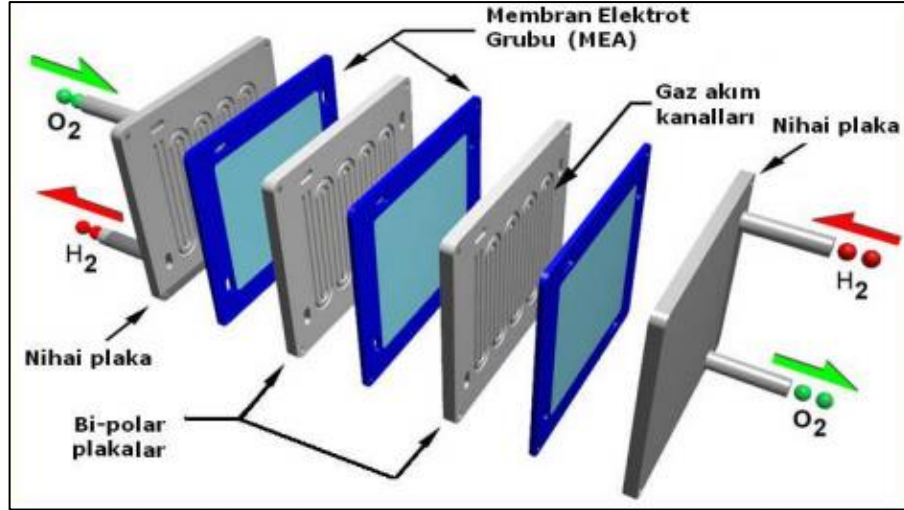
Yakıt hücresi, bir yakıtın kimyasal enerjisini sabit bir sıcaklık işleminde doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir cihazdır. Yakıt hücresi, sürekli olarak taze reaktanlarla yeniden şarj edilen bir pile benzemektedir. Bir batarya gibi, her yakıt hücresi esas olarak elektronik iletkenler olan bir elektrolit ve iki elektrot (pozitif anot ve negatif katot) içerir. İyon aktarımının doğası farklı hücre tipleri arasında değişir

Hidrojen, bir proton ve elektronun bileşenlerine ayrıldığı hücrenin anoduna beslenir; Birincisi elektrolitin içinden geçer ve ikincisi bir yüke yol açtığı bir dış devre etrafında zorlanır. Proton ve elektron, katottaki havadaki oksijenle birleşir, saf su ve az miktarda ısı üretir. Piller ve aküler, içerisinde depo edilmiş olan enerjiyi elektrokimyasal bir reaksiyon ile elektrik enerjisine dönüştürürler. Sağladıkları enerji, içerisinde depo edilmiş olan enerji ile sınırlıdır. Yakıt pilleri ise yakıt ve hava sağlandığı sürece bu dönüşümü sürekli gerçekleştirebilen enerji üretim sistemidir [54].



Şekil 5.7 Bir yakıt pilinin genel yapısı ve işleyişi [54].

Yakıt pilinde çok sayıda hücrenin bir araya getirilmesiyle “yakıt pili yığını-fuel cell stack” denilen yapılar oluşturulmaktadır. Yakıt pili yığınları ile istenilen oranda voltaj üretebilecek bir sistem geliştirilerek değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Bir yakıt pili yığını ve elemanlarının detaylı görünümü Şekil 5.8’de verilmektedir [54].



Şekil 5.8 Bir Yakıt pili yığını ve elemanlarının detaylı görünümü.

Yakıt pilinde çok sayıda hücrenin bir araya getirilmesine ilave olarak, yakıt işleme ünitesi, güç dönüştürücü, kontrol ünitesi gibi kısımları ile beraber birkaç watt'tan megawatt seviyelerine kadar güç çıktısı sağlanabilmektedir [52]. Yakıt pillerinin yüksek verimlilikleri dışında, hareketli parça içermeme, sessiz, modüler, kompakt yapılı, geniş yakıt yelpaze ile çalışabilme, düşük emisyon, yüksek güvenilirlik, kolay kurulum, hızlı enerji dönüşümü ve kojenerasyona uyumlu olma gibi özellikleri yada avantajları vardır. Yakıt hücresi sistemleri, saf hidrojenle çalışırken kirlilik olmadan çalışırlar, tek yan ürünler saf su ve ısıdır [54].

Dezavantajları ise; yüksek maliyet, büyük hacim ya da ağırlıkta yakıt depolama gereksinimi, direkt hidrojen kullanımı halinde yüksek yakıt fiyatı, kullanım ömürlerinin tam olarak bilinmemesi olarak özetlenebilir [52].

5.2.2 Güç ve enerji durumuna göre sınıflandırma

Enerji depolama sistemlerinin güç ve enerji durumuna göre sınıflandırılması büyük ölçekli ve küçük ölçekli olmak üzere ikiye ayrılır. PDHES ve SHDES gibi üretilen enerjiyi Megawatt ve üstü seviyelerinde depo eden sistemler büyük ölçekli olarak tanımlanmaktadır. Volanlar ve yakıt hücreleri gibi enerjiyi Kilowatt seviyelerinde depolayan sistemler küçük ölçekli olarak tanımlanmaktadır. Aşağıdaki çizelgede bazı küçük ölçekli sistemlerin bir kısım özelliklerinin karşılaştırılması gösterilmektedir [55].

Çizelge 5.1 Küçük ölçekli depolama sistemleri [52].

Depolama Yöntemleri	Yakıt Hücresi	Volanlar (Düşük Hız)	Volanlar (Yüksek Hız)	Hidroelektrik Depolama	Basınçlı Hava Depolama	Süper iletken Manyetik Enerji Depolama	Süper Kapasitör
Yatırım Maliyeti/MW	\$15.000	\$300.000	\$25.000.000	\$7.000	\$2.000	\$ 10.000	\$28.000.000
AĞIRLIK/MWh	30 Kg	7.500 Kg	3.000 Kg		2.5 Kg	10 Kg	10.000 Kg
Verim	0,45-0,8	0,9	0,93	0,8	0,85	0,97	0,95
Bakım Maliyeti/Mwh	\$ 10	\$ 3	\$ 4	\$ 4	\$ 3	\$ 1	\$ 5
Kapasite	0,3-2.000 kWh	50 kWh	750 kWh	22.000 kWh	2.400 kWh	0.8 kWh	0.5 kWh
Ekonomik Ömrü	10 yıl	20 yıl	20 yıl	40 yıl	30 yıl	40 yıl	40 yıl

5.2.3 Uygulama alanlarına göre sınıflandırma

EDS'ler uygulama alanlarına göre enerji temelli ve güç temelli olmak üzere iki gruba ayrılır.

5.2.3.1 Enerji temelli uygulamalar

Birkaç saatlik servis (deşarj) süresi gerektiren, uzun süreli enerji ihtiyacına cevap verebilecek ve ihtiyaç anında cevap süresi (devreye girmesi) çok hassas yükler dışında 1 dakika civarında olması kabul edilebilen depolama uygulamalarıdır [56].

5.2.3.2 Güç temelli uygulamalar

Yük talebinin karşılanmasından ziyade, güç kalitesi düzeltilmesine yönelik kullanılan depolama uygulamalarıdır. Şebeke frekans kararlılığının sağlanması, ani güç değişimleri ve gerilim değişimlerinin bastırılması gibi amaçlarla kullanılan depolama uygulamalarıdır. Bu uygulamalarda cevap süresi (devreye girme) ms düzeyinde olması beklenirken uzun servis süresine gerek duyulmayabilir (genelde 1 saatten kısa), birkaç dakika civarı servis süreleri ihtiyaca göre kabul edilebilmektedir [56].

5.3 Enerji Depolamanın Önemi

Nüfusun artması ve sanayileşme alanındaki gelişme yüzünden enerji üretimi ile enerji tüketimi arasındaki fark gün geçtikçe artmaktadır. Bunun en büyük sebebi ise ülkemizdeki enerji kaynaklarının kısıtlı kalmasıdır. Bu da demek oluyor ki sahip olunan enerjinin en elverişli bir şekilde kullanılması büyük bir önem arz etmektedir. Üretilen enerjinin en etkili biçimde depolanması ve ihtiyaca yetecek dönüşüm sistemlerinin en uygun şekilde geliştirilmesi enerji ihtiyacını karşılamada çok daha faydalı olacaktır.

Dünya genelinde enerji talebi büyük oranda konvansiyonel enerji kaynaklarından sağlanmaktadır. Öte yandan gelişen ülkelerdeki enerji gereksiniminin gün geçtikçe artış göstermesi de konvansiyonel yakıtlara olan gereksinimi çoğaltmaktadır. Bu sebeplerden dolayı da dünyada var olan konvansiyonel kaynakların rezervleri de git gide tükenmektedir. Ayrıyeten bu kaynakların kullanılması sera gazının salınımında artışa dolayısıyla dünyaya büyük bir tehdit oluşturabilecek olan küresel ısınmaya sebep olacaktır. Bu sebeplerden dolayı hem tükenmeyen kaynak olmaları hem de çevre dostu olmalarından dolayı yenilenebilir enerji kaynakları büyük öneme sahiptir [52].

Fakat bu kaynakların büyük bir kısmı doğa koşulları ile son derece etkilenebilirlik içindedir. Bu sebepten dolayı yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerji gün içindeki kısa zamanlarda dahi farklılıklar gösterebilir. Bundan ötürü de enerji talebini karşılamada örtüşmezlikler görülebilir. Bu örtüşmezlikleri ortadan kaldırmak için enerji depolama sistemleri büyük önem arz etmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarından ürettiğimiz fazla enerjinin depolama sistemlerinde depolanıp ana enerjinin yetersiz kaldığı zamanlarda bu depolanan enerjinin kullanılması yük talebinin karşılanmasında önemli bir rol oynamaktadır [56].

Enerji depolamanın sağladığı faydalara baktığımızda enerji sistemlerinden sağlanan verimliliğin artması, arz ile talep arasındaki oranın korunması, enerji tasarrufuna sebep olması aşikâr neticelerindedir. Buna ek olarak sağladığı faydalara baktığımızda çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarının bütünleşmesi sağlanabilir. Ayrıyeten enerjiye ulaşımında şebekeye bağlı kalınmaması, şebekelerde esneklik, kararlılık ve güvenilirliğin artması vb. gibi birçok yararları da bulunmaktadır.



6. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLER

6.1 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Kısa Tarihçesi

Pompalı depolamanın bilinen ilk kavramsal gösterimi, 1882'de İsviçre'nin Zürih kentinde enerji depolaması için pistonlu bir pompanın önerildiği görülmüştür. İlk tesis 1909 yılında İsviçre'nin Schlafhausen  hrinde 1500 kW'lık bir kapasiteli ile hizmete açılmıŐtır. Sonraki kurulumlar önümüzdeki birkaç on yıl boyunca Avrupa çapında takip etmiştir. GeliŐiminin kapsamı büyük  l de iki özel tesis tarafından artırıldı: 1928'de Almanya'nın Dresden kenti yakınlarında 20 MW'ın üzerindeki ilk tesis ve 1929'da geri dönüŐümlü bir pompa üreticisi olan Connecticut'taki büyük  l ekli Kuzey Amerika kurulumudur.

1930'larda, tersine  vrilebilir pompa türbinleri piyasaya sürüldü, ilk kurulum Almanya'nın Baldeney kentinde gerçekleŐti. Bu gelişme tipik olarak, başlangıçta kompleks ayarlardan ve uzun değiştirme s relerinden taviz verirken, yaklaşık olarak %30'luk bir maliyet tasarrufu sağladı. Bu  zel teknoloji, 1960-70'lerde büyük bir gelişme göstermiŐ ve günümüzde de halen kullanılmaktadır. 1970'li yıllarda Fransa ve Japonya'da daha yüksek kapasiteli sistemlere uyum sağlamak için aŐamalı pompalamaya ihtiyaç duyuldu; bu da çift aŐamalı ters  vrilebilir Francis türbini üretilmesine sebep oldu.

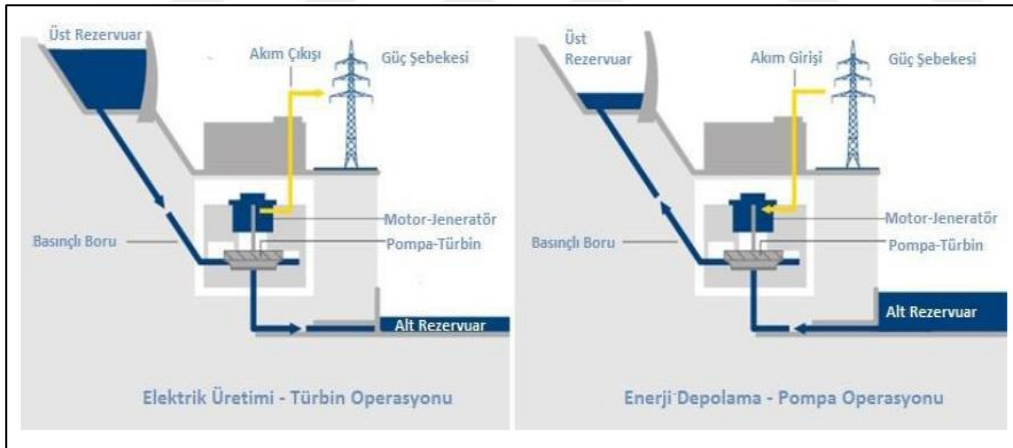
1980'lerin sonlarında, değişken hızlı geri dönüŐümlü pompa türbinleri (Pelton türbinleri) fikri, iki hızlı senkron motor jeneratörü, ardından da güç elektroniği ve sürekli değişken hız sürücüleri ile gerçekleştirildi. Potansiyel olarak daha pahalı olmasına rağmen, bu sistemler 1.25 oranından daha büyük olan büyük pik diferansiyelleri ile çalışırken belirgin verimlilik kazanımlarına sahiptir. Bu sistem r zĐar enerjisi gibi diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile de uyumludur.

İŐletmelerin çoğu 1960'lardan 1980'lerin sonuna kadar inşa edildi. 1970'lerin baŐındaki petrol krizlerinden sonra nükleer enerji sayesinde hız kazandı. PDHES,

yüksek yük talebinde enerji sağlamak için bir sistem aracı olarak ve düşük yük talep süresi boyunca baz yük santrallerin birimlerinin temel yük modunda çalışmasına izin vermek için bir sistem aracı olarak kullanılmıştır. Bununla birlikte, zengin hidro enerjiye sahip ülkelerde, PDHES, büyük ölçekli hidroelektrik santrallerinin faaliyetlerini ve verimliliğini artırmak için geliştirilmiştir.

6.2 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Çalışma Prensibi

Enerji üretimi ile tüketim arasındaki dengeyi yönetmek, elektrik şebekelerinin istikrarını garanti altına almak için artan bir önem kazanmıştır. PDHES'ler dağıtım şirketlerinin dengeleme eylemini başarılı bir şekilde yönetebilmelerine izin vererek, fazla miktarda enerji tüketen büyük ölçekli miktarları depolamanın tek ekonomik ve esnek aracıdır. PDHES'ler, şu anda dünyanın birçok yerinde kullanılan büyük, eski ve ticari bir yardımcı programdır. Su mevcudiyetinin zor olduğu alanlarda, PDHES entegrasyonu geleneksel hidroelektrik santrallerine en iyi alternatiflerden birini sunarak, su tutma ve yeniden kullanım yerine deşarj edilmesini sağlayarak, pik dönemlerde ihtiyaç duyulan gücü sağlar.



Şekil 6.1 Pompaj depolamalı HES üretim ve depolama gösterimi [57].

Pompalanan bir depolama hidroelektrik sistemi, türbin ve iki rezervuar arasında pompalama tesisi ile farklı yüksekliklerde iki rezervuardan oluşur. Yoğun olmayan dönemlerde, enerji talebi düşükken su, alt rezervuardan üst rezervuara kadar yükseltilirken, aynı zamanda türbinleri çalıştırmak ve hidrolik enerjiyi mekanik enerjiye dönüştürmek için en yüksek talep süresiyle aynı zamanda serbest bırakılır. Her ne kadar geleneksel hidroelektrik santraller ile karşılaştırıldığında, pompalama

maliyetinin bir sonucu olarak daha pahalı olsa da, ancak talebe önemli ölçüde cevap vermesi ve ana şebeke stabilitesini beraberinde getirmesi nedeniyle önemlidir fayda sağlar. Pompalanan depolama uygulamaları, gün boyunca değişme eğiliminde olan talep dengesini sabit olma eğiliminde olan arz ile karşılar. Pompaj depolama sistemi, sera gazı emisyonlarını azaltmak ve temiz yenilenebilir enerji kapasitesi oluşturmak için küresel fayda sağlayan çok önemli bir yenilenebilir sistemdir. Pompaj depolama, elektriğin güvenilirliğini ve esnekliğini arttırmak ve üretim sistemlerinin olumsuz etkilerini hafifletmek için büyük rol oynamaktadır. Normal pik döngüsündeki pompalı depolama tesisleri, yüksek eğimli rampa ve yükleme-takip kabiliyetini, frekans regülasyonu ile hızlı başlangıç yeteneğini içerir. Modern, büyük pompalanmış depolama tesisinin döngüsü %70-85 arasında verimliliğe sahiptir. Çevrim, pompalamadan 2 ila 10 dakika içerisinde tam üretime ve üretimden 5 ila 20 dakika içinde pompalamaya geçebilir.

6.3 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerde Değişken Devir Teknolojisi

PDHES'lerde yaygın olarak kullandıkları 4 çeşit teknolojik çözüm bulunmaktadır;

- Tersinir sabit hızlı sistem: Sistemin senkron motor/jeneratör olarak çalışabildiğini,
- Değişken hızlı çift beslemeli sistem: Sistemin asenkron makine olarak çalışabildiğini,
- Değişken hızlı tam beslemeli sistem: Sistemin tersinir sabit hızlı türbine çok benzeyerek senkron motor/jeneratör olarak çalışabildiğini diğerinden farklı olarak bu sistemde bulunan by-pass anahtarı ile motor/jeneratör'un şebeke tarafına göre ayarlanabildiğini,
- Üçlü Makine Seti (Ternary Group): Üçlü çözümlerinin bulunduğunu, bu sistemde ise bir adet şafta bağlı birbirinden bağımsız türbin, motor/jeneratör ve bir pompatürbinden oluşan 3 makine yer almaktadır.

Üçlü Makine Setinde (Ternary Group) tek jeneratör milinde, pompa ve türbin setlerinin ayrı ayrı olarak yapıldığını, bu sistemin avantajlarının ise; hızlı mod (türbin-pompa) değişikliği yapabilmesi, dezavantajının ise yüksek yatırım, ilave alan ihtiyacı ve ilave ekipman gerekliliği şeklindedir. Bir diğer sistem ise tersinir pompa-

türbin sistemi olduğu, bu sistemde türbin saat yönünde döndüğünde elektrik üretirken, saat yönü tersinde döndüğünde pompa modunda çalışarak elektriği tüketmektedir. Bu sistemin avantajının ise daha kompakt tasarıma sahip olması, maliyetinin ternary'e göre daha düşük olması, dezavantajının ise türbinin pompa moduna geçişinin yavaş olmasıdır. Değişken hızlı pompa-türbinlerin prensip ve avantajlarının ise: türbin veriminin artırılması (işletme noktaların değişmesi), devamlı olarak çıkış gücünün varyasyonu (pompa modunda limitler içinde), vibrasyonların azalması sonucu makine ömrünün uzaması ve işletme düşü aralığının artmasıdır (Sabit hızlılarda bu oran 1,25 iken değişken hızlılarda bu oran 1,25-1,45 arası).

Makinaların pik güçte kullanılması istenmesi halinde ternary pompa türbinin daha avantajlı olabilmektedir. Türbin moddan pompa moduna tersinir pompa türbin 420 saniyede geçmekte, ternary ünitenin ise geçiş süresinin 30 sn olmaktadır. İlk starttan pompa moduna ternary ünitenin 120 saniye içinde, tersinir pompa türbinin ise 340 saniyede geçebilmektedir.

PDHES'lerin genelinde sabit hızlı pompa türbin sistemleri bulunmaktadır. Bunlar enerji depolama yapabilseler de yalnızca üretim modunda frekans düzenlemesine katılabilmektedir. Pompa modunda frekans düzenlemesine katılamamaktadırlar. Değişken devirli PDHES'ler ise hem üretim hem de pompalama modunda frekans düzenlemeye katılabilmektedir. Japonya değişken devirli PDHES konusunda lider durumda olup 20 yılı aşkın süredir bu sistemleri başarıyla işletmektedir [58].

Avrupa ülkeleri de yenilenebilir enerji kaynaklı üretimlerini sisteme entegre edebilmek için değişken devirli PDHES ile ilgili çalışmalar yapmaktadır. Dolayısıyla değişken devirli PDHES'ler gerek pompalama modunda gerekse de üretim modunda konvansiyonel tipteki PDHES'e göre üstün işlevlere sahiptir. Örneğin üretim faaliyeti modunda, değişim genişliği ve değişim hızı yüksektir, çünkü dönme hızı ve su miktarındaki değişikliklerle çıktıyı değiştirme imkanı bulunmaktadır. Ayrıca pompalama modunda, dönme hızında bir değişiklik girdi ayarlanabilmektedir. Bu durum konvansiyonel PDHES'lerde hiçbir şekilde yapılamamaktadır [58]. Çizelge 6.1'de görüleceği üzere değişken devirli PDHES üretim faaliyetinde ve pompalama faaliyetinde konvansiyonel PDHES'e göre büyük kontrol genişliğine sahiptir.

Çizelge 6.1 Değişken devirli PDHES ile sabit hızlı PDHES'in karşılaştırılması [59].

	Üretim Faaliyeti Modunda Üretilen Enerji Değişim Genişliği	Pompalama Faaliyeti Modunda Girdi Değişim Genişliği
Değişken devirli -PDHES	130-400 MW	320-470 MW
Konvansiyonel Tipte PDHES	260-400 MW	470 MW (Sabit)

6.4 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Olumlu Ve Olumsuz Yönleri

Avantajları çok uzun ömürlü olması, büyük yüklü kapasiteye sahip olması ve pratik olarak sınırsız çevrim ömrüne sahip olmasıdır. Elektriği depolayarak, PDHES tesisleri güç sistemini kesintilerden koruyabilir. Gelişmiş güç elektroniği ile birleştiğinde, PDHES sistemleri ayrıca harmonik bozulmaları azaltabilir ve voltaj düşüşlerini ve dalgalanmalarını ortadan kaldırabilir. Yük dengeleme ile genellikle, sistemdeki hafif yükleme süreleri (yoğun olmayan saatlerde) sırasında gücü depolamayı ve yüksek talep dönemlerinde teslim etmeyi sağlar. Konvansiyonel tip hidrolik santrallere göre kavitasyon sınırları daha düşük olduğundan sistem işletmecisinin PDHES'lerin daha geniş aralıklarda kullanılabilir.

Bu santraller çok kısa bir süre içerisinde üretime geçebilir ve sıfır yükte çalışma kabiliyetine sahiptir. Bu sistemler, yüksek maliyetli pik üretim birimleri için bir alternatif olabilir. Düşük işletme ve bakım maliyetleri ve yüksek güvenilirliğe sahiptir. Hâlihazırda, pompaj depolamalı hidroelektrik santrali teknolojilerinden en düşük seviyede elektrik maliyetine sahiptir. Değişken ve kesintili üretim kaynakları olan rüzgâr ve güneş santrallerinin tahmin sapmalarında elektrik üretiminin daha stabil olmasına yardımcı olması ve üretim tüketim dengesini sağlar. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının şebekeye maksimum kapasitede entegre edilerek sistemin kararlı işletilebilir olmasına olanak tanır [60].

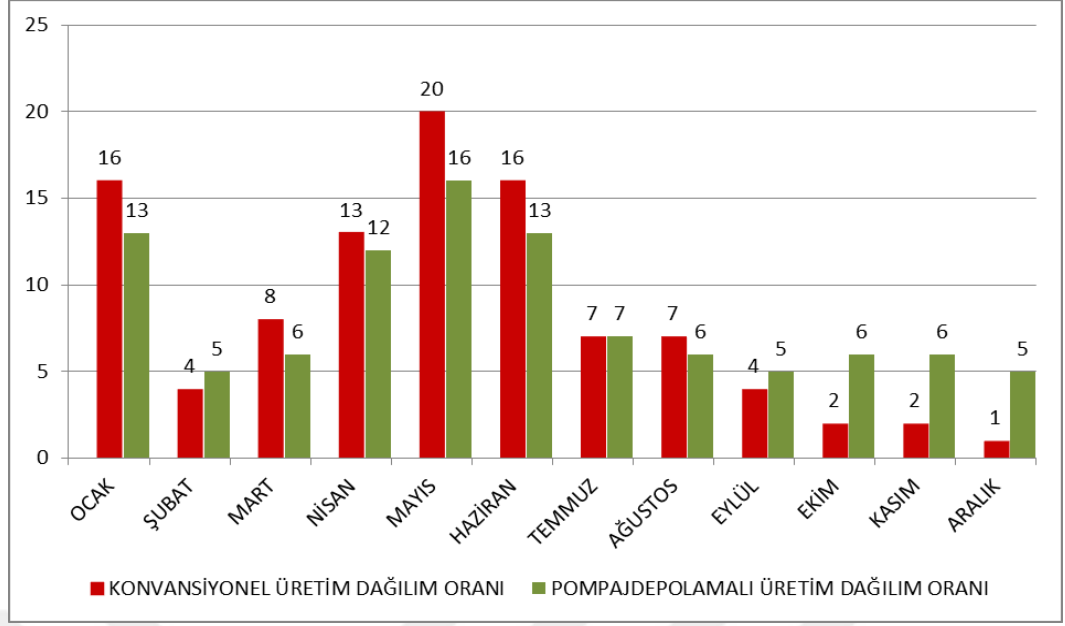
Temel dezavantajları, PDHES sisteminin coğrafi kısıtlamalarıdır. Bunlar, nispeten büyük su rezervlerine ve yeterli kapasiteyi sağlamak için alt ve üst rezervuarlar arasındaki büyük yükseklik değişimlerine duyulan ihtiyaç tarafından belirlenir. Suyun geriye pompalanması da üretilen elektriğin bir bölümünün tüketilmesine sebep olmaktadır. PDHES'de, geri pompalama maliyeti nedeniyle, çalışan tesislerin maliyeti daha yüksektir ve bu nedenle geleneksel bir hidroelektrik santrali ile

karşılaştırıldığında inşa edilmesi daha pahalıdır. Bir tesisin yapımı genellikle uzun yıllar sürer. İşletme ve bakım maliyetleri düşük olmasına rağmen, inşaat sektöründe yüksek sermaye yatırımı vardır. Bu sadece onlarca yıl boyunca iade edilebilir. Çevresel etkiler de ciddi kaygılardır ve bazı önerilen projelerin iptal edilmesine neden olmuştur. Geleneksel PDHES sistemlerinin yapımı genellikle rezervuarı oluşturmak için bir nehrin zarar görmesini içerir. Doğal akışın engellenmesi, su ekosistemini bozabilir, manzarayı değiştirebilir ve vahşi hayatı tehlikeye atabilir.

6.5 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Fonksiyonları

Genelde kullanım amaçlarına baktığımızda baz yük olarak çalışan kömür ve nükleer santrallerin üretim planlarını optimize etmek olarak kullanılmaktadır. PDHES'in sağlayacağı fonksiyonları şu şekilde sıralayabiliriz;

- Puant saatlerinde maksimum yükün ekonomik olarak karşılanabilmesine olanak sağlanması,
- Şebekedeki aşırı yük ve dengesizliklerin önlenmesi,
- Sistem minimum yükünü artırabilmesi,
- Tersiyer yedek kapasite tutabilmesi,
- Gerilim ve güç faktörünün düzeltilebilmesi,
- Oturan sistemin toparlanması sırasında sisteme katkı verebilmesi,
- Frekans regülasyonuna katılabilmesi,
- Güneş ve rüzgârdan elde edilen büyük miktarlardaki enerjinin depolanması,
- Sistem kayıplarının azaltılmasına destek sağlayabilmesi,
- Kararlı işleme katkı verebilmesi,
- Büyük kapasiteli santrallerin (Termik, Nükleer) devre dışı kalmaları veya kolay durdurulamama durumunda yedek güç teşkil etmesi,
- Güvenli bir güç kontrol sistemi tesis edilmesi.



Şekil 6.2 Pompaj depolamalı ve klasik HES’lerin yıllık enerji üretim oranlarının karşılaştırılması [61].

Şekil 6.2 de bir örnek santral üzerinden yapılan yıllık enerji üretim analizinde yaz ve kış ayları karşılaştırıldığında konvansiyonel enerji üretiminde mevsimsel şartlardan dolayı büyük fark aralıkları görülmektedir. Pompaj depolamalı sistem uygulandığında ise kış aylarındaki mevsimsel şartlardan dolayı kaynaklanan verimsizliğin büyük ölçüde azaldığı görülmektedir. PDHES santraller ile yıl boyunca üretilen enerjide kararlılık ve devamlılık sağlanmaktadır.

6.6 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik santrali sistemi, hidrolik enerji üretimi için kullanılan yöntemlerden biridir ve bir üst rezervuardaki suyun potansiyel enerjisi şeklinde enerji depolar, ikinci bir rezervuar daha düşük bir yükseklikte bulunur. Yüksek elektrik talebi dönemlerinde, depolanan su, türbinlerden geleneksel bir hidroelektrik santralle aynı şekilde serbest bırakılır.



Şekil 6.3 PDHES sistemi ve elemanları.

Genelde elektrik kullanımının az olduğu gece ve hafta sonları zamanlarında düşük maliyetle fazla enerji, suyu geri pompalayarak rezervuarı yeniden şarj etmek için kullanılır.

İki temel tip vardır:

1. Saf (veya akımdan arındırılmış) PDHES (kapalı döngü), tamamen enerji depolamak için bir üst rezervuar içine pompalanan suya dayanır.
2. Pompa-geri enerji santralleri olarak da adlandırılan Birleşik PDHES (açık döngü), enerji depolamak / bırakmak için elektrik üretmek için pompalanmış ve doğal akışlı suları kullanır.

Kapalı döngü sistemleri doğal olarak akan su özelliklerine sürekli olarak bağlı değildir; Açık döngü sistemleri ise sürekli olarak doğal akan su özelliğine bağlıdır.

Bazı alternatif ve yeni tasarımlar vardır:

Değişken Hız PDHES: Mevcut sistemlerin çoğu sabit hızlı pompa türbinleri ile donatılmıştır ancak sadece boşaltma modunda frekans regülasyonu sağlayabilirler pompalama modunda sağlayamazlar. Yeni değişken hız teknolojisi, tesislerin pompalama işlemi sırasında frekansını düzenlemesine izin verir. Japonya bu teknolojiye ticari kullanımda öncülük etmiştir.

Deniz Suyu PDHES: Japonyada bu sistemi Okinawa'da öncülük etti. Bu tesis, açık denizi daha düşük rezervuar olarak kullanır. Denizin üst rezervuar olarak kullanılmasını planlayan ve deniz seviyesinden 50 metre aşağıda bir tesis inşa ederek daha düşük bir yapı inşa eden Hollandalı danışmanlık şirketi (DNV KEMA) projesi de dâhil olmak üzere, bu teknolojiyle bağlantılı olarak yeni projeler önerilmiştir. .

Yeraltı PDHES'si: Araştırmacılar yeraltı mağaralarını daha düşük rezervuarlar olarak kullanma olasılığını öne sürmüşlerdir, ancak şimdiye kadar hiçbiri inşa edilmemiştir.

Denizaltı PDHES: Başka bir yenilikçi konsept, deniz rüzgar türbinlerinden elektrik depolamak için deniz altındaki su basıncını kullanmaktır.

6.7 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Teknik Parametreleri

PDHES sistemlerinin verimliliği oldukça farklılık gösterir (temel olarak tesislerin uzun kullanım ömrü nedeniyle). Gidiş-dönüş verimliliği - yani üretilen elektrik gücü, suyu pompalamak için kullanılan elektrik gücüne - eski tesislerde %50-60 civarındadır, ancak son teknoloji ürünü PDHES'de %80'in üzerinde olabilir.

Sistemin temel bileşenleri; Pompa, türbin, motor, jeneratörden oluşmaktadır. Sistem verimliliğini, sistemin kompaktlığını vb. ayarlamak için PDHES üç olası konfigürasyondan herhangi birini alabilir:

1. Dört ünite: Bir motora bağlı ayrı bir pompa ve bir jeneratöre bağlı ayrı bir türbin kullanılır. Bu yapılandırma büyük miktarda alan kaplar ve artık kullanılmamaktadır.
2. Üç ünite: Bir pompa ve türbin, her ikisi de tek bir geri dönüşlü motor/jeneratöre bağlanır. Pompa ve türbinin verimliliği optimize edilebilir ve çok kademeli pompalar çok yüksek pik seviyeleri için kullanılabilir.
3. İki ünite: Tersine çevrilebilir bir pompa/türbin, tersine çevrilebilir bir motor/jeneratöre bağlanır.

Bu yapılandırma diğer ikisine göre daha küçük bir alan kaplar ve daha düşük bir kurulum maliyeti vardır. Bununla birlikte, dezavantajı daha az verimle çalışmasıdır. Dünyadaki PDHES'in %95'inden fazlası bu tiptedir [62].

PDHES sistemi geri dönüş/çevrim verimliliği, üretirken sağlanan enerji ile pompalama sırasında tüketilen enerji arasındaki oran olarak tanımlanır. Bu

verimlilik, hem pompalama verimliliğine (η_p) hem de üretim verimliliğine (η_g) bağlıdır. Herhangi bir PDHES sisteminin (η_h) dönüş verimliliği, pompalama verimliliği ve üretim verimliliği ürünü olarak verilmiştir [62].

$$\eta_h = \eta_p \times \eta_g \quad (6.1)$$

Geri dönüş verimliliği genellikle %70-85 arasında değişmektedir.

PDHES, 90 saniye içinde çevrimiçi duruma getirilebilir ve 120 saniye içinde tam güçte çalışabilir. Ayrıca pompalamadan üretime veya üretimden pompalama moduna 180 ila 240 saniyede geçebilir [63].

6.8 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller İçin İstenen Site Özellikleri

Genel olarak, bir PDHES in inşaat alanı tepe veya dağ olmalıdır. Üst rezervuar tepenin üstünde, alt rezervuar tepenin dibindedir ve makinelerle birlikte elektrik santrali, alt rezervuarın yakınında olabilir.

Tepenin üstünde ve suyun depolanması için tepenin dibinde yeterli alan olmalıdır. PDHES'in uygun maliyetli inşaatı için, site aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır:

1. Jeolojik koşullar su sızdırmaz rezervuarlar için uygun olmalıdır.
2. Üst rezervuar ile alt rezervuar arasındaki dikey mesafe mümkün olduğunca yüksek olmalıdır.
3. Su borusunun uzunluğu (giriş tüneli, cebri boru ve deşarj tüneli) mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Bu, alt rezervuara sahip işletmeler için özellikle önemlidir.
4. Rezervuar sahaları (hem üst hem de alt) minimum kazı ve dolgu gerektirmelidir.
5. Güç istasyonu, yükleme merkezleri veya iletim koridorlarına makul olarak yakın yerleştirilmelidir.
6. Sosyo-ekonomik ve çevresel faktörlerin uygun olması gerekir.
7. Rezervuar inşası için yeterli topoğrafya şartlarının uygun olması gerekmektedir.
8. Eğer başka bir yenilenebilir enerji kaynağına entegre edilecek ise rüzgar veya güneş gibi, bu kaynaklara yakın olması daha avantajlıdır.

6.9 Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller İçin Rüzgâr-Güneş Hibrit Sistemleri

İklim koşullarının elverişli olması durumunda, güneş ışınımı ve rüzgar potansiyeli, bu aralıklı güç kaynaklarını pompaj depolamalı hidroelektrik santraller ile entegre ederek, düzgün ve sürdürülebilir bir güç üretimine sebep olacaktır. Rüzgâr ve güneş kaynaklarından elde edilen fazla enerji, alt rezervuardaki suyu üst rezervuardaki su haznesine geri pompalamak için kullanılacaktır. Bu sadece enerji santralının kapasitesini artırmakla kalmayacak, aynı zamanda güneş ve rüzgâr enerjisi üretiminin aralıklı yapısını da ortadan kaldıracaktır. Konvansiyonel pompalı depolama sistemi, hidroelektrik santralinden üretilen fazla enerjiyi kullanarak suyu üst rezervuara pompalamaktadır. Fakat yüksek potansiyele sahip güneş ve rüzgâr kaynaklarına sahip olan yerler için, hibrit sistemleri kullanan pompalar, tesis verimliliğini artıracak, yeşil ve sürdürülebilir enerji sağlamaya katkıda bulunacaktır.

G. Z. Chen ve ark., bir proje üzerinde rüzgar-güneş pompalama hibridinde, güç kaynağı sisteminde, pompalanmış depolama kapasitesini hesaplamışlardır. Bu hesaplamada bir şebeke için elektrik miktarı ve güç kalitesi sağlamada, rüzgar ve güneş enerjisi ile pompalanmış depolama sistemi hibridinin kullanılmasının yararını göstererek sonlanmaktadır. Sonuç olarak sabit ve sürekli güç çıkışı, elektrik kalitesinde artış ve güç kaynağının süresinin uzatıldığı tespit edilmiştir [64].

Ülkemiz 48.000 MW'lık bir rüzgâr enerjisi potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte rüzgârdan üretilen elektriksel gücün değişken ve kararsız karakterli olması gibi dezavantajları nedeniyle bu potansiyelin tamamının doğrudan enterkonnekte sistemde kullanılması mevcut elektrik şebekesi şartlarında mümkün görünmemektedir. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalar rüzgâr enerjisinin elektrik şebekesine entegrasyonundaki problemlerin giderilmesi için enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyulacağını ortaya konulmuştur [65]. Dünyada son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarının sistem içerisindeki payının artmasına yönelik çalışmalar PDHES'lere olan ilgiyi artırmıştır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının gün içerisindeki payının planlanandan fazla olması veya düşük olması durumunda fazla olan gücün depolanmasında veya eksik olan gücün tamamlanmasında PDHES'ler dünyada bilinen en iyi, en uygun ve en çok kullanılan sistemler olarak karşımıza

çıkılmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik santrallerin artması ile birlikte PDHES'ler bu santrallerin şebekedeki bozucu etkilerini gidermek için gün içinde pek çok kez pompa ve türbin modunda çalışabilmektedir [66].

Günümüzde dünya enerji talebinin büyük bir kısmı fosil (kömür, doğal gaz vb.) ve nükleer yakıtlardan karşılanmaktadır. Yenilenebilir kaynaklardan enerji üretiminde kullanılan en yaygın yöntemler ise hidroelektrik, rüzgâr ve güneş enerjisi sistemleridir [58].

Rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının gün boyunca üretimleri önemli miktarda değişkenlik göstermektedir. Çoğu bölgede rüzgâr kaynakları gece boyunca ve elektrik talebinin düşük olduğu zamanlarda elektrik üretimi için daha uygun olmaktadır. Enerji depolama tesisleri rüzgârın en uygun olduğu gece boyunca rüzgârdan üretilen elektriği depolamakta, elektrik talebin fazla olduğu zamanda elektrik üretmektedir. Dolayısıyla dünyada yenilenebilir enerji kaynaklı elektrik üretiminin artışı ve bu kaynakların değişken üretimi nedeniyle büyük kapasitede enerji depolama sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Dolayısıyla PDHES'lerin rüzgâr ve güneş kurulu gücünün yoğun olduğu bölgelerde kurulması ilave fosil yakıt kaynaklı santrallere ihtiyacı azaltıp sistemin kararlılığına katkı sunmaktadır [58].

Buna ilaveten tüketim merkezlerine yakın yerlerde kurulması durumunda iletim kayıplarını azaltmakta ve iletim sistemi yatırımlarını azaltıcı etkisi de görülebilmektedir [67].

Ayrıca, elektrik talebinin düşük olduğu zamanlarda elektrik enerjisi şebekeye verilemediğinden, santraller düşük kapasitede çalıştırılmak zorunda kalmaktadır. PDHES ile diğer santraller tam kapasitede çalıştırılarak arz fazlası enerji depolanabilmektedir. PDHES'ler hidrolik, termik, nükleer ve rüzgâr santrallerinden kurulu enterkonnekte sistemin günlük, haftalık veya sezonluk işletme şartlarını düzenlemektedir. Normal hidroelektrik santrallerde olduğu gibi, talebin az olduğu ve ilave enerji üretimine gerek olmadığı durumlarda sistem durdurulabilir. PDHES'ler, yenilenebilir enerji kaynaklarından üretilen enerjinin güvenilir hale getirilmesi amacıyla güneş ve rüzgâr enerjisi gibi kesintili üretim yapan enerji santrallerine entegre edilebilmektedir. Entegre sistemlerin inşası ile uzun dönem arz güvenilirliğine destek olabilmektedir [58].

Hava koşullarına göre en çok değişkenlik gösteren kapasite rüzgâr kapasitesidir. Rzgrın esme durumuna göre emreamade kapasite çok kısa zaman aralıkları içinde çok büyük değişkenlik gösterebilmektedir. Rüzgâr kapasitesinde emreamade kapasitesi aylar içinde çok büyük değişkenlik göstermekte, bazı aylarda rüzgâr emreamade kapasitenin toplam rüzgâr kurulu gücüne oranı sıfıra kadar düşerken bazı dönemlerde kurulu gücün tamamına kadar yükselebilmektedir [68].

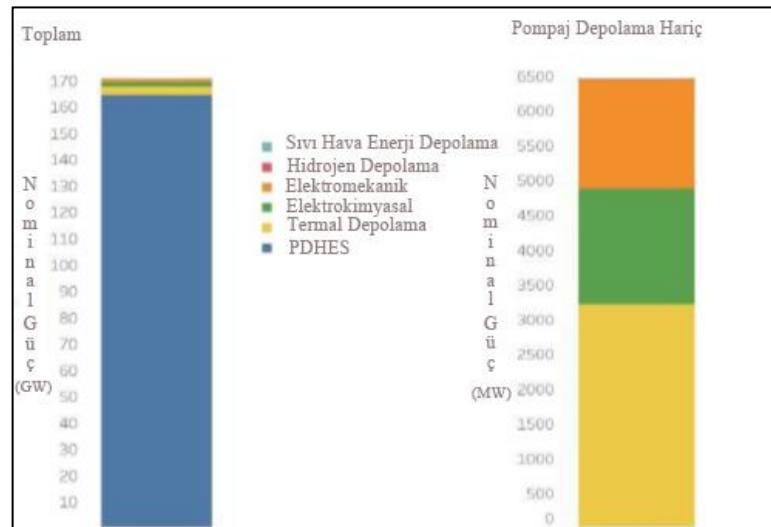
Bununla birlikte son yıllarda PDHES'lerin RES'ler ile beraber işletilmesi konusunda birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan bu çalışmalar neticesinde PDHES'lerin rüzgâr enerjisinin değişken ve kararsız üretimini daha sürekli ve kararlı hale getirme amaçlı kullanılabileceğini ortaya konulmuştur. Örneğin Almanya'da yapılan bir çalışma göstermiştir ki bir saatlik rüzgâr tahminindeki hata 5-7 GW elektrik ihtiyacı oluşturabilmektedir [58].



7. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN DÜNYADAKİ DURUMU

Pompaj depolamalı hidroelektrik santraller 1890'lı yıllardan beri kullanılmaktadır. PDHES'lerin dünyadaki yapılış amaçları incelendiğinde;

- Puant talebin karşılanması,
- Güvenli bir güç kontrol sistemi tesis etmek, şebekedeki aşırı yük ve dengesizliklerin önlenmesi,
- Frekans kontrolü yapmak,
- İletim şebekesinde gerilim kontrolü,
- Güneş ve rüzgârdan elde edilen büyük miktarlardaki enerjinin depolanması için bir alternatif teşkil etmek,
- Black-Start kapasitesi,
- Büyük kapasiteli santrallerin (termik, nükleer) devre dışı kalmaları veya duruşa geçiş süresince yedek güç veya tüketim noktası olarak planlanmasıdır.

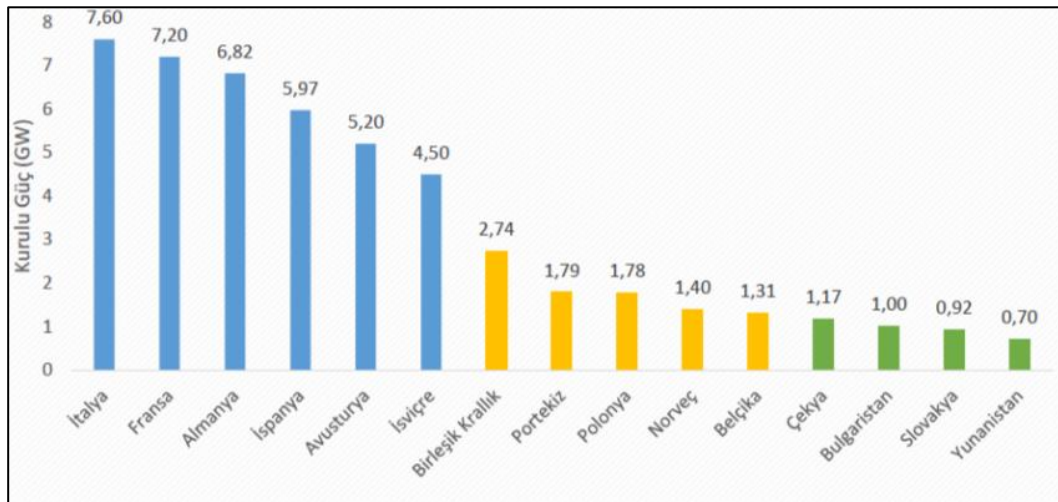


Şekil 7.1 Dünyadaki enerji depolama sistemlerinin kullanımı [69].

Enerji depolama sistemlerinde uluslararası yenilenebilir enerji ajansı Mayıs 2017 verilerine baktığımızda dünyada %97'lik seviyeyle pompaj depolamalı hidroelektrik santraller yer almaktadır. Dünyadaki 176 GW depolanan enerjinin yaklaşık 169 GW'ı PDHES'de bulunmaktadır [70].

PDHES'lerin dünyadaki durumuna bakıldığında; yaklaşık olarak 140.000 MW'ın üzerinde kurulu güç ile 42 ülkede işletmededir. Bu ülkeler arasında 27.637 MW'lık kurulu güç ile Japonya ilk sırada yer almaktadır. Bu güç Japonya'nın toplam kurulu gücünün yaklaşık %10'una karşılık gelmektedir. ABD'de 23.618 MW, Avrupa ve İskandinavya'da 53.000 MW kurulu PDHES vardır. Çin'in mevcut PDHES kurulu gücü 23060 MW olmakla birlikte PDHES potansiyeli hızla artmakta ve yakın gelecekte dünya ülkeleri arasında ilk sırayı alması beklendiği ifade edilmektedir. Elektrik enerjisinin %99'unu hidrolik kaynaklardan elde eden Norveç'te yaklaşık 1.400 MW kurulu güçte PDHES işletmededir. PDHES'ler gelişmiş ülkelerin yanı sıra gelişmekte olan ülkelerde de planlanmakta ve işletmede olduklarını görüyoruz. Bu duruma en iyi örnek komşumuz İran'da şu sıralarda işletmeye girecek olan 1040 MW kurulu güçteki Siah Bishe PDHES'dir [29,71].

Bölgesel olarak değerlendirdiğimizde 2016 yılında Afrika'da 2,044 MW, Güney ve Orta Asya'da 7,426 MW, Doğu Asya ve Pasifik'te 60,424 MW, Güney Amerika'da 1,004 MW, Avrupa'da 50,949 MW, Kuzey ve Orta Amerika'da ise 22,618 MW kurulu PDHES bulunmaktadır [29,72].



Şekil 7.2 Avrupa-pompaj depolamalı HES kurulu gücü (2016) [71].

Pompaj Depolama Hidroelektrik Santraller (PDHES) Avrupa'da 1970'lerden beri devrededir. 2011 yılında Avrupa'da faaliyet gösteren yaklaşık 170 PDHES bulunmaktadır. Bu santallerin %50'den fazlası Almanya, İtalya, İspanya ve Fransa'da bulunmaktadır. Avrupa'da ki PDHES'leri kurulu güç ve kapasite faktörlerine göre sınıflandırdığımızda 7.6 GW ile İtalya başta olmak üzere Fransa, Almanya, İspanya, Avusturya ve İsviçre yüksek kurulu güç grubuna dahil olmaktadır. Orta kurulu güç grubunda ise Birleşik Krallık, Portekiz, Belçika, Polonya, Norveç bulunmaktadır. Düşük kurulu güç grubunu ise Çekya, Bulgaristan, Slovakya, Yunanistan oluşturmaktadır. Avrupa'nın toplam pompaj depolamalı hidroelektrik santral kurulu gücü yaklaşık olarak 50 GW civarındadır. Avrupa'da yeni pompalanan depolama tesislerinin inşaatı hızla devam ediyor. 2012 yılında, Alman Thüringen eyaleti, toplamda 5.1 GW potansiyele sahip 13 pompalı depolama projesi alanı tespit etti. İsviçre'de toplam 4 GW kapasiteli altı proje planlanmaktadır veya yapım aşamasındadır [29,70,71].

En eski pompalanan depolama tesisleri Almanya ve İsviçre'de ve ortalama olarak tesisler 30 yaşından büyük olmaktadır. Önümüzdeki 10 yıl içinde, Avrupa'da hem sayı hem de kurulu kapasite bakımından diğer on yıldan daha fazla pompalanan depolama tesisi inşa edileceği öngörülmektedir. Toplamda Avrupa genelinde yaklaşık 27 GW kurulu güce sahip yaklaşık 60 tesis inşa edilmesi tahmin ediliyor. Bu mevcut şu anki tesislerin yaklaşık % 50'sini temsil etmektedir [70,71,72].

Avusturya ve İsviçre'nin her ikisi de pompalanan depolama tesislerinde yaklaşık 5 GW kurulu güce sahiptir. Bu ülkelerin kapasiteleri 2020 yılının sonunda neredeyse iki katına çıkacaktır. Doğal ön koşullar PDHES tesislerinin daha da genişletilmesi için gerekli yeterliliğe sahip olduğu görülmektedir. Ve ülkeler Avrupa'nın merkezinde yer aldığından, komşu ülkeler için PDHES'ye yatırım yapmak caziptir.

İskandinav ülkelerinde var olan geleneksel hidroelektrik santralleri ülkelerin enerji talebini karşıladığı için PDHES'lere ihtiyaç görülmemektedir. Fakat üretilen enerjinin Almanya'ya aktarımı için bazı PDHES'ler yapılması planlanmaktadır.

AB ve ulusal yönetmeliklerde PDHES'lere yönelik düzenlemelerdeki yetersizliklere bakıldığında;

- AB yenilenebilir enerji direktifine göre PDHES'lerin yenilenebilir enerji kaynağı sayılmaması nedeniyle yenilenebilir teşviklerinin dışında kalması,
- PDHES'ler için diğer üretim teknolojileri ile aynı kuralların geçerli olması,
- Birçok ülkede iletim sistemi tarifelendirilmesinin çift yönlü yapılması (üretim sırasında veriş, pompaj sırasında çekiş tarifesi)
- Dengeleme ve yan hizmetler piyasasına katılım şartlarında farklılıklar gibi maddelerin yer aldığı görülmektedir [73].

Yenilenebilir enerji kaynaklarının penetrasyonu ve fosil yakıtlara yönelik artan çevresel şüpheler, PDHES gelişimi için temel faktörlerdir. Pompalanan depolama pazarının önümüzdeki beş yıl içinde %60 büyüyeceği tahmin ediliyor ve her yıl ortalama 7,5 GW ek pompalanan depolama kapasitesi sipariş ediliyor. Piyasanın %65'inin Çin'den gelmesi bekleniyor. Pazarın yaklaşık% 20'sini oluşturan Avrupa'da, fırsatlar çoğunlukla Alp bölgelerine İsviçre, Avusturya, Almanya, İspanya ve Portekiz'e odaklanmıştır [73].

7.1 Dünyadaki Bazı Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerden Örnekler

Japonya çevresi denizlerle kaplıdır ve topoğrafyası, deniz suyuyla pompalanan saklama tesislerinin yapımı için oldukça uygundur. Okinawa dünyanın ilk deniz suyu pompalı depolama tesisidir. Proje 26 m³/s'lik debi, yükseklik 136 m ve kurulu güç 30 MW'dır. İstenilen karı elde edemediğinden dolayı tesis 2016 da sökülüştür.



Şekil 7.3 Japonya- Okinawa PDHES [73].

Ludington PDHES Amerika'da 1969 ve 1973 yılları arasında kurulmuştur. 34 m derinliğe, 4 km uzunluğa ve 6 km uzunluğa sahip, Michigan gölü kıyısında 100 milyon m³ hacimli bir rezervuardan oluşur. Toplam kurulu güç 1872 MW, her biri 312 MW gücündeki 6 tersinir türbin ve 340 m uzunluğunda 6 boru vardır.

Elektrik tüketiminin düşük olduğu gece saatlerinde su Michigan'daki gölün 110 m üzerindeki rezervuara pompalanır. Tüketilen yoğun dönemlerde, türbin suyu ile elektrik üretilir. Elektrik üretimi 2 dakika içinde başlar ve maks. 1.8 milyon kW'lık bir güce ulaşır. Türbin maksimum akış hızı 125 m³/s'dir. Bu proje, 1973 yılında Amerikan İnşaat Mühendisleri Topluluğu tarafından Civil Engineering Olağanüstü İnşaat Mühendisliği Başarı ödülüne layık görülmüştür [74].



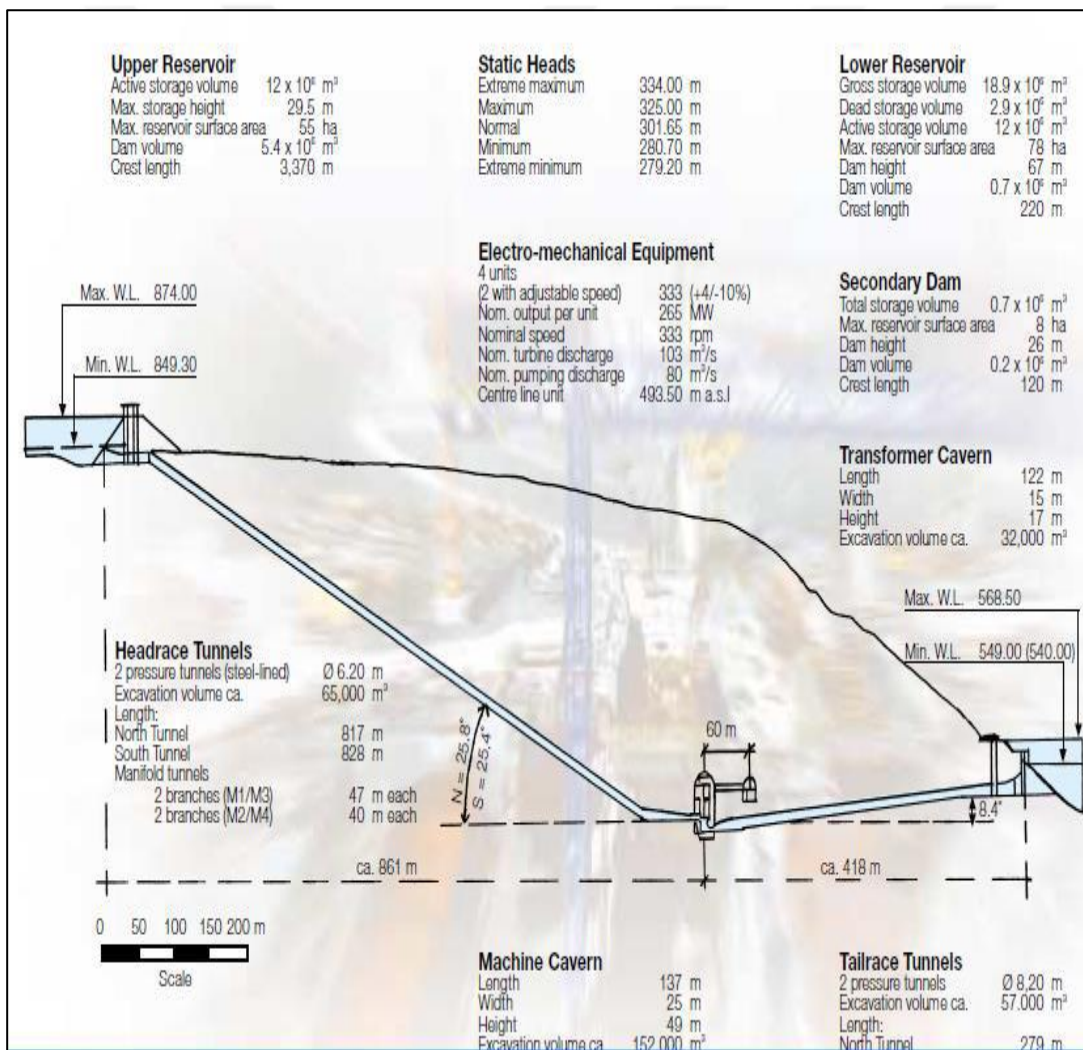
Şekil 7.4 Amerika – Ludington PDHES [74].



Şekil 7.5 İtalya - 1992 Presenzano PDHES (1000 MW) [75].

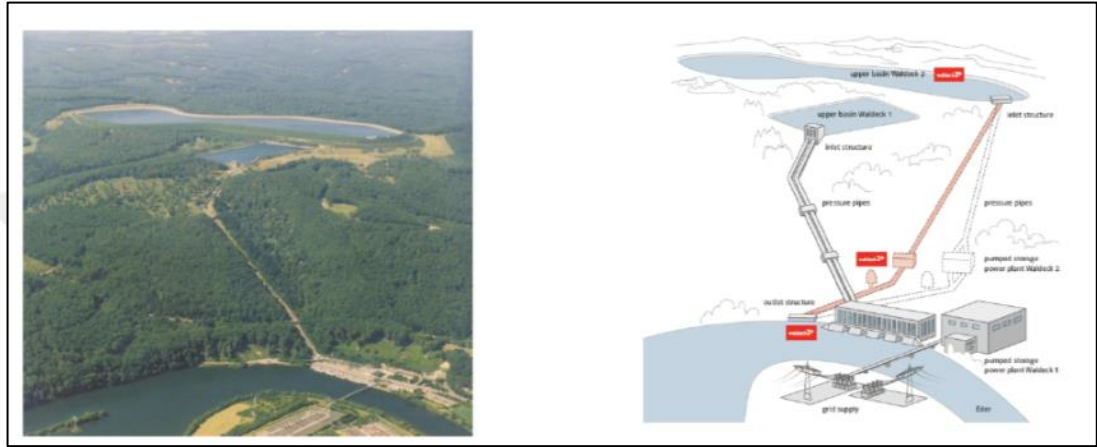


Şekil 7.6 Almanya -2004 Goldisthal PDHES (300 MW) [76].

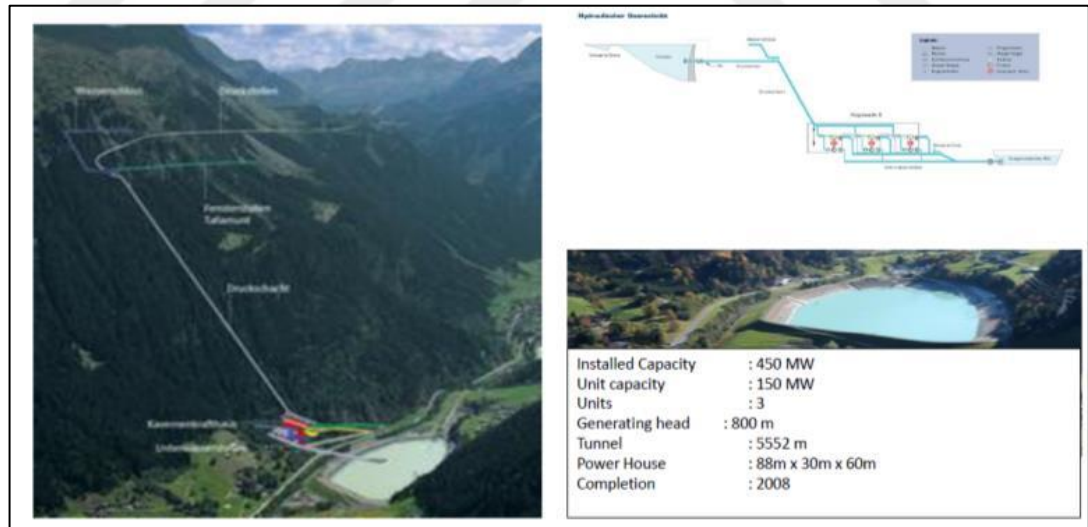


Şekil 7.7 Almanya -2004 Goldisthal PDHES (300 MW) [76].

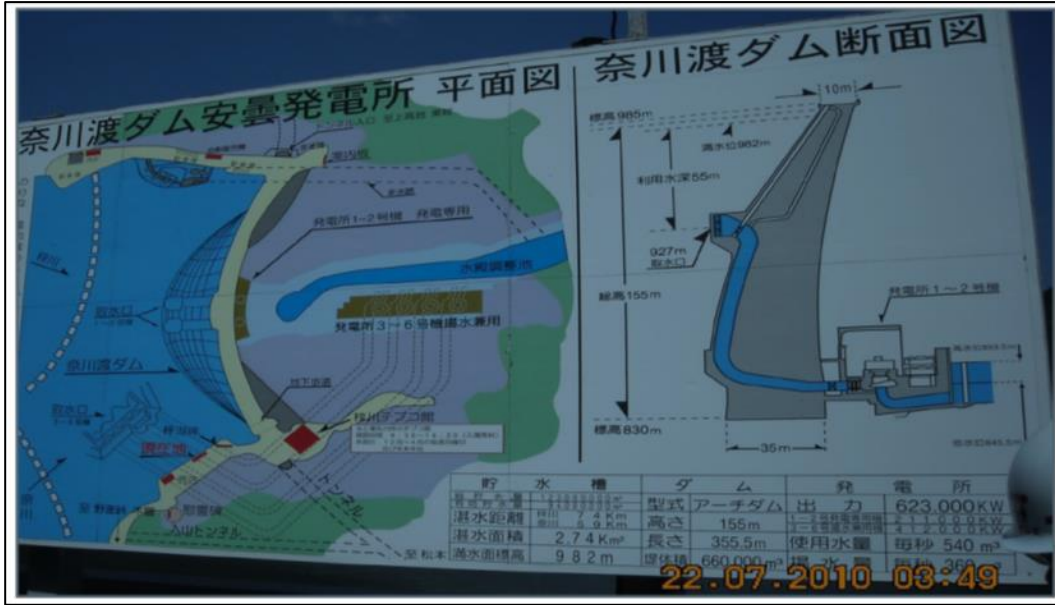
Almanya'da 1932'de inşa edilen Waldeck I adlı PDHES'in yenilenmesi 2009'da tamamlandı. Santralin üst seviye havuzunda 65000 m³ hacim baraj var. Eski tasarım dört pompa ve dört türbin içerir. Yeni projede ise dört pompa ve iki türbin devre dışı bırakılarak, 70'er MW gücündeki iki Francis turbini yenilenmiştir. Ayrıca santrale pompa/türbin olarak çalışan 80 MW gücünde bir hidrolik makina yerleştirilerek santralin çevrim verimi %63 den %75'e çıkarılmıştır. Bunu gerçekleştirebilmek için sisteme bir cebri boru ilavesi yapılmıştır [75].



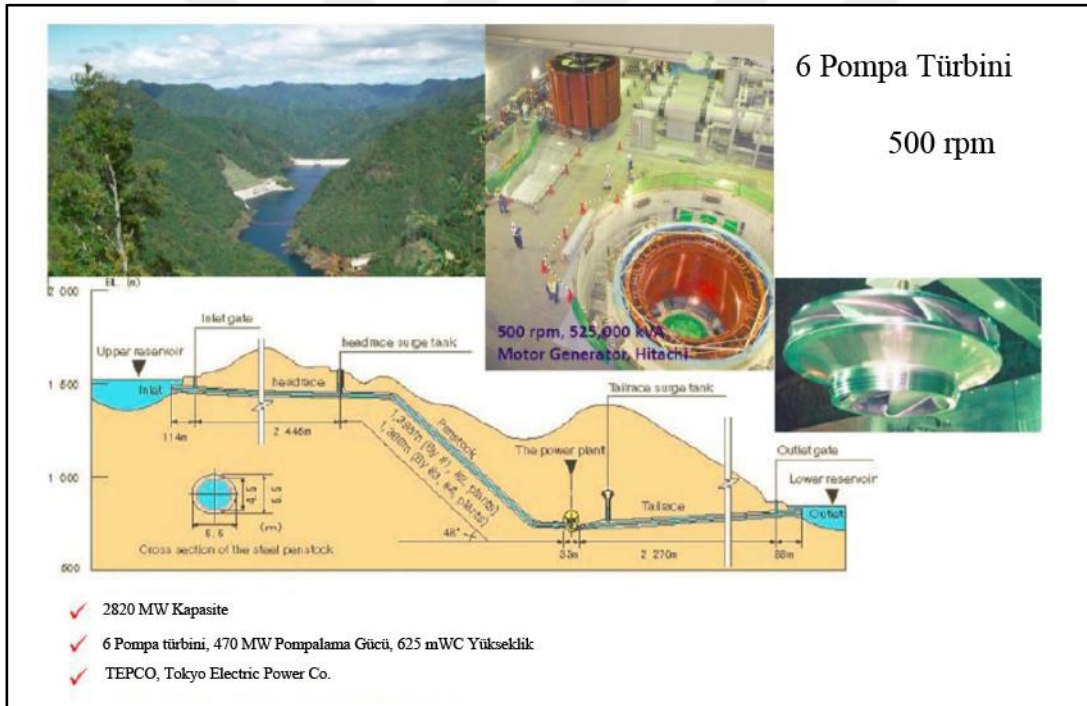
Şekil 7.8 Almanya Waldeck I PDHES 120 MW, Waldeck II PDHES 480 MW [75].



Şekil 7.9 Avusturya - 2008 Kopswerk-2 PDHES (450 MW) [75].



Şekil 7.10 Japonya- örnek HES ve PDHES su alma yapıları [77].



Şekil 7.11 Dünyanın en büyük PDHES'i [62].

Dünyanın en büyük PDHES'i Şekil 7.11'de gösterilen 2005 yılında işletmeye alınan Japonya'daki Kannagawa'dır. Tesiste her biri 470 MW gücünde altı adet pompa türbin vardır. Cebri boruların çapı 4,5 m olup aşağı gölet türbin çıkışından (pompa girişinden) daha yukarıdadır. Bu sayede pompa modunda çalışırken emiş yapabilmektedir. Düşü değeri göletler arasından yükselti farkı 625 m olan sistemin

pompa/türbinlerinde, Şekil 7.11'de de görüldüğü üzere Francis tipi çarklar kullanılmaktadır. Söz konusu tesisin sahibi olan bir Japon firması, ülkemizdeki Gökçekaya HES'inin PDHES'e dönüştürülmesi çalışmalarına da destek vermektedir [62].

İngiltere'nin 1890 MW kurulu güce sahip en büyük pompa sistemi olan Dinorwig tesisi 1984 yılında işletmeye girdiğinde dünyanın en yaratıcı mühendislik ve çevre projesi olarak kabul edilmiştir. Hala Avrupa'nın en büyük tesisidir ve bugün iş dünyasında özellikleri ve azami yükleme düzenleyici özelliği ile tanınmaktadır. Tesisin 6 türbin jeneratörü Avrupa'nın en büyük yapay mağarada duruyor. Geri döndürülebilir pompalar/türbinler 16 saniyelik kısa bir süre içerisinde tam kapasiteye geçebilir [62].

7.2 Dünyada PDHES'lerin Geleceği

Hidroelektrik santraller sistemde elektrik arzı ve talebi arasındaki farkı dengelemekte olup bu santrallerin öneminin gelecekte daha da artması beklenmektedir. Ayrıca gelecekte rüzgâr, güneş gibi değişken üretim kapasitesine sahip yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının artmasıyla önümüzdeki yıllarda elektrik sistemi elektrik tüketimiyle birlikte artan değişken elektrik üretimini de ayarlamak zorunda olacaktır. Bu anlamda kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının piyasadaki payı arttığında, enerji depolamaya olan ihtiyaç da artabilecek ve dolayısıyla bu durum önümüzdeki dönemde PDHES gelişimini arttırıcı rol üstlenebilecektir [58].

Enerji depolama sistemleri, kesintili yenilenebilir enerjiye yedek sağlayarak, şebekede eksik veya fazla enerjinin dengelenmesini temin ederek, yenilenebilir enerjinin piyasaya girişini kolaylaştırmakta, elektrik iletim ve dağıtım sisteminin daha verimli ve güvenli işletilmesine katkı sunabilmektedir. Aynı zamanda enerji arzında güvenliği sağlarken, elektrik piyasasında fiyat istikrarına katkısı olmaktadır. Günümüzde AB enerji sisteminde toplam kurulu kapasitenin %5'i kadar depolama kapasitesi bulunmaktadır. Bunun da önemli bir kısmını PDHES'ler oluşturmaktadır. AB'nin, 2020 yılına kadar yenilenebilir enerjinin payını %20'ye çıkarma hedefi vardır. Bu oranın önümüzdeki yıllarda sera gazları yayılımını azaltma hedefi doğrultusunda daha da arttırılabileceği düşünülmektedir. Yüksek miktardaki kesintili

enerjiyi sisteme dahil etmek için, elektrik sisteminin üretim ve tüketimi dengeleyen bir yapıda olması gerekmektedir. Şebekede bu esnekliği sağlamanın bir yolu da PDHES'lerdir. Yapılan tahminlere göre 2020 yılına kadar Avrupa'da yaklaşık 27 GW kurulu gücünde 60'dan fazla yeni PDHES önerilmektedir. Bu var olan PDHES kapasitenin yaklaşık yarısını oluşturmaktadır. Aynı zamanda 26 milyar Euro yatırım anlamına gelmektedir [58].

ABD PDHES konusunda çalışmalarını artırma eğilimindedir. 2014 yılında ABD Federal Enerji Düzenleme Komisyonu (FERC) iki yeni PDHES'in yapım ve işletme lisanslarını yayımladı. Ayrıca 40'ın üzerinde PDHES projesinin fizibilite çalışmalarına devam edilmektedir [58].

Çin, PDHES kurulu güç kapasitesini 2020'de 70 GW, 2050'de ise 150 GW'a ulaştırmayı hedeflemektedir. Yapım aşamasında olan Fengning PDHES tamamlandığında ise 3.600 MW kurulu gücüyle dünyanın en büyük PDHES'lerin biri olacaktır. Çin artan enerji talebini karşılarken sera gazı emisyonlarını da azaltmaya çalışmaktadır. Ayrıca dünyanın en büyük güneş-hidro elektrik hibrit sistemini kurmuştur, 320 MW fotovoltaiik ve full entegre 1.280 MW hidro pik santralini kurmuştur. Dünya geneline baktığımızda ise yapım aşamasında olan 26.231 MW kurulu gücünde 32 adet PDHES bulunmaktadır.

Bununla birlikte çoğu geleneksel hidroelektrik santralinde yeniden mühendislik çalışmaları yapılabilir ve güneş panelleri, rüzgâr türbinleri gibi kesintili yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı için kombine PDHES yapılabilir. Doğal gaz fiyatları, PDHES geleceğinde diğer bir etmendir. Çünkü PDHES temelde puant yük teknolojisi ve direkt olarak gaz yakıtlı santrallerle rekabet etmektedir. Ayrıca düşük ve yüksek tahmin senaryolarına göre yenilenebilir enerjinin payı arttıkça PDHES kapasitesinin de artacağı görülmektedir.

8. POMPAJ DEPOLAMALI HİDROELEKTRİK SANTRALLERİN TÜRKİYE'DEKİ DURUMU

2015 yılındaki elektrik üretimi 2014 yılına göre %3 artarken, elektrik tüketimi ise %2,6 artmıştı. 2016'da ise ülkemiz hem elektrik üretimi ve hem de tüketimi 2015'e göre %5 artış gösterdi. 2017'de ise 2016'ya göre elektrik üretimi %8,4; elektrik tüketimi %6,5 arttı.

Ülkemiz enerji ihtiyacının karşılanması için enerji üretiminde yerli ve özellikle yenilenebilir kaynak payının artırılması yönünde ciddi bir dönüşüm sürecine girmiş bulunmaktadır. Her ülkenin enerji politikası kendi kaynak potansiyeli ile arz ve talep değerlerine uygun olmalı; teknoloji uluslararası olsa da enerjide politika kesinlikle milli olmalıdır. Ülkede hedeflenen büyümenin sağlanması için enerji sektöründe büyük yatırımları öngören uzun vadeli bir enerji projeksiyonu vardır [36].

Çizelge 8.1 2017 yılı kaynaklara göre kurulu güç kapasitemiz ve üretim miktarı [78].

KAYNAK		KURULU KAPASİTE (MW)			ÜRETİM MİKTARI (GWh/yıl)		
HİDROLİK	Depolamasız	7.016	%8.3	27.311	19.913	%5.8	58.141
	Depolamlı	20.295	%23.8	(%32.1)	41.228	%14.0	(%19.8)
TERMİK	Doğalgaz	26.637	%31.3	46.926 (%55.1)	108.78	%37.1	209.560 (%71.5)
	Kömür	18.566	%21.8		2	%32.7	
	Diğer	1.723	%2.0		95.913	%1.2	
RÜZGAR		6.516	%7.6	6.516 (%7.6)	17.755	%6.1	17.755 (%6.1)
JEOTERMAL		1.064	%1.2	1.064 (%1.2)	5.287	%1.8	5.287 (%1.8)
GÜNEŞ		3.421	%4.0	3421 (%4.0)	2.472	%0.8	2.472 (%0.8)
TOPLAM		85.238	%100		293.216	%100	

Ülkemizin elektrik üretim öngörüsü 2018'de 310 milyar kWh, 2020'de 350 milyar kWh, 2023'te 400 milyar kWh, 2030'da 580 milyar kWh, 2025'de 450 milyar kWh, 2040'da 850 milyar kWh olarak tahmin edilmektedir [36].

Hâlihazırda ülke elektrik kurulu gücü 85.000 MW civarında olup 2023 hedefi 90.000 MW'ı geçmek ve 100.000 MW'a yaklaşmaktır. 85.500 MW'lık kurulu güç 5400 adet santralle karşılanmaktadır. Serbest üretim şirketlerine ait olan 1138 santralin toplam kurulu gücü 52.427 MW olup Kurulu gücün 27.311 MW'ı HES (19.881 MW'ı 119 adet barajlı HES olup 7.573 MW'ı 519 adet nehir santralidir.), 6.516 MW'ı RES, 3.421 MW'ı GES, 1.064 MW'ı JES, 505 MW'ı biyokütle santralidir. Yenilenebilir toplamı: 39.411 MW olup bu değer ülkemizin toplam kurulu gücünün %61'idir [79].

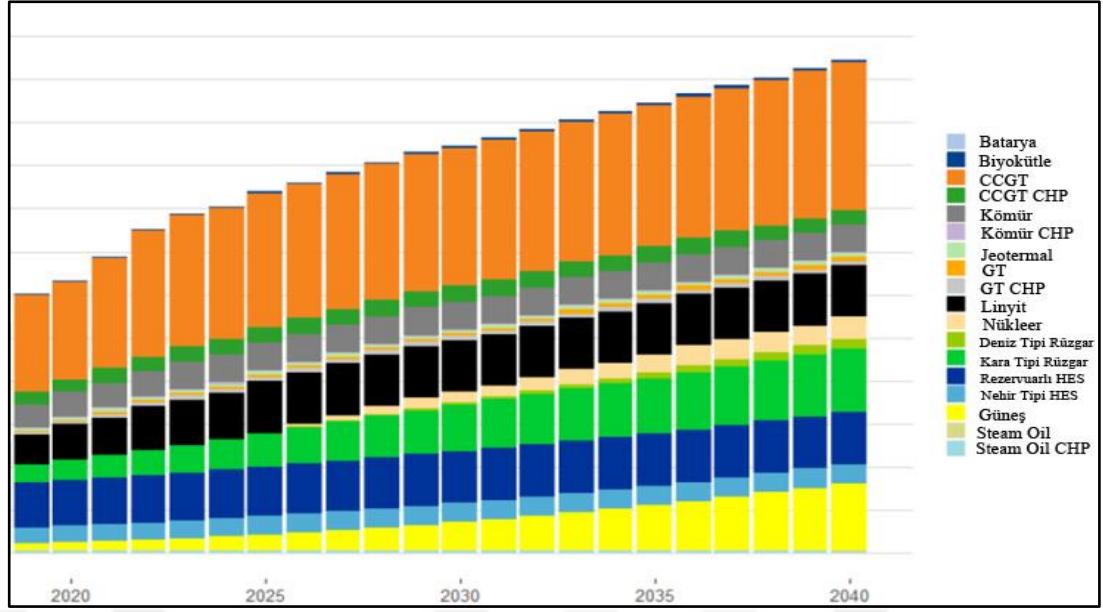
Pompaj depolamalı HES'ler tüm Dünyada etkin olarak kullanılmakta ve ülkelerin enerji sistemleri açısından adeta bir sigorta görevi üstlenmektedir. Ülkemizdeki pik talebin karşılanma ve sistem güvenliğinin sağlanması açısından da Pompaj depolamalı HES projelerine ilişkin gerekli çalışmalara hız verilmesi gerekmektedir. Milli elektrik sistemimiz için pompaj depolamalı HES katkısı önemlidir [73].

2016'da ülke elektrik üretiminde kömürün payı %33; doğal gazın payı %32.7; hidrolik enerjinin payı %24.8 oldu. Üretimde rüzgar %5.7; jeotermal %1.6 ; güneş %0.34 pay aldı [79].

2017'de ülke elektrik üretiminde kömürün payı %33.01 ; doğal gazın payı %37.89 ; hidrolik enerjinin payı %20.05 oldu. Üretimde rüzgar %6.11 ; jeotermal %1.82 ; güneş %1.01 pay aldı.

2017 gibi yağışların az olduğu bir yılda bile HES'lerin üretimde %20'lik bir pay alması ülke enerji talebinin karşılanması yolunda milli ekonomimize muazzam bir katkı sağlamıştır. Ülkemizde artan puantın karşılanmasında, 2017 yılında da olduğu gibi depolamalı HES'lerin çok büyük katkısı olmaktadır. PDHES'ler ülke HES depolama kapasitesini artırarak puant saatlerde sistem talebinin daha ekonomik olarak sağlanmasına katkı sağlayacaktır.

Ülkemizde elektrik talebinin son yıllarda %20-25'ini karşılayan HES'ler enerji ve elektrik arz güvenliğinin temininde büyük öneme sahiptir.



Şekil 8.1 2017 – 2040 üretim kapasitesi projeksiyonları [79].

Türkiye'nin enerji tüketimi hız kazanmakta ve konvansiyonel enerji üretim santrallerinin yanı sıra rüzgâr ve güneş santralleri gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının büyük kapasitede yaptırılması teşvik edilmektedir.

2040 yılında ilave üretim kapasitesinden yarıdan fazlası yenilenebilir kaynaklı (Rüzgâr ve Güneş) olacak ve Doğalgaz ile Depolamalı HES kapasiteleri istikrarlı bir şekilde büyüyecektir.

Türkiye Kurulu Gücü 2040 yılına kadar ikiye katlayacaktır. Bu artışta Güneş (PV) hızla gelişen teknolojisi ile öne çıkacak, kara rüzgâr santralleri (offshore) ise en yüksek artışı gösterecektir (birlikte 2040 yılı Kurulu Gücünün 1/3'ünü oluşturacaklardır).

Barajlı HES'ler incelenen süre içerisinde %20'lik bir büyüme gerçekleştirecektir.

PDHES'ler ile yenilenebilir enerji kaynaklarını da azami seviyede şebekeye entegre etme imkanı sağlanacaktır. Türkiye'nin önündeki zorlu görev fasıllı ve yüksek kapasiteli rüzgâr ve güneş enerjisini dengelemektir.

8.1 Türkiye Elektrik Tüketimi Ve Puant Talep

Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PDHES) temel olarak pompaj tüketimleri sayesinde, enerji talebinin düşük olduğu saatlere yükün kaydırılmasını

sağlayıp su depolamakla birlikte enerji talebinin peak yaptığı saatlerde rezervuarına biriktirdiği suyu kullanarak sistem dengesine katkı sağlamayı hedefleyen çalışma prensiplerine sahiptir. Teknik olarak puanta katkı sağlamayı hedefleyen PDHES'lerin bu işlemi gerçekleştirirken ilk yatırım maliyetleri, pompaj tüketim maliyetleri, üretim maliyetleri, bakım onarım maliyetleri ile sabit işletme maliyetlerini göz önünde bulundurarak maksimum karlılıkla elektrik piyasalarında işlem yaparak zarar etmemesi önem arz etmektedir.

Türkiye elektrik piyasası referans fiyatının (Piyasa Takas Fiyatı-PTF) belirlendiği Gün Öncesi Piyasasında, talebin ve fiyatların düşük olduğu günün ilk saatlerinde sistemden alış yapılarak pompaj tüketimde kullanılması ve pompalama sonucu biriktirilen suyun enerjiye dönüştürülerek talebin ve fiyatların yüksek olduğu puant saatlerde üretim yapılması beklenmektedir.

Çizelge 8.2 Talebin en az ve en fazla olduğu saatler arasında ortalama PTF [80].

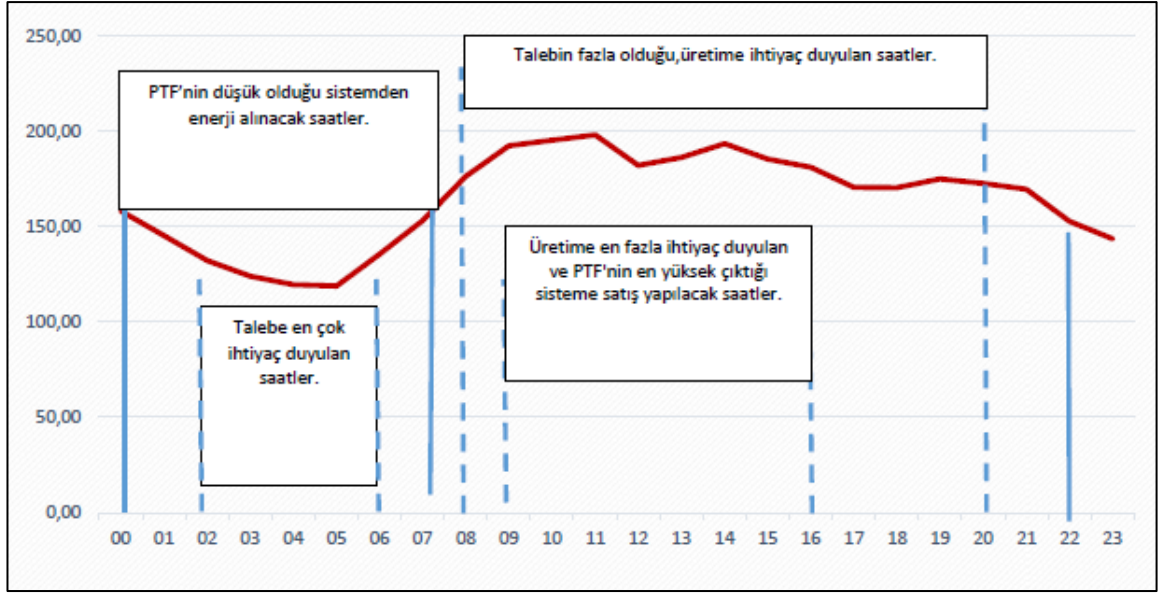
Yıllar/Ortalama PTF(TL/MWh)	02:00-06:00	09:00-16:00	Fark
2012	104,46	171,88	%60,77
2013	104,9	175,04	%59,92
2014	126,04	184,99	%68,13
2015	89,39	165,65	%53,96
2016	84,46	174,14	%48,50
2017	126,04	189,26	%66,59

02:00-06:00 saatleri arasında 2014 yılında 129,04 TL/MWh ile en yüksek değeri gören PTF ortalaması 2016 yılına kadar kademeli olarak azalarak 84,46 TL/MWh olmuştur.

09:00-16:00 saatleri arasında ortalama PTF incelendiğinde ise 2012 ile 2013 yılları arasında PTF ortalaması benzer bir çizgide seyretmiştir.

2015 yılında 165,65 TL/MWh ile son 6 yılın en düşük seviyesini görürken, 2017 yılında 189,26 TL/MWh ile son 6 yılın en yüksek seviyesini görmüştür.

Talebin en az ve en fazla olduğu saatler arasındaki ortalama PTF farklarına bakıldığında ise 2014 yılında 55,95 TL/MWh ile en düşük seviyede iken 2013 yılında 70,14 TL/MWh, 2016 yılında 89,67 TL/MWh en yüksek seviyeye ulaşmıştır.



Şekil 8.2 2017 aylık saatlik PTF ortalamaları (TL/MWh) [80].

2017 yılında talebe en az ihtiyaç duyulduğu 02 - 06 saatleri arasında PTF ortalaması 126,04 TL/MWh, tüketim 25.904 MWh olarak gerçekleşmiştir.

Aynı dönemde üretime en fazla ihtiyaç duyulduğu ve PTF ortalamasının en yüksek çıktığı 09 - 16 saatleri arasında PTF ortalaması 189,29 TL/MWh, tüketim 34.675 MWh olarak gerçekleşmiştir.

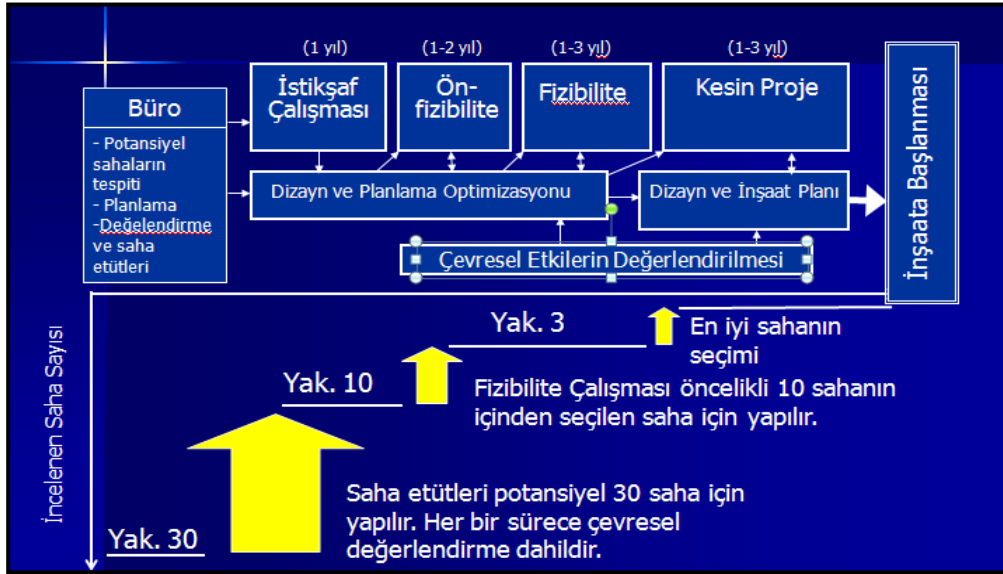
Bu değerler neticesinde PDHES'ler GÖP'te sistem dengesine en fazla katkıyı sağlama adına talebin en az ve PTF'nin en düşük olduğu sabah saatlerinde sistemden alış, talebin en fazla ve PTF'nin en yüksek çıktığı puant saatleri arasında sisteme satış yapabilirler.

Bunun dışında PTF farklarından kaynaklı kar marjı bulunan diğer saatlerde de ticari olarak işlem yapabilirler. İşlem yapılabilecek diğer saat aralıkları ise gece-gündüz geçişleri arasında sistemden ucuza alış yapılıp, gündüz-puant geçişleri arasında sisteme satış yapılarak kar elde edilebilir.

8.2 Ülkemizdeki PDHES Çalışmalarının Gelişim Aşamaları

Pompaj depolamalı hidroelektrik santrallerin planlanmasında proje maliyeti düşük olmaları, talep merkezine uzaklıklarının az olması, aktif faylardan uzaklığı 10 km den fazla olması, jeolojik olarak sorun olmaması, büyük ölçekte yeniden yerleşim meydana getirmesi, milli parklar ve sit alanları gibi korunan alanlar ile korunan

potansiyel bitki ve hayvan varlığı alanlarından uzak olması gibi temel kriterler aranmaktadır.



Şekil 8.3 PDHES planlama aşamaları [81].

Ülkemizde 2010 yılı Şubat ayı başında “Türkiye Pik Talebinin Karşılanması için Optimal Güç Üretimi (Study on Optimal Power Generation for Peak Demand in Turkey)” Projesi EİE Genel Müdürlüğü koordinasyonunda Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi Genel Müdürlüğü (TEİAŞ) ve Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) aracılığı ile görevlendirilen özel bir şirket tarafından başlatılmıştır. İlgili proje bir yılın sonunda 2011 Şubat ayında sonuçlandırılmış ve 15 Nisan 2011 tarihi itibarıyla da Nihai rapor hazırlamıştır. Söz konusu çalışmaya ait anlaşma, 4 Temmuz 2010 tarih ve 27631 sayılı resmi gazetede milletlerarası anlaşma olarak yayımlanmıştır [62].

Çizelge 8.3 Ülkemizdeki PDHES çalışmalarının gelişimi [73].

Yıllar	Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral Çalışmaları
1969	Mülga Elektrik İşleri Etüt İdaresi (EİE) Genel Müdürlüğü'ndeki İlk Pompaj Depolamalı HES (PDHES) Etüdü Mart 1969'da tamamlandı.
2005	Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) ile ilk teknik destek talebi görüşmeleri yapıldı.
2007	Resmi olarak ilk PDHES teknik işbirliği başvurusu yapıldı.
2009	EİE kendi imkanlarıyla 18 Adet PDHES Ön Etüt çalışmalarını tamamladı.
2010	JICA Teknik İşbirliği kapsamında TEİAŞ Genel Müdürlüğü ile birlikte Türkiye Pik Güç Talebinin Karşılınması İçin Optimal Güç Üretim Çalışması başladı.
2011	Türkiye'nin ilk PDHES Master Plan Etüdü olarak kabul edilebilecek bu çalışma tamamlandı. Bu çalışma içerisinde PDHES'lerin hayata geçirilmesi için model önerileri de bulunmaktadır. Çalışma kapsamında 3 PDHES projesi önceliklendirildi. Mülga EİE tarafından JICA ile bu projelerin fizibilite seviyesinde çalışılması için teknik destek talebi yapıldı.
2014	JICA Teknik İşbirliği kapsamında DSİ Genel Müdürlüğü tarafından YEGM-TEİAŞ-EÜAŞ İşbirliği ile Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması başladı.
2016	Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması Tamamlandı.
2017	"PDHES'lerin Ülkemiz Enerji Sektöründeki Yerinin netleştirilmesine yönelik düzenlemelerin ve izlenecek yöntemin ve modelin belirlenmesinde fayda sağlayacak yol haritasının oluşturulması" çalışmaları YEGM, EİGM, DSİ, EPDK, TEİAŞ, EÜAŞ, EPİAŞ katılımlarıyla tamamlandı.
2018	YEGM tarafından organize edilen "Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PDHES) Yol Haritası Çalıştayı" gerçekleştirildi.

Japonlar ile beraber yapılan bu proje çalışmasında Türkiye için potansiyel pompaj depolamalı hidroelektrik santral yerleri talebin yoğun olduğu bölgeler, jeolojik, topografik ve çevresel kısıtları da içeren kriterler açısından araştırılmıştır. Yapılan kademeli eleme sonucunda Gökçekaya Pompajlı HES (1400 MW) ve Altınkaya Pompajlı HES'in (1800 MW) kavramsal tasarımları yapılmıştır. 12 Şubat 2014 tarihinde de resmi olarak Gökçekaya PDHES fizibilite çalışmalarına başlanmış olup 2016 tarihinde fizibilite çalışmaları tamamlanmıştır [62].

2014 yılında JICA Teknik işbirliği kapsamında DSİ tarafından YEGM-TEİAŞ-EÜAŞ işbirliği ile Gökçekaya PDHES Fizibilite Çalışması 2016 yılında tamamlanmıştır. 2017 yılında PDHES'lerin ülkemiz enerji sektöründeki yerinin netleştirilmesine yönelik yapılması gerekli görülen düzenlemelerin ve izlenecek

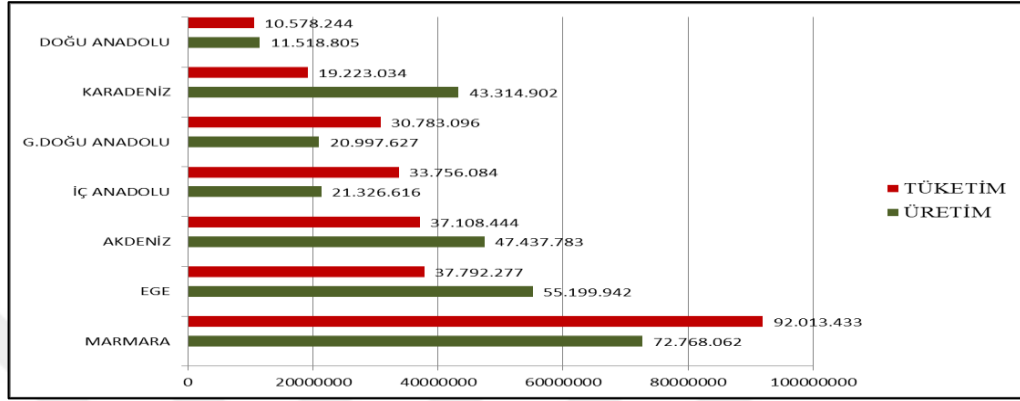
yöntemin belirlenmesi, yol haritasının oluşturulması konusunda kurumlar arası işbirliği ile oluşturulan Çalışma Grubu (YEGM koordinasyon ve ev sahipliğinde TEİAŞ, EİGM, EÜAŞ, EPDK, EPIAŞ, DSİ kurumlarımızın ilgili yöneticileri ve uzmanlarının katılımıyla) 16/03/2017 ile 24/10/2017 tarihleri arasında altı toplantı gerçekleştirmiştir. Yapılan toplantılar sonucunda PDHES ihtiyaç tanımı, ihtiyaç duyulan yer ve zaman, kapasite, önceliklendirme, genel teknik ve işletme kriterlerinin ve kısıtlarının belirlenmesi, iş modeli, mevzuat gereksinimi vb. hususları içeren bir PDHES Yol Haritası Raporu hazırlanmıştır. Hazırlanan raporda; en geç 2025 yılında devrede olmak üzere, şebeke işletmesi ve güvenliği kapsamında, asgari 1000 MW, baz 2500 MW, azami 4500 MW PDHES kurulması öngörülmektedir.

Bu doğrultuda 2018 yılında gerekli yer seçimi, detay analiz ve dokümanların hazırlanması, yarışma vb. çalışmalar tamamlanarak planlama, proje ve inşaatının 8-10 yıl sürmesi nedeniyle bir an önce başlatılması gerektiği vurgulanmıştır. İlk PDHES uygulamasının kamu eli marifetiyle yapılması önerilmiştir. PDHES Yol Haritası Raporu doğrultusunda özel sektöründe katılımı ile 26 Şubat 2018 tarihinde “PDHES Yol Haritası Çalıştayı” düzenlenmiştir. Çalıştayı 4 oturum ve 1 kapanış panelinden oluştuğunu ve oturumlarda toplam 16 konuşmacı yer almıştır. Sabah oturumunda Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün ve paydaş kurumların (TEİAŞ, DSİ, EÜAŞ, EPIAŞ, EPDK, EİGM) katkılarıyla hazırlanan PDHES Yol Haritası Raporu hakkında YEGM ile paydaş kurumlardan gelen uzmanların sunumları yapılmıştır. Öğleden sonraki oturumlarda ise ekipman üreticileri ve aynı zamanda çalıştay sponsorları olan GE, ANDRITZ, LITOSTROJ POWER, VOITH'in yurt dışı PDHES örneklerinden bahsedeceğini, finansman açısından IBRD, EBRD, IDB ve TSKB'nın bilgilendirmede bulunacağını, HESİAD'ın özel sektör bakış açısını yansıtmak üzere işletmeci ve yatırımcıların görüşleri paylaşılmıştır.

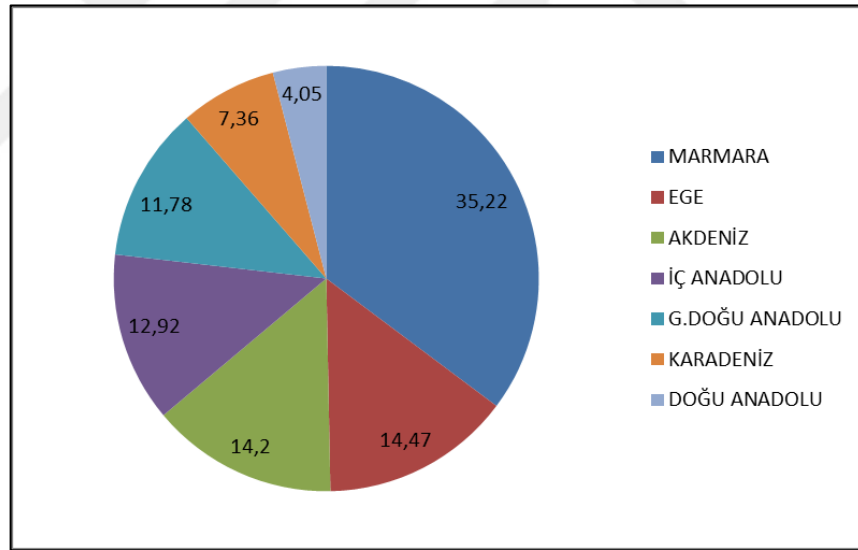
8.3 PDHES'lerin Bölgesel Arz Güvenliği Dikkate Alınarak İncelenmesi

Ülkemizdeki bölgesel elektrik üretim ve tüketim değerleri incelendiğinde büyük değer farklılığı olduğu görülmektedir. Bu sebeple PDHES'lerin yer seçim planlaması yapılırken bölgesel arz güvenliği açısından tüketimin yoğun ve arz açığının olduğu bölgelerde değerlendirilmesi önem arz etmektedir. Türkiye'de elektrik enerjisi arz güvenliğini bölgesel arz güvenliği bazında incelendiğinde bölgesel olarak elektrik

üretimini tüketimi karşılamadığı bölgeler olduğu gibi, elektrik üretiminin tüketiminden çok fazla olduğu bölgelerin de olduğu görülmüştür. Bu kapsamda PDHES'ler elektrik tüketiminin yoğun olduğu ve bölgesel arz güvenliği açısından üretimin tüketimi karşılama oranının düşük olduğu bölgeler ve Türkiye'nin hidroelektrik potansiyeli de dikkate alınarak incelenmiştir [58].



Şekil 8.4 Türkiye'nin 2016 yılı bölgesel elektrik üretim ve tüketim miktarları [68].



Şekil 8.5 Bölgelerin 2016 yılı elektrik tüketimindeki payı [68].

Marmara bölgesi Türkiye elektrik tüketiminde şekil 8.6'da görüldüğü üzere %35 gibi yüksek oranda bir payı bulunmaktadır. Bu bölgedeki elektrik üretiminin tüketimi karşılama oranının 0,79 olduğu görülmektedir. Yani Marmara bölgesinde üretilen elektrik tüketimi karşılayamamaktadır. Ancak bölgedeki hidroelektrik potansiyeli de yeterli düzeyde değildir. Bu kapsamda sistem işletimi ve bölgesel arz güvenliği açısından PDHES'lerin tüketimin yoğun olduğu yerlerde kurulması faydalı olmakla

birlikte Marmara bölgesindeki hidroelektrik potansiyelinin kaynak sorununun olması bu bölgede PDHES yapımını olumsuz etkilemektedir. İç Anadolu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde de üretim tüketimi karşılama oranı 1'in altında olmakla birlikte Türkiye tüketimindeki paylarını düşündüğümüzde bu bölgeler 2.öncelikli bölgeler olarak değerlendirilmiştir. 2016 yılı üretim tüketim değerlerine göre bölgesel açıdan arz güvenliği verilerine göre Karadeniz bölgesi, Doğu Anadolu bölgesi, Ege bölgesi ve Akdeniz bölgesi bölgesel açıdan elektrik üretiminin tüketiminden fazla olduğu bölgeler olarak tespit edilmiştir. Bununla birlikte Ege bölgesinde rüzgâr enerjisi santralinin fazla olması nedeni ile rüzgar santrallerinin üretimlerinin daha öngörülebilir olması açısından PDHES kurulması değerlendirilebilir. Ayrıca önümüzdeki yıllarda devreye girmesi planlanan nükleer enerji santralleri bölgesel açıdan üretimin tüketimi karşılama oranının fazla olduğu bölgelerde bulunmaktadır. Bu nedenle bu bölgelerde özellikle elektrik talebinin minimum olduğu zamanlarda ilave tüketime ihtiyaç duyulabilir. Diğer taraftan sadece üretim/tüketim oranına bakılarak öncelikli bölge değerlendirmesinin yapılması eksik olabilecektir. Bu kapsamda Türkiye'nin hidroelektrik potansiyelinin de dikkate alındığı bir değerlendirme daha gerçekçi sonuçlar verebilecektir.

Çizelge 8.4'den de görüleceği üzere ülkemizde EİE genel müdürlüğü tarafından 2009 yılında yapılan istikşaf/ön fizibilite çalışmalarında toplam 16 saha belirlenmiş olup planlanan toplam kurulu güç 13,700 MW'tır. Bu sahalardan yenilenebilir kurulu güç artışı ve nükleer projelerin devreye giriş yıllarına göre öncelikli olarak aşağıdaki sırayla devreye alınmasının uygun olacağı belirlenmiştir (Şekil 8.8).

- 1) Gökçekaya PDHES: 1,400 MW
- 2) Oymapınar PDHES: 500 MW
- 3) Karacaören-2 PDHES: 1,000 MW
- 4) Bayramhacılı PDHES: 500 MW
- 5) Altınkaya PDHES: 1,800 MW
- 6) Yamula PDHES: 500 MW

Çizelge 8.4 EİE pompaj depolamalı hidroelektrik santral projeleri [62].

Tesis Adı	Kurulu Gücü [MW]	İli	Türü	Proje Debisi [m ³ /s]	Düşü [m]
İzmit I PDHES	1500	Bursa	Tamamen Yeni Yatırım	687	255
Gökçekaya PDHES	1400	Eskişehir	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	193	962
Sarıyar PDHES	1000	Ankara	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	270	434
Bayramhacılı PDHES	1000	Kayseri	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	720	161
HasanUğurlu PDHES	1000	Samsun	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	204	570
Adıgüzel PDHES	1000	Denizli	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	484	242
Burdur PDHES	1000	Burdur	Tamamen Yeni Yatırım	316	370
Eğridir PDHES	1000	Isparta	Tamamen Yeni Yatırım	175	672
Kargı PDHES	1000	Ankara	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	238	496
Karacaören II PDHES	1000	Burdur	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	190	615
Yalova PDHES	500	Yalova	Tamamen Yeni Yatırım	147	400
Yamula PDHES	500	Kayseri	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	228	260
Oymapınar PDHES	500	Antalya	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	156	372
Aslantaş PDHES	500	Osmaniye	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	379	154
İzmit II PDHES	500	Bursa	Tamamen Yeni Yatırım	221	263
Demirköprü PDHES	300	Manisa	Mevcut Baraj Gölüne Entegre	166	213



Şekil 8.6 Türkiye’de önerilen PDHES sahaları [83].

Oymapınar PDHES;

JICA ve EİE tarafından yapılan çalışmalarda net düşü maksimuma yakın olduğundan ve pik sürenin 3 saat olarak düşük olmasından dolayı öncelikli olarak değerlendirilmemiştir. Ancak bu bölgede Akkuyu NGS yapılacağından dolayı söz konusu projenin revize çalışması ya da alternatif projelerin etüt edilmesi TEİAŞ tarafından önerilmektedir.

Bayramhacılı PDHES veya Yamula PDHES;

Söz konusu projeler JICA ve EİE tarafından yapılan çalışmalarda pik sürenin 3 saat olarak düşük olmasından dolayı öncelikli olarak değerlendirilmemiştir ancak iletim sistemi göz önüne alındığında söz konusu projelerin revize çalışması ya da alternatif projelerin etüt edilmesi TEİAŞ tarafından önerilmektedir.

Yapılan çalışmalar sonucunda oluşturulan ve öne çıkan PHES noktalarının;

Gökçekaya PDHES: Enerji tüketim noktalarına yakın olduğu ve enerji hatları için köprü vazifesinde olduğu,

Altınkaya PDHES: İkinci nükleer santrale yakın olduğu,

Karacaören-2 PDHES: İklimlendirme ve yaz dönemlerinde enerji tüketimin fazla olduğu yerlere yakın olduğu,

Oymapınar PDHES: 2023 yılında devreye girecek nükleer santrale yakın olduğu,

Bayramhacılı-Yamula PDHES: Doğuda üretilen elektrik enerjisinin tüketim noktalarına geçişinde denge noktası olduğu,

görülmektedir. Bu seçilen PDHES'ler dışında da elektrik işleri etüt idaresi tarafından hazırlanan bazı PDHES projelerine ait bir kısım bilgiler aşağıda verilmiştir.

Sarıyar Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Sarıyar PHES Ankara il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt rezervuarı Sarıyar Barajı, üst rezervuarı ise 435 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 595 m cebri boru, 387 m şaft ve 815 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 650.000.000 \$'dir [75].

Bayramhacılı Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Bayramhacılı PHES Kayseri il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt

rezervuarı Bayramhacılı Barajı, üst rezervuarı ise 161 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede, 305 m şaft ve 160 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 650.000.000 \$'dir [75].

Hasan Uğurlu Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Hasan Uğurlu PHES Samsun il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt rezervuarı Hasan Uğurlu Barajı, üst rezervuarı ise 570 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 635 m şaft ve 965 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 660.000.000 \$'dir [75].

Adıgüzel Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Adıgüzel PHES Denizli il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt rezervuarı Adıgüzel Barajı, üst rezervuarı ise 242 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 216 m cebri boru, 303 m şaft ve 447 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 635.000.000 \$'dir [75].

Kargı Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 1000 MW kurulu gücündeki Kargı PHES Ankara il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt rezervuarı Kargı Barajı, üst rezervuarı ise 513 m yükseklikte sıkıştırılmış kil havuzdur. Projede 1815 m cebri boru, 367 m şaft ve 580 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 670.000.000 \$'dir [75].

Yalova Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Yalova PHES Yalova il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt rezervuarı Yalova Regülatörü, üst rezervuarı ise 400 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede, 800 m şaft ve 300 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 320.000.000 \$'dir [75].

Yamula Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Yamula PHES Kayseri il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt rezervuarı Yamula Barajı, üst rezervuarı ise 260 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 1540 m cebri boru, 80 m şaft ve 300 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 430.000.000 \$'dir [75].

Oymapınar Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Oymapınar PHES Antalya il sınırları içerisindedir. PDHES'in alt rezervuarı Oymapınar Barajı, üst rezervuarı ise 372 m yükseklikte beton kaplamalı

havuzdur. Projede, 419 m shaft ve 500 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 320.000.000 \$'dir [75].

Aslantaş Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 500 MW kurulu gücündeki Aslantaş PHES Osmaniye il sınırları içerisinde yer almaktadır. PDHES'in alt rezervuarı Aslantaş Barajı, üst rezervuarı ise 154 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 875 m cebri boru ve 225 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 410.000.000 \$'dir [75].

Demirköprü Pompaj Depolamalı HES: İlk Etüt seviyesinde 300 MW kurulu gücündeki Demirköprü PHES Manisa il sınırları içerisinde yer almaktadır. PDHES'in alt rezervuarı Demirköprü Barajı, üst rezervuarı ise 215 m yükseklikte beton kaplamalı havuzdur. Projede 473 m cebri boru, 157 m shaft ve 832 m kuyruk suyu tüneli bulunmaktadır. Projenin yatırım bedeli 220.000.000 \$'dir. Genel Müdürlüğümüz pompaj depolamalı hidroelektrik santraller konusunda potansiyel belirleme çalışmalarına ve ileri aşama çalışmalarına devam etmektedir [75].

8.4 Gökçekaya PDHES Ve Özellikleri

Yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretiminin şebekedeki artışı, artan puant güç talebi ve enerji talebi nedeniyle EİE'nin potansiyel PDHES yerleri ile ilgili yaptığı çalışmalardan önceki bölümlerde bahsedilmiştir. Burada ise "Türkiye'deki Pik Talebin Karşılanması İçin Optimal Güç Üretimi Çalışması" kapsamında belirlenen alternatiflerden biri olan Gökçekaya PDHES projesi hakkında bilgi verilecektir. Söz konusu proje 1,400 MW kurulu güçte planlanmıştır. Planlanan bu PDHES,

- Enerjinin yoğun olarak tüketildiği,
- Puant talebin halen yüksek olduğu,
- Enerji üretim-tüketim dengesi bakımından önümüzdeki yıllarda da benzer eğilimde olacağı tahmin edildiği,
- Sistem kararlılığı üzerinde baskı oluşturan bölgelere yakın bir konumda olması,
- Jeolojik, topografik ve çevresel kısıtları da içeren kriterlere daha elverişli olması,
- Üst rezervuarının doğal olarak hazır bulunması gibi sebeplerden dolayı seçilmiştir [83].

Şebekede artması öngörülen yenilenebilir enerji kaynakları ve durdurulması güç olan baz yük santralleri sebebiyle minimum yük koşullarında gerek enerji depolama, gerekse frekans kontrolü-üretim/pompalama açısından faydası olacak mevcut Gökçekaya Barajı ve HES ile yapılacak üst rezervuar arasında ihtiyaca binaen pompa ve türbin modunda çalıştırılması planlanmaktadır. Projenin ÇED süreci tamamlanmıştır [83].



Şekil 8.7 Gökçekaya PDHES görünümü [84].

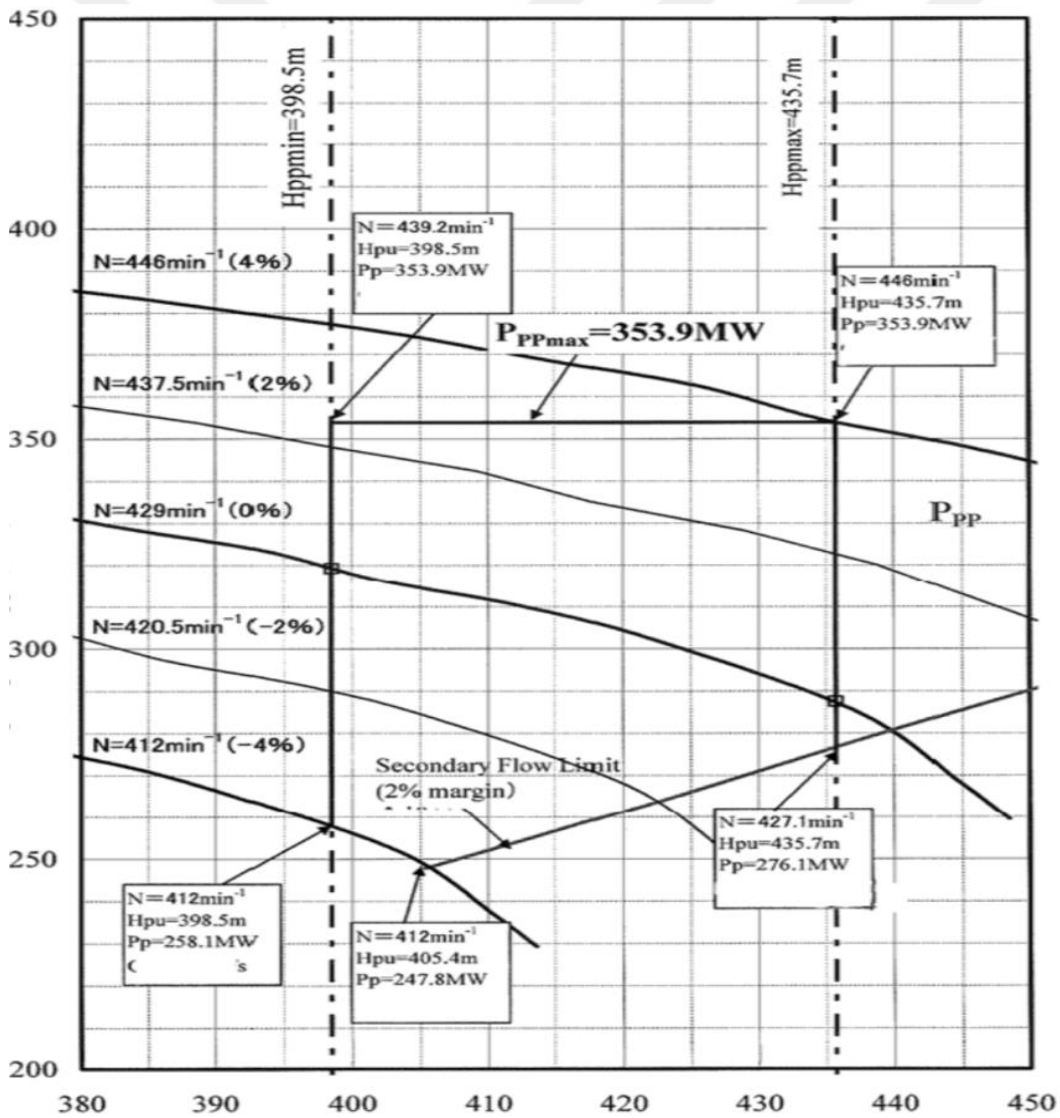
Şekil 8.9’da uydu görüntüsü verilen Gökçekaya PDHES’in bazı temel özellikleri:

- Mevcut Gökçekaya HES’in rezervuarı, alt rezervuar olarak kullanılmasının planlanması nedeniyle maliyeti bulunmamaktadır.
- Toplamda 4 ünite ve her bir ünitenin 350 MW gücünde olması planlanmaktadır.
- Üst rezervuar derinliği 40 m’dir.
- Debisi 428 m³/s’dir.
- Yüksekliği 379.5 m’dir.
- Jeneratör modunda 7-8 saat çalışırken, pompa modunda 10-11 saat çalışması öngörülmüştür.

g. Değişken devirli PDHES seçildiği takdirde hem jeneratör hem pompa modunda frekans kontrolüne katılabilmektedir. Değişken devirli PDHES'lerin çalışma aralıkları çok daha geniştir [84,85].

Gökçekaya PDHES projesi kapsamında kurulması planlanan ünitelerin;

Değişken devirli PDHES üniteleri seçilmesi durumunda daha geniş bir aktif güç aralığında çalışabilme özelliğine sahip olmalarının yanı sıra pompa olarak çalışma esnasında da sekonder frekans kontrolüne katılımlarının mümkün olması sebebiyle sistem işletmeciliği açısından önemli avantajları olacaktır. Gökçekaya HES'in fabrika tasarım koşuluna göre, "Türkiye'deki Pik Talebin Karşlanması İçin Optimal Güç Üretimi Çalışması"nda; pompa türbini Şekil 8.10'da gösterildiği gibi tasarlanmıştır.



Şekil 8.8 Gökçekaya HES pompa türbini şeması [83].

Bu karakteristik şemaya göre, maksimum pompalama kafası 435.7 m, minimum pompalama kafası 398,5 m ve maksimum pompa girişi 353.9 MW'dir. Ayarlanabilir hız aralığı, 429 min^{-1} nominal dönüş hızına $\pm\%4$ olarak tasarlanmıştır. Bu hız aralığı, uyarma sistemi tarafından pompalama modunda ünitenin çalıştırılması için minimum değerdir.

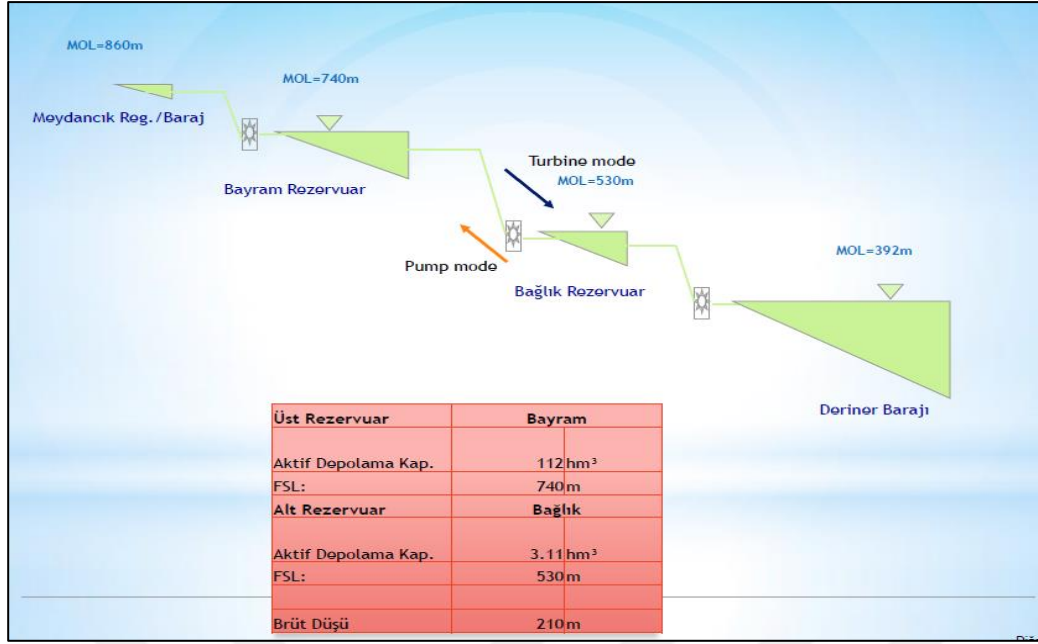
Jeneratör motorunun nominal kapasitesi, fabrika güç faktörü 0.9 olan 412 MVA'dır. Minimum pompalama kafasında ayarlanabilir pompa girişi aralığı 258.1 MW ile 353.9 MW arasındadır. Oluşturma modunda beklenen minimum kısmi yük bu pompa turbine sahip tüm kafa için %35'tir [83].

8.5 PHDES Hakkında Türkiye’de Yapılan Diğer Çalışmalar

Artvin ili sınırları dâhilinde bir enerji grubu tarafından inşa edilmesi planlanan proje Bayram Barajı ve HES, Bağlık Barajı ve HES ve Meydancık Regülatörü ve HES projelerinden meydana gelmektedir. 03.03.2017 de Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı TEİAŞ şirketine gönderilen dilekçede bu yapılan HES’lerin PDHES olarak tasarlanması daha maliyetli olsa da gelişen Türkiye’ye katkısı büyük olacağından bu hususta görüşlerinin bildirilmesi arz edilmiştir.



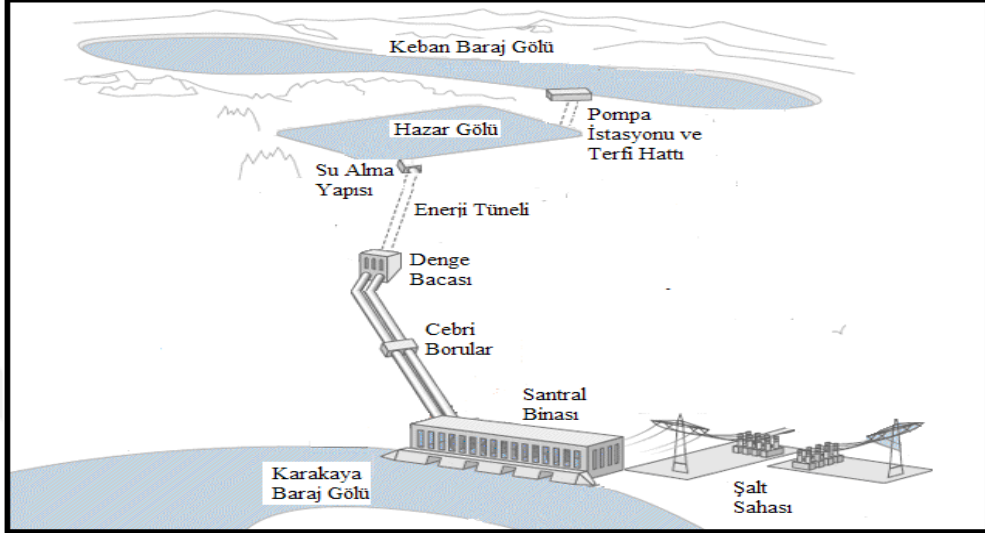
Şekil 8.9 Kaskat sistem HES ve PDHES projesi uydu görünümü [85].



Şekil 8.10 Kaskat sistem HES ve PDHES projesi şeması [85].

M. Cihat TUNA bir dergide yayınladığı Hazar Gölü Cansuyu Ve Pompaj Depolamalı HES Projesi adlı bir makalede Hazar Gölü PDHES projesi ön fizibilite çalışması yapmıştır. Büyük bir depolama kapasitesi ile inşa kolaylığı ve birçok ekonomik avantajı olan Hazar Gölü'nün sahip olduğu bu potansiyel araştırılarak enerji üretim kapasitesi ve maliyet çalışmaları yapmıştır. Yapımı tasarlanan Hazar Gölü ve PDHES projesi Keban Barajı Gölünden su takviyesini öngörmektedir. 835 m kotundaki Keban Barajından 1248m kotundaki Hazar Gölüne pompaj işlemi yapılacaktır. Yapılacak bu pompaj işlemi, yatırımı 1960'lı yıllarda yapılan fakat 2006 yılında Hazar Gölü'nün ekolojik dengesinin bozduğu gerekçesiyle kamulaştırılıp faaliyetine son verilen ve günümüzde atıl olarak bekleyen Hazar-1 Hidroelektrik santralının enerji tüneli, cebri boruları ve santral binasının kullanılması düşünülmektedir. Mevcut sistem gerekli revizyon işlemleri yapıldıktan sonra tersine çalıştırılarak Keban Baraj Gölü kıyısından aldığı suyu Hazar Gölüne terfi ettirecek ve su burada depolanacaktır. Depolanan bu suyun enerjiye dönüşmesi için ise; 1248 m kotundaki Hazar Gölü Sivrice kıyısında su alma yapısı inşa edilecek ve buradan 15 km uzunluğunda enerji tüneli açılıp, Karakaya Baraj Gölü kıyısında 690 m kotunda inşa edilecek santral binasına, 560 m düşü ile aktarılacaktır. Böylelikle proje temel iki amaca hizmet edecektir. Bunlardan ilki, küresel ısınma, insan etkisi gibi nedenlerle kuruma ve kirlenme tehdidi altındaki ülkemizin en büyük doğal

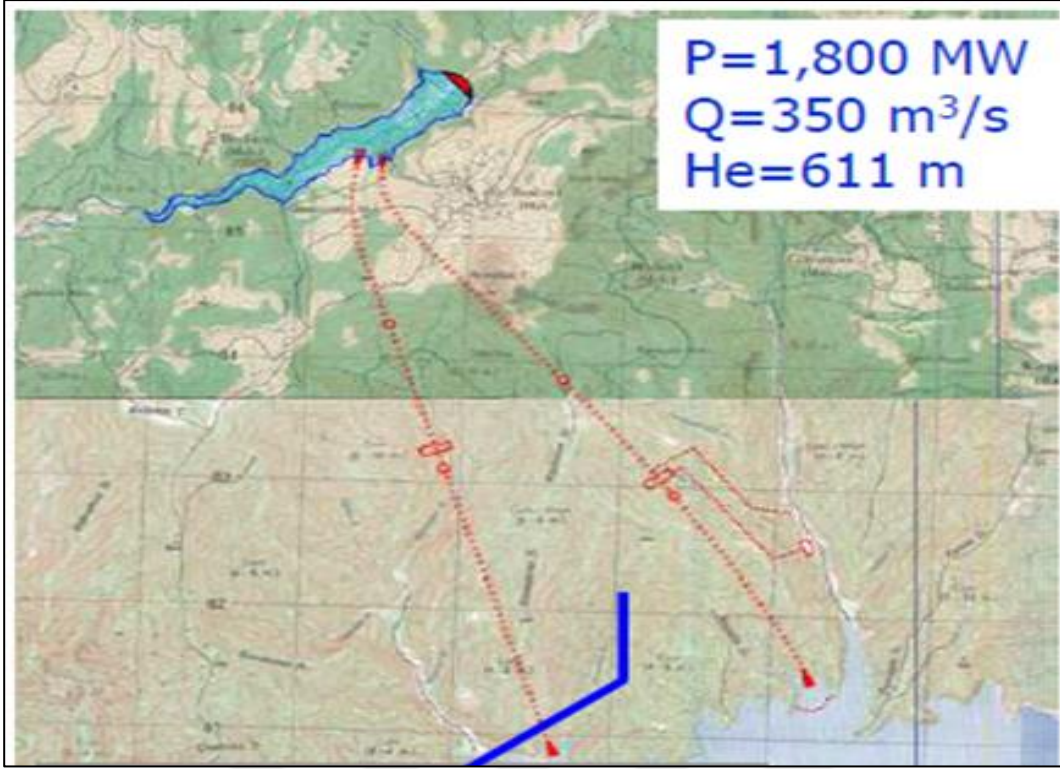
göllerinden biri olan Hazar Gölü'ne can suyu sağlanması, ikincisi ise henüz ülkemizde bulunmayan pompaj biriktirmeli HES projesi ile 952 MW pik güç sağlayacak hidroelektrik tesis yapılmasıdır. Projenin ana bileşenleri Şekil 8.14'de gösterilmiştir [86].



Şekil 8.11 Hazar gölü PDHES projesi ana bileşenleri [86].



Şekil 8.12 Hazar gölü PDHES projesi saha uydu fotoğrafı [86].



Şekil 8.13 Altinkaya PDHES projesi saha uydu fotoğrafı [75].

YEGM kampüsünde 2,7 kW gücünde mini bir PDHES bulunmaktadır.



Şekil 8.14 YEGM kampüsündeki mini hibrit PDHES [75].

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde enerji talebinin hızla artmasına paralel olarak yeni ve temiz enerji kaynağı arayışları büyük önem kazanmıştır. Bu arayıştan doğan yenilenebilir enerji kaynakları dünya genelinde hızla yaygınlaşarak ülkeler mabeyninde büyük öneme sahip olmuştur. Bununla birlikte rüzgâr-güneş gibi yenilenebilir enerji santrallerinin sayılarının artması ve baz yük elektrik santrallerinin durdurulma maliyetlerinin yüksek olması elektrik enerjisinin depolanması ihtiyacını ortaya çıkarmıştır. Büyük miktarlardaki enerjinin elektrik olarak depolanması çok yüksek maliyet içerdiğinden dolayı dünya genelinde PDHES'ler kullanılmaya ve yaygınlaşmaya başlanmıştır. Ülkemizde PDHES çalışmaları çok çok yenidir. Bu tez çalışması ile geliştirmekte olan ülkemizde enerji politikaları içerisinde PDHES'lerin yeri, mevcut HES içerisindeki durumu ve HES'lerin PDHES'e dönüştürme çalışmaları incelenmiştir. PDHES'ler hakkında bir bütün olarak çalışma ortaya konulmasına çalışılmıştır. Sırasıyla aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

AB ülkelerindeki kurulu HES gücü kapasitesinin %23.3'ü PDHES santralleridir. Ülkemizde hâlihazırda işletmede olan PDHES bulunmamaktadır. Dünya genelindeki enerji depolama sistemlerinin ise %96'sı PDHES santralleridir. Ülkemiz kurulu gücünün %23.2'si HES'tir. 27,311 MW kurulu güç ile AB ülkelerinde Norveç'ten sonra en fazla kurulu güce sahip ülke konumundadır. 2023 enerji politikalarında bu rakamın 34,000 MW'a ulaşması hedeflenmektedir.

Ülkemiz ile enerji üretiminde benzerlik gösteren İspanya'da kurulu güç 105 GW olup yenilenebilir enerjinin payı %40'tır. Bunun %14'lük kısmı hidroelektrik santraller olup 7.121 MW'lık nükleer enerjiye sahiptir. Ülkemize göre hidrolik enerjide zayıf olan İspanyanın 5000 MW'lık PDHES'e sahiptir.

2025 vizyonunda ülkemiz ile benzerlik gösteren İtalya'nın sistemde oluşacak enerji dengesizliklerini önlemek için 5.142 MW'lık PDHES'e sahip olması bu alanda daha çok çalışmamız gerektiğini göstermektedir.

2017 yılı sonu itibariyle ülkemiz elektrik enerjisi kurulu gücü 85,200 MW'tır. Bu kurulu gücün, 3,421MW'ı güneş ve 6,516MW'ı rüzgâr enerjisi oluşturmaktadır. Kesintili üretim özellikleri ve değişken yük taleplerine cevap verememelerinden dolayı yenilenebilir enerji kaynakları ile birlikte enerji depolama yöntemlerinin bir arada bulunması bir zorunluluktur. Ülkemizde kurulu gücün %12'sine karşılık gelen bu depolanamayan yenilenebilir enerjilerin depolanması ihtiyacı PDHES'lerin önemini ortaya çıkarmaktadır. Ayrıca 2030 yılında Türkiye'de ki nükleer kurulu güç kapasitesinin 9200MW olması beklenmektedir.

Milli Enerji ve Maden Politikamız çerçevesinde Enerji Bakanlığı 2023 Strateji Planında yenilenebilir enerji kaynaklı santrallerde rüzgârda 20.000 MW, güneşte 5.000 MW, biyokütle ve jeotermalde 1.000 MW, hidroelektrikte 34.000 MW'a ulaşılması hedeflenmektedir.

Ülkemizde yakın gelecekte;

- Pik talepteki artış,
- En yoğun saat ile yoğun olmayan saatler arasındaki talep farkından oluşan fiyat farklılığındaki artış,
- Güç kalitesi gereksinimdeki artış,
- Baz yük santrallerinin durdurulup çalıştırılması ekonomik olmaması,
- Rüzgâr enerjisi kapasitesi ve diğer yenilenebilir enerji kaynaklarındaki kapasitenin artışı dikkate alındığında PDHES'lerin yapılmasının elzem olduğu görülmektedir.

Elektrik sistem işletmecisi olan TEİAŞ 2016 Ocak ayında hazırladığı "Türkiye Elektrik Sistemi İçin Yenilenebilir Üretim Kaynakları ve Enerji Depolama Sistemleri Değerlendirme Raporu"nda ülkemiz elektrik sisteminin güvenli işletmeciliği için 2025 yılından itibaren PDHES gerekli olduğunu belirtmiştir.

Bu amaçla ülkemizde 2010-2011 yılları arasında, Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü (EİE) koordinatörlüğünde Japonya Uluslararası İşbirliği Ajansı (JICA) desteği ile "Türkiye'deki Pik Talebin Karşılanması İçin Optimal Güç Üretim Çalışması" kapsamında Türkiye'nin Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santral (PDHES) potansiyeli araştırılmıştır. Toplam 38 sahadan 24 tanesi önerilmiş olup bu önerilen sahalardan çevresel etkiler, yerleşim yerlerine yakınlığı, jeolojik durumlar

vb. durumlar incelenerek 10 sahaya düşürülmüş olup bu 10 sahadan da 6 HES'in PDHES olarak dönüştürülmesi önerilmiştir.

- Gökçekeya PDHES 1400MW
- Altınkaya PDHES 450/1800MW
- Yamula PDHES 500MW
- Bayramhacılı PDHES 500MW
- Karacaören2 PDHES 500/1000MW
- Oymapınar PDHES 500MW

Bu 6 HES'den Gökçekaya PDHES ve Altınkaya PDHES uygulanabilir santraller olarak planlanmıştır. Gökçekaya PDHES'in fizibilite çalışmaları DSİ koordinatörlüğünde JICA ve EÜAŞ, TEİAŞ, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) ortaklığında 2014-2016 yılları arasında gerçekleştirilmiştir. Söz konusu raporda Gökçekaya PDHES'in işletmeye alınabilmesi için 10 yıllık bir süre öngörülmüştür. Bunun 3 yılı gerekli jeolojik araştırmalar, proje yapımı ve ihale çalışmalarını, 7 yılı ise inşaat aşaması olarak planlanmıştır. Başta ekonomik nedenlerden dolayı olmak üzere mevzuat ile ilgili de bazı sorunlar yüzünden ülkemizde PDHES hakkında henüz hâlihazırda bir inşaat çalışması olmadığı görülmektedir.

PDHES projelerinin enerji güvenirliliği açısından stratejik tesisler olmasından dolayı, yapılacak bu projelerin kamu imkânlarıyla mı yoksa özel sektör marifetiyle mi geliştirilip yapılacağı hususunda ülkemizde hâlâ belirsizlikler bulunmaktadır. PDHES'lerden üretilecek enerjinin satış fiyatı, PDHES'lerin üretim ve tüketim tesisi olarak optimum işletme planları ve güç temininde stabilitenin sağlanması konularında yapılan mevzuat çalışmaları da sonuçlandırılabilmiş değildir.

PDHES'ler pompa çalışma esnasında tükettikleri enerjinin yaklaşık %70-80'i enerji üretebilmektedirler. Bu sebeple bir elektrik sisteminde rüzgâr-güneş veya baz yük santraller için bir depolama sistemi ve bu santrallerden elde olunan enerji için ilave yük olarak planlama yapılmalıdır. Mevcut HES'lerin PDHES'e dönüştürülmesi ile kurulu güçte elde olunacak yaklaşık %30'luk artışa karşın, elektrik enerjisi üretiminde yaklaşık %40'lık bir artış elde olunması beklenmektedir. Dolayısıyla mevcut santrallerden uygun olanların PDHES'e dönüştürülmesi yerli enerji

kaynaklarının değerlendirilmesi ve dışa bağımlılığın azaltılması noktasında ülkemiz için çok önemlidir.

PDHES'ler birçok yenilenebilir enerji kaynağı ile enterkonnekte olarak çalışabilmektedir. Enterkonnekte olabilmesi için sadece RES veya GES gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına yakın olması zorunlu değildir. Enerji iletim hatları üzerinden aynı hatta bağlanarak uzakta bile olsa bağlantı kurulabilmektedir. Dünyadaki PDHES'lerin neredeyse tamamı enterkonnekte sistemdir.

Deniz suyu PDHES'ler alt rezervuar inşaatına ihtiyaç duymaması, bazı baz yükü santrallere yakın kurulabilmesi gibi bazı avantajları olsa da denizdeki bitki ve hayvan ekolojisine zarar vermesi ve pompalanan deniz suyundaki bazı canlıların türbinlere yapışmasıyla verimi düşürüp dejenerasyon etkisinin fazla olmasından dolayı dünya genelinde tercih edilmemektedir.

Arz güvenliği ve cari açığın azaltılması noktasında yerli ve yenilenebilir enerjinin payını artırma yönünde çalışmalar hız kazanmıştır. Yenilenebilir enerji hedeflerinin gerçekleştirilmesi amacıyla sistem işletmeciliği açısından hızlı bir şekilde devreye alınabilecek rezerv miktarlarının bulunması gerekmektedir. Sistemde kontrol edilemeyen santraller ve çalışması zorunlu santrallerin (baz yük santraller ve kanal tipi HES, RES, JES, GES) kurulu gücü hızla artarken sistem minimum saatlerinde bu kapsamda devrede olması gereken gücün tüketimden daha fazla olacağı öngörülmektedir. Bu nedenle güvenli işletmecilik açısından ülkemiz elektrik sisteminde Pompaj Depolamalı HES (PDHES)'lerin yeri gelişi güzel geçiştirilemeyecek kadar önem arz etmektedir.

Tüm bu hususlar dikkate alındığında bu çalışmada ele alınan ve planlanan pompaj depolamalı HES'lerin gelişim sürecinde hızla ve istikrarlı bir şekilde ilerleyen ülkemizin enerji güvenirliliği ve sürekliliği için önemli bir fayda sağlayacağı öngörülmüştür.

Anlatılan bu bilgiler ışığında gelişim sürecinde ilerlemekte olan ülkemizin temel gereksinimi olan enerjinin daha güvenilir ve sürekli bir şekilde idare edilebilmesi gerekmektedir. Bunun için şimdiye kadar PHDES alanında eksik kalan ülkemizin aşağıdaki önerilere karşı ilgili olması elzemdir.

PDHES'lere yönelik olarak yapılacak her türlü idari, mali ve teknik çalışmalar DSİ Genel Müdürlüğü'nün koordinatörlüğünde ilgili bütün diğer yardımcı kurum ve kuruluşların da katılımları sağlanarak yürütülmesi gerekir.

TEİAŞ'ın 2025 yılı minimum yük koşulları değerlendirildiğinde, asgari 1000 MW, baz 2500MW, azami 4500 MW PDHES kurulması şebeke işletmesi ve güvenliği kapsamında ülkemiz için bir zorunluluktur.

Planlanacak olan PDHES'lerin en baştan yapılması yerine var olan HES'lerden uygun olanlarının PDHES'e dönüştürülmesi maliyet olarak daha uygun olacaktır. Özellikle kaskat HES sistemlerinin PDHES'e dönüştürülerek uygulanması daha avantajlı olacaktır. Bunun için öncelikli olarak işletmede olan kaskat baraj rezervuarları arasında fizibilite çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Planlama aşamasında olan kaskat barajlı HES tesislerinin fizibilite raporlarında PDHES tasarımları da ele alınıp değerlendirilmesi büyük öneme sahiptir.



KAYNAKLAR

- [1] **Levine, J. G.** (2007). *Pumped Hydroelectric Energy Storage And Spatial Diversity Of Wind Resources As Methods Of Improving Utilization Of Renewable Energy Sources*, 100.
- [2] **Eyer, J. M., Corey, G. P., & Iannucci, J. J., Jr.** (2004). *Energy storage benefits and market analysis handbook : a study for the DOE Energy Storage Systems Program.* (No. SAND2004-6177, 920774). <https://doi.org/10.2172/920774>
- [3] **Harpman, David A.** (2003). The P_GENv4 and P_CAPv5 Models—Reconnaissance Level Analysis of Hydropower Effects in the Platte River Basin. U.S. Bureau of Reclamation, Technical Service Center. Denver, Colorado: U.S. Bureau of Reclamation.
- [4] **H. H. Chiu, L. W. Rodgers, Z. A. Saleem, R. K. Ahluwalia, G. T. Kartsounes, and F. W. Ahrens.** (1979). "Mechanical Energy Storage Systems: Compressed Air and Underground Pumped Hydro", *Journal of Energy*, Vol. 3, No. 3, pp. 131-139. <https://doi.org/10.2514/3.62426>
- [5] **Bueno, C., & Carta, J. A.** (2006). Wind powered pumped hydro storage systems, a means of increasing the penetration of renewable energy in the Canary Islands. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 10(4), 312-340. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2004.09.005>
- [6] **van Kooten, G. C., Benitez, L. E., & Benitez, P. C.** (2006). The economics of wind power with energy storage. *Energy Economics*, 30(4), 1973-1989. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2007.01.017>
- [7] **Deane, J.P., O Gallachoir, B.P and McKeogh, E.J.** (2010). Techno-economic review of existing and new pumped hydro energy storage plant. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (2010) 1293-1302.
- [8] **Tamzok, N.** (2011). Kömür Sektör Raporu, Ankara, Türkiye.
- [9] **Square J.** (2016) . BP Statistical Review of World Energy 2016. , 48.
- [10] **ÇALI, K., & GRUBU, M.** (2007). Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi,80.
- [11] **Pierson, M. P.** (2017). Final Renewable and Nonrenewable Energy and Mineral Resources Report, USA.
- [12] **BOTAŞ.** (2015). "2015 Yılı BOTAŞ Sektör Raporu".
- [13] **TP.** (2017). "Ham Petrol Ve Doğal Gaz Sektör Raporu", Türkiye Petrolleri.
- [14] **Adewuyi, A. O., & Awodumi, O. B.** (2017). Renewable and non-renewable energy-growth-emissions linkages: Review of emerging trends with

policy implications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 275-291. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.11.178>

- [15] **Url** <<http://www.pigm.gov.tr/index.php/istatistikler>>, alındığı tarih: 16.07.2018.
- [16] **U.S. Energy Information Administration**. (2018). “Electric Power Monthly”. [Çevrimiçi]. Erişim adresi: <https://www.eia.gov/electricity/monthly/>
- [17] **Aygün, Ö. F.** (2014). “Biyoenjerji Yatırımlarında Mevzuat - Lisanslama Ve Teşvikler - PDF”.
- [18] **VARINCA, K., & Gönüllü, M.** (2006). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri.
- [19] **ERTÜRK, D. F., Kamil, Ç. Y. M., & VARINCA, B.** (2006). Enerji Üretimi Ve Çevresel Etkileri, 88.
- [20] **GEDİK, Ö. T.** (2015). *Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Kaynakları Ve Çevresel Etkileri*, (yüksek lisans tezi), İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çevre Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul.
- [21] **Sharma, M.P.** (2009). “Social, economical and environmental impacts of renewable energy systems - *ScienceDirect*”, 34-2, 390-396.
- [22] **URGUN, N.** (2015). *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Bakımından Türkiye'nin Potansiyeli ve Bu Potansiyelin Harekete Geçirilmesine Yönelik Stratejiler*. Yüksek Lisans Tezi Kütahya, Türkiye: Dumlupınar Üniversitesi.
- [23] **Folk, E.** (2017). *Renewable Energy and its Applications*.
- [24] **Url** <<http://www.jeotermalvakfi.org.tr/jeoenerji.html>>, alındığı tarih: 16.07.2018.
- [25] **GÖKREM, Ö. G. L.** (t.y.). HİDROJEN ENERJİSİ VE GELECEĞİ, 39.
- [26] **BiLiMi, F.** (2018). Yenilenebilir Enerji Kaynakları. Geliş tarihi 13 Temmuz 2018, gönderen <https://www.fizikbilimi.gen.tr/yenilenebilir-enerji-kaynaklari/>
- [27] **Url** < <https://ekstrembilgi.com/genel/yenilenebilir-enerji-nedir-avantajlari-ve-dezavantajlari/>>, alındığı tarih: 24.04.2018.
- [28] **AKSUNGUR, S.** (2017). “ICCI_proceedings-2017_TR-EN.pdf”.
- [29] **Onyekpe, D. K.** (2016) “World-Energy-Resources_Report_2016.pdf”.
- [30] **KARAGÖL, E. T., & KAVAZ, İ.** (2017). Dünyada Ve Türkiye’de Yenilenebilir Enerji, 32.
- [31] **Url** < <http://www.eie.gov.tr>>, alındığı tarih: 28.04.2018.
- [32] **Bilirgen, Ü.** (2018). “Sektörel Bakış 2018 - Enerji”, s. 26.
- [33] **Saraçoğlu, S.** (2017). Yenilenebilir Enerji Kaynağı Olarak Biyokütle Üretiminin Dünyada ve Türkiye’de Durumu. *Fiscaoeconomia*, (3).
- [34] **Kaya M.N., Aksoy M.H., Kose F.** (2016). Renewable energy in Turkey: potential, current status and future aspects, *The VIth International Conference Industrial Engineering and Environmental Protection*

2016 – IIZS 2016, University of Novi Sad, Technical Faculty "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, Zrenjanin, SERBIA,

- [35] **Url** <<https://www.ogm.gov.tr/Sayfalar/Ormanlarimiz/T%2c3%bcrkiye-Orman-Varl%2c4%b1%2c4%9f%2c4%b1-Haritas%2c4%b1.aspx>>, alındığı tarih: 14.07.2018.
- [36] **Url** <http://www.enerji.gov.tr/File/?path=ROOT%2F1%2FDocuments%2FSekt%C3%B6r%20Raporu%2FEUAS-Sektor_Raporu2016.pdf>, alındığı tarih: 16.05.2018.
- [37] **Url** <<https://www.iea.org/media/publications/weo/WEO2016Chapter1.pdf>>, alındığı tarih: 18.04.2018.
- [38] **Ohler, A., & Fetters, I.** (2015). The Causal Relationship between Renewable Electricity Generation and GDP Growth: A Study of Energy Sources. *Energy Economics*, 43 (2014), 125-139. Retrieved from ScienceDirect.
- [39] **Url** <https://www.eia.gov/forecasts/aeo/pdf/electricity_generation.pdf>, alındığı tarih: 25.03.2018
- [40] **Tuygun, M.** (2017). “Türkiye Enerji Görünümü Eylül 2017”, s. 191.
- [41] **Url** <http://www.enerji.gov.tr/Resources/Sites/1/Pages/Sayi_04/Sayi_04.html#p=24>, alındığı tarih: 16.05.2018.
- [42] **Özcan, B.** (2017). Enerji ve Tabii Kaynaklar Görünümü, 83.
- [43] **Url** <<https://www.epdk.org.tr/Detay/Icerik/3-0-24/yillik-sektor-raporu>>, alındığı tarih: 22.05.2018.
- [44] **Özdemir, N., & Hadra, M.** (2012). “Yenilenebilir Enerji Kaynakları İçin Depolama Yöntemleri Energy Storage Methods For Renewable Energy Sources
- [45] **Değer, K.** (2013). *Pompajlı hidroelektrik santraller ve rüzgar enerjisi santralleri melez sistemleri*, (yüksek lisans tezi), Başkent Üniversitesi.
- [46] **Url** <<http://emhk.itu.edu.tr/tag/elektrik-enerjisi-depolama-teknolojileri-ozan-erdinc/>>, alındığı tarih: 02.03.2018.
- [47] **ARSOY, A.B.** (2000). “*Electromagnetic Transient and Dynamic Modeling and Simulation of a StatCom-SMES Compensator in Power Systems*”, Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- [48] **KOCAMAN, B.** (t.y.). Akıllı Şebekeler ve Mikro Şebekelerde Enerji Depolama Teknolojileri The Technologies of Energy Storage on Smart Grids and Microgrids, 5.
- [49] **Erdinç, O., Uzunoğlu, M., Vural, B.** (2011). “Hibrit Alternatif Enerji Sistemlerinde Kullanılan Enerji Depolama Üniteleri”, *Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Sempozyumu, Elazığ*.
- [50] **ÖZDEMİR, E., ÇALIKER, A., & KOÇ, İ. M.** (2014). Yenilenebilir Enerji Kaynağından Beslenen Elektrik Güç Sistemleri İçin Hibrit Enerji Depolama Teknolojileri, *ICCI PROCEEDINGS*.

- [51] **Chen, H., & Cong, T. N., & Yang, W., & Tan, C.** (2008). "Progress in electrical energy storage system: *A critical review*".
- [52] **Kozak, M., & Kozak, Ş.** (2012). ENERJİ DEPOLAMA YÖNTEMLERİ. *Süleyman Demirel Üniversitesi Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, 4(2), 17-29.
- [53] **Broussely, M., Pistoia, G.** (2007). *Industrial Applications of Batteries, Chapter 2, G.Pistoia, Elsevier, UK*
- [54] **YILDIRIM, Y.** (2011). T.C. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Çevre Mühendisliği Bölümü ÇEV 346 Yakıt Pilleri Ders Notları.
- [55] **FEMÜB, A.** (2016). *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 9.
- [56] **Koç, İ. M., Erhan, K., Aktaş, A., Özdemir, E., & Özdemir, Ş.** (2015). Akıllı Şebeke Standartlarında Enerji Depolama Uygulamalarının İncelenmesi, 5.
- [57] **Crapmes, C., & Moreaux, M.** (2009). Pumped storage and energy saving.
- [58] **Vural, M.** (2017). "*Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santrallerin Gelişimi Ve Türkiye İncelemesi*", uzmanlık tezi, Ankara.
- [59] **Nicolet, C., Pannatier, Y., Kawkabani, B., Schwery, A., Avellan, F., & Simond, J.-J.** (2018). Benefits of Variable Speed Pumped storage Units in Mixed Islanded Power Network during Transient Operation.
- [60] **Tilahun, M. A.** (2009) Feasibility Study of Pumped Storage System for Application in Amhara Region, Ethiopia.
- [61] **Karakuş, S.** (2018). *Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Phes) Yol Haritası Çalıştayı*
- [62] **Ayder, D. E.** (2015). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Pdhes'ler), *Teknik Rapor*, 22.
- [63] **Botterud, A., Levin, T., & Koritarov, V.** (2014). *Pumped Storage Hydropower: Benefits for Grid Reliability and Integration of Variable Renewable Energy* (No. ANL/DIS-14/10, 1165460). <https://doi.org/10.2172/1165460>
- [64] **Chen, G. Z., Liu, D. Y., Wang, F., & Ou, C. Q.** (2009). Determination of installed capacity of pumped storage station in WSP hybrid power supply system. İçinde *2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply* (ss. 1-5). <https://doi.org/10.1109/SUPERGEN.2009.5348058>
- [65] **Yıldız, C., & Şekkelı, M.** (2016). Optimal bidding in Turkey day ahead electricity market for wind energy and pumped storage hydro power plant. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 22(5), 361-366. <https://doi.org/10.5505/pajes.2016.34654>

- [66] **Saraç, M.** (t.y.). “Enerji Depolama Sistemleri Ve Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Phes)” (http://www.emo.org.tr/ekler/48f1003f52900ef_ek.pdf)
- [67] **Zayas, J.** (2018). 2018 Pumped Storage Report, New Jersey, Washington.
- [68] **Url** <<http://www.teias.gov.tr/YukTevziRaporlari.aspx>>, alındığı tarih: 23.02.2018.
- [69] **Koskinen, O., & Breyer, C.** (2016). Energy Storage in Global and Transcontinental Energy Scenarios: A Critical Review. *Energy Procedia*, 99, 53-63. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.10.097>
- [70] **Url** <<https://www.energy.gov/eere/water/pumped-storage-hydropower.>> alındığı tarih: 05.03.2018.
- [71] **Url** <<https://www.hydropower.org/2016-hydropower-status-report.>>, alındığı tarih: 08.05.2018.
- [72] **Forcey, T.** (2014). Pumped Hydro Energy Storage. *Australian energy storage conference & exhibition*, 31.
- [73] **Url** <http://www.yegm.gov.tr/duyurular_haberler/phes_calistay.aspx.>, alındığı tarih: 14.06.2018.
- [74] **Saraç, M.** “Enerji Depolama Sistemleri Ve Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Phes)” (http://www.emo.org.tr/ekler/48f1003f52900ef_ek.pdf)
- [75] **Barbour, E., Wilson, I. A. G., Radcliffe, J., Ding, Y., & Li, Y.** (2016). A review of pumped hydro energy storage development in significant international electricity markets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 61, 421-432. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.04.019>
- [76] **Schneider, K.** (t.y.). Pumped Storage in Germany, 21.
- [77] **Dikenoğlu, N.** (2018). Kişisel görüşme.
- [78] **Eyüboğlu, L.** (2018). POMPAJLI HES’LER PHES. *Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Phes) Yol Haritası Çalıştayı*.
- [79] **Url** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>>, alındığı tarih: 14.07.2018.
- [80] **Ay, N.** (2018). Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (PHES) - PHES’ler için Fiyatı Analizi ve Muhtemel Piyasa Uygulamaları. *Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Phes) Yol Haritası Çalıştayı*.
- [81] **Tosun, H., & Türköz, M., & Savaş, H.** (2012). *Uluslararası Katılımlı III.Ulusal Baraj Güvenliği Sempozyumu*.
- [82] **Günindi, M.** (2018). *Pompaj Depolamalı Hidroelektrik Santraller (Phes) Yol Haritası Çalıştayı*.
- [83] **Url** <http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/12019790.pdf>, alındığı tarih: 03.05.2018.
- [84] **Url** <<http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Anasayfa>>, alındığı tarih: 10.06.2018.
- [85] **Karakuş, S.** (2018). Berta Enerji Grubu Phes Çalışması. *Pompaj Depolamalı*

Hidroelektrik Santraller (Phes) Yol Haritası Çalıştayı.

- [86] **Tuna, M. C.** (2012). Hazar Gölü Cansuyu Ve Pompaj Depolamalı Hes Projesi. *Deü Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 14, 29-42.



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Hasanali GÖKTAŞ

Doğum Yeri ve Tarihi: Akyaka/KARS 16.05.1992

E-Posta: hasanaligoktas33@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

Lisans: 2015, İstanbul Arel Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü