

T.C.
SİNOP ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



DİSİPLİNLER ARASI NÜKLEER ENERJİ ve ENERJİ SİSTEMLERİ
ANA BİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN ÇEVRESEL ve EKONOMİK
AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI

YAZAR

Batuhan ERCAN

ORCID NUMARASI
0000-0002-2954-9211

DANIŞMAN

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ

SİNOP – 2021

TEZ KABUL

Batuhan ERCAN tarafından hazırlanan “ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN ÇEVRESEL ve EKONOMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI ” başlıklı bu çalışma, 12.07.2021 tarihinde yapılan savunma sınavı sonucunda başarılı bulunarak, jürimiz tarafından **YÜKSEK LİSANS tezi** olarak kabul edilmiştir.

Başkan	Dr. Öğr. Üyesi Süleyman ŞİMŞEK İstanbul Aydın Üniversitesi / Mühendislik Fakültesi	İmza
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Yunus Onur YILDIZ Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi	İmza
Üye	Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ Sinop Üniversitesi / Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi	İmza

ETİK BEYANI

Tez Yazım Kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında; tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi, tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu, tez çalışmasında yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi, kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı, bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu, bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Batuhan ERCAN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

İÇİNDEKİLER	i
SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ	vii
TABLolar LİSTESİ.....	ix
ÖZET	x
ABSTRACT.....	xi
TEŞEKKÜR.....	xii
1. GİRİŞ	1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Önemi	2
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Enerjinin Tanımı ve Çeşitleri	3
2.2. Dünyada enerji kullanımı ve potansiyeli.....	4
2.3. Türkiye'de enerji kullanımı ve potansiyeli.....	6
3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ	8
3.1. Termik Santraller	9
3.2. Hidroelektrik Santraller.....	11
3.2.1. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması	13
3.2.1.1. Büyük Ölçekli Hidroelektrik Santraller	13
3.2.1.2. Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santraller	13
3.2.1.3. Mini Ölçekli Hidroelektrik Santrali	13
3.2.1.4. Mikro Ölçekli Hidroelektrik Santrali.....	13
3.2.2. Hidroelektrik Santral Bileşenleri	14
3.2.3. Hidroelektrik Santrallerinde Kullanılan Türbin Çeşitleri.....	21
3.2.4. Nükleer Santral	23
3.2.4.1. Nükleer Santralin Bileşenleri.....	28

3.2.4.2. Nükleer Santral Türleri	29
3.2.5. Güneş Santralleri	39
3.2.5.1. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi için Yardımcı Elemanlar	44
3.2.6. Dalga Enerjisi Santralleri.....	46
3.2.6.1. Kıyı tipi (Shoreline) Dalga Santrali	47
3.2.6.2. Yakın Kıyı Dalga Santralleri	49
3.2.6.3. Açık Deniz Tipi Uygulamaları.....	50
3.2.7. Jeotermal Santraller	53
3.2.7.1. Kuru Buhar Santralleri.....	54
3.2.7.2. Flash buhar santralleri.....	55
3.2.7.3. Binary cycle santrali (ikili çevrim)	57
3.2.8. Rüzgar Santralleri	57
3.2.8.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri.....	59
3.2.8.2. Dikey eksenli rüzgar türbini	59
3.2.8.3. Eğik eksenli rüzgar türbini.....	59
3.2.8.4. Rüzgar türbini bileşenleri.....	59
4. ENERJİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ	61
4.1. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri	61
4.2. Hidroelektrik Santrallerin Çevresel Etkileri.....	64
4.3. Nükleer Santralin Çevresel Etkisi	68
4.4. Güneş Santrallerinin Çevresel Etkileri	70
4.5. Dalga Enerjisi Santrallerinin Çevresel Etkileri	71
4.6. Jeotermal Enerjinin Çevresel Etkileri	72
4.7. Rüzgar Enerjinin Çevresel Etkileri	75
4.8. Elektrik Üretim Yöntemlerinin Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması	76
5. ELEKTRİK ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KURULUM ve İŞLETME MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI	81
5.1. İlk Yatırım Maliyeti	82

5.2. İşletme-Bakım Maliyeti	83
SONUÇ	86
Kaynakça	88
ÖZGEÇMİŞ	93



SEMBOLLER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Çalışma içinde kullanılan tüm simge ve kısaltmalar yanlarında açıklamaları verilerek kullanılmıştır.

SEMBOLLER ACIKLAMA

%	Yüzdilik
°C	Sıcaklık
ρ	Yoğunluk derecesi
η	Verim yüzdeliği
₺	Türk para birimi
\$	Amerikan para birimi
CH ₄	Metan
C ₂ H ₆	Etan
C ₃ H ₈	Propan
C ₄ H ₁₀	Bütan
cm	santim
cm ²	santimetrekare
CO ₂	Karbon Dioksit
D ₂ O	Ağır su
H	Yükseklik
kW	Kilowatt
L	Litre
m	Metre
m ²	Metrekare

SEMBOLLER ACIKLAMA

m ³	Metreküp
MW	MegaWatt
MWh	MegaWatt-saat
N ₂	Nitrojen
NO _x	Azot Oksit
g	Yerçekimi kuvveti
O ²	Oksijen
P	Güç
SO ₂	Kükürt dioksit
W	Watt
Q	Debi

KISALTMALAR**ACIKLAMA**

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
AC	Alternatif akım
BWR	Kaynar su reaktörleri
CANDU	Kanada Döteryum-Uranyum reaktörü
DC	Doğru akım
GES	Güneş enerjisi santrali
HES	Hidroelektrik enerji santrali
Pv	Fotovoltaik
PWR	Basınçlı su reaktörleri
PHWR	Basınçlı ağır su reaktörleri
RMBK	Rus kaynar su reaktörü
TL	Türk Lirası
VVER	Rus basınçlı su reaktörü
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2. 1 Enerjinin dönüşümü (Fizik Dersi, 2021)	3
Şekil 3. 1 Türbin jeneratörü (MGM, Enerji Kaynakları ve Elektrik, 2021)	9
Şekil 3. 2 Termik santral çalışma prensibi.....	10
Şekil 3. 3 Hidroelektrik Santrali (Cingi).....	11
Şekil 3. 4 Hidroelektrik Santrali Enerji Üretim Aşaması	12
Şekil 3. 5 Hidroelektrik Santralin Ana Parçaları	14
Şekil 3. 6 Atatürk Barajı – Bozoava/Şanlıurfa (Shah).....	15
Şekil 3. 7 Bir tesisin cebri boru hattı	16
Şekil 3. 8 Savak	17
Şekil 3. 9 Salyangoz.....	18
Şekil 3. 10 Vana.....	19
Şekil 3. 11 Türbin Şeması.....	19
Şekil 3. 12 Debi ve Düşü değerlerine göre türbin çeşitleri (50 kW – 200 MW)	22
Şekil 3. 13 Atom modeli	23
Şekil 3. 14 Uranyum'un nükleer bölünmesi.....	25
Şekil 3. 15 Nükleer santralde kontrol çubukları (ROSATOM).....	26
Şekil 3. 16 Akkuyu Nükleer Güç Santral'i maketi (Akkuyu Nükleer A.Ş.).....	26
Şekil 3. 17 Nükleer santral çalışma sistemi	27
Şekil 3. 18 Nükleer reaktörün görünümü.....	28
Şekil 3. 19 Buhar türbini.....	29
Şekil 3. 20 VVER kullanılan Rus Kola Santrali (Kola Nükleer Santrali Portalı, 2021).....	34
Şekil 3. 21 Çernobil faciası.....	36
Şekil 3. 22 Grafit (MTA, 2021)	37
Şekil 3. 23 Güneş	40
Şekil 3. 24 Fotovoltaik termal sistemler	41
Şekil 3. 25 Fotovoltaik pillerin yapısı ve çalışma prensibi (ÖZTÜRK).....	41
Şekil 3. 26 Fotovoltaik etki (ÖZTÜRK).....	42
Şekil 3. 27 P N eklemi oluşumu	43
Şekil 3. 28 Güneş pili hücrelerinin birleşmesi (Karaca, 2012).....	43
Şekil 3. 29 PWM şarj regülatörü	44

Şekil 3. 30 MPPT Şarj Regülatörü.....	45
Şekil 3. 31 İnvörtör (Evirici).....	45
Şekil 3. 32 Dalga gücü seviyesinin ülke kıyılarındaki seviyesi (kiloWatt/metre) (Thorpe, 2001).....	46
Şekil 3. 33 Dalga hareketiyle türbinin dönmesi.....	47
Şekil 3. 34 OWC su kolonu (EİE, 2021)	48
Şekil 3. 35 TAPCHAN (Özdamar, 2005)	48
Şekil 3. 36 Pendular sisteminin çalışması.....	49
Şekil 3. 37 Osprey	50
Şekil 3. 38 McCabe Dalga Pompası	51
Şekil 3. 39 OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü	51
Şekil 3. 40 Pelamis'in Yapısı.....	52
Şekil 3. 41 Jeotermal kaynak oluşumu ve kullanımı (Dağıstan, 2013)	53
Şekil 3. 42 Kondenserli Kuru Buhar Jeotermal Santrali	55
Şekil 3. 43 Tek püskürtmeli sistem.....	56
Şekil 3. 44 Çift püskürtmeli sistem (DiPippo, 2012).....	56
Şekil 3. 45 Binary cycle santrali (DiPippo, 2012)	57
Şekil 3. 46 Rüzgâr türbini elektrik üretim şeması.....	59
Şekil 3. 47 Rüzgâr türbini içyapısı.....	60
Şekil 4. 1 Asit yağmuru	62
Şekil 4. 2 HES iletim kanalı nedeniyle tahrip edilen orman görüntüsü Çoruh Vadisi, Artvin	65
Şekil 4. 3 HES öncesi Erzurum Taşlıköy.....	67
Şekil 4. 4 HES sonrası Erzurum Taşlıköy.....	67
Şekil 4. 5 Kapağı açılan HES ve sonrasında oluşan sel	68
Şekil 4. 6 Çernobil faciası.....	69
Şekil 4. 7 Güneş Enerjisi.....	71
Şekil 4. 8 Yer altı salınım kuyusu boru hattı.....	74
Şekil 4. 9 Yer altı salınım kuyusu montajı.....	74
Şekil 4. 10 Greeneco Jeotermal Enerji Santralinde gerçekleşen sızıntı (Çimendağ, 2021).75	

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2. 1 Birincil enerji tüketimi.....	4
Tablo 2. 2 Dünyada birincil enerji kaynak sıralaması	5
Tablo 2. 3 Enerji kaynakları yatırımı	6
Tablo 2. 4 2018 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı.....	7
Tablo 3. 1 HES türbin sınıflandırılması.....	21
Tablo 3. 2 HES türbin çeşitleri	22
Tablo 3. 3 Reaktör türüne göre nükleer santral kullanım oranı	30
Tablo 3. 4 VVER özellikleri	35
Tablo 3. 5 Rüzgâr türbinleri sınıflandırması.....	58
Tablo 4. 1 Filtresiz çalışan 100 MW gücünde ki termik santralin kirletici etkileri (TÇSV, 2020).....	61
Tablo 4. 2 Hava kalitesi sınır değerleri (Aytaç, 2018).....	63
Tablo 4. 3 Jeotermal santrallerin diğer enerji santralleri ile gaz emisyonları açısından karşılaştırılması (ADÜTEM, 2015).....	73
Tablo 4. 4 Enerji çeşitleri CO ₂ emisyon dağılımı	77
Tablo 4. 5 2020 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı	78
Tablo 4. 6 Elektrik üretim yöntemlerinin çevresel etki tablosu (Dündar & Arıkan, 2003).79	79
Tablo 4. 7 Elektrik enerjisi üretim yöntemleri karşılaştırılması (Dündar & Arıkan, 2003) 79	79
Tablo 5. 1 Ortalama santral toplam kurulum maliyetleri (IRENA, 2021).....	81
Tablo 5. 2 Enerji santralleri ilk yatırım maliyetleri (Timilsina, 2020)	82
Tablo 5. 3 Enerji santralleri ilk yatırım maliyetleri değişimi (Timilsina, 2020).....	83
Tablo 5. 4 Enerji santralleri maliyet sabit ve değişken maliyet tablosu	84
Tablo 5. 5 Santrallerin birim enerji üretim maliyeti (IRENA, 2021)	84

ÖZET

ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN ÇEVRESEL ve EKONOMİK AÇIDAN KARŞILAŞTIRILMASI

Günlük yaşantımızın her anında, günümüzü geçirdiğimiz her ortamda elektrik temel bir ihtiyaç haline gelmiştir. Isınma, ulaşım, sanayi, aydınlatma, iletişim ve daha birçok alanda elektrik enerjisinden faydalanırız. Dünya da artan nüfus, kentleşme, sanayileşme ve sürekli gelişen teknolojik atılımlar ile beraber enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Artan bu enerji taleplerine karşılık verebilmek için günümüzde ağırlıklı olarak kömür ve doğal gaz gibi fosil kaynaklardan yararlanılmaktadır. Bu durum fosil kaynakların bilinen sınırlı rezervlerinin azalmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, yeterli fosil enerji kaynağına sahip olmayan ülkeler için ekonomik zorluklara ve ülkeler arası politik gerilimlere neden olmaktadır. Bu nedenlerden dolayı özellikle elektrik üretiminde alternatif enerji kaynaklarına yöneliş hızla artmakta ve yeni teknolojiler geliştirilmektedir. Fosil yakıt bazlı enerji üretimine alternatif olarak günümüzde en yaygın kullanılan yöntem hidroelektrik santralleridir. Bunun dışında rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, dalga ve nükleer enerji santralleri de alternatif yöntem olarak tercih edilmektedir. Bu yöntemler arasında olan rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Bu tez çalışmasında; ilk olarak elektrik enerjisi üretim yöntemleri detaylı olarak anlatılmıştır. Daha sonra literatürdeki veriler ışığında bu yöntemlerin çevresel etkileri vurgulanmış ve kurulum maliyetleri irdelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Elektrik, Enerji, Elektrik Üretim Yöntemleri, Çevresel ve Ekonomik Etkiler.

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC COMPARISON OF ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION METHODS

Electricity has become a basic need in every moment of our daily life, in every environment where we spend our day. We benefit from electrical energy in heating, transportation, industry, lighting, communication and many other areas. With the increasing population in the world, urbanization, industrialization and constantly developing technological breakthroughs, the demand for energy is increasing day by day. In order to meet these increasing energy demands, fossil resources such as coal and natural gas are mainly used today. This situation causes a decrease in the known limited reserves of fossil resources. In addition, it causes economic difficulties and political tensions between countries for countries that do not have sufficient fossil energy resources. For these reasons, the tendency towards alternative energy sources, especially in electricity production, is increasing rapidly and new technologies are being developed. As an alternative to fossil fuel-based energy production, the most widely used method today is hydroelectric power plants. Apart from this, wind, solar, geothermal, biomass, wave and nuclear power plants are also preferred as alternative methods. The interest in renewable energy sources such as wind and solar, which are among these methods, is increasing day by day. In this thesis study; Firstly, electrical energy production methods are explained in detail. Then, in the light of the data in the literature, the environmental effects of these methods were emphasized and the installation costs were examined.

Key Words: Electricity, Energy, Electricity Production Methods, Environmental and Economic Effects.

TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince bana yol gösterici olan, değerli bilgi, birikim ve tecrübeleri ile farklı açılardan bakmamı sağlayan, beraber çalıőmaktan ve her zaman öğrencisi olmaktan gurur duyduğum değerli danışman hocam Sayın Dr. Öğr. Üyesi Mustafa Kemal BALKİ'ye sonsuz teşekkür ve saygılarımı sunarım.

Bugüne kadar üstümde büyük emekleri olan ve maddi manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen canım annem Sema ERCAN'a ve canım babam Tahsin Erdiń ERCAN'a, çalıőmam süresince motive kaynağım olan ve beni cesaretlendiren canım kardeőim Emir ERCAN'a sonsuz teőekkür ederim.

Yoğun çalıőmalarım sırasında sabır gösterdiği ve bana katlandığı için değerli arkadaőım Simay YURTERİ'ye teőekkürü bir borç bilirim.

Batuhan ERCAN

1. GİRİŞ

Enerji; toplumların refah düzeyini belirleyen önemli bir belirteçdir. Ülkelerin gelişmişlik seviyeleri ile enerji arasında bir doğru orantı vardır. En az maliyetle, güvenilir, doğaya zararsız şekilde üretilen ve sürdürülebilirlik sağlanan bir enerji; ekonominin de gelişmesini ve sürdürülebilir olmasını sağlar. (Öztürk, 2006)

Gelişmiş ülkeler enerji kullanımında kaynak çeşitliliği, düşük maliyet ve sürdürülebilirlik gibi önemli kriterleri baz almaktadır. Enerji de dışa bağımlılık, ülkeler için yüksek bir tehdit oluşturmaktadır. Bu yüzden çoğu gelişmekte olan ve gelişen ülkelerin enerji stratejileri; yerel enerji kaynaklarını kullanarak, enerji de dışa bağımlılığın önüne geçmektir. Ülkemiz açısından bakacak olursak, enerjide dışa bağımlılık ülkemiz için büyük bir risktir.

Hızlı nüfus artışları, sanayileşme, yaşam standartlarının artması gibi etkenler; enerji arzının hızla artmasını etkilemektedir. Teknolojik gelişmeler ve büyük ölçekli yatırımlar ile birlikte de enerjiye olan ihtiyaç artmıştır. Enerjinin bu etkisi; ülkelerin gelişmişlik ölçütü olarak kullanılmasına yol açmıştır. (S. ERDOĞAN, 2014)

Dünyada enerji ihtiyacının çoğunluğu halen kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtlardan karşılanmaktadır. Enerji arzına bağımlı olarak fosil kaynakların gün geçtikçe artarak kullanılması; çevresel etkiler ve fosil kaynaklarının tükenmesi gibi olumsuz etkilere yol açmaktadır. (ALTUNTAŞOĞLU, 2003)

Son yıllarda ki enerjiye olan bağlılığın artması ve fosil kaynakların kullanımından doğan olumsuz etkiler ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelimler başlamıştır. Kaynak bakımından doğada sürekliliği olan ve doğal kaynaklardan elde edilen enerji çeşitine yenilenebilir enerji denir. Rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, jeotermal enerji, dalga enerjisi, hidrolik enerji ve hidrojen enerjisi yenilenebilir enerji çeşitleridir. Doğa da kendiliğinden var olan kaynaklardan elde edilirler. Kömür, petrol ve doğalgaz gibi fosil yakıtların aksine kaynaklar zamanla tükenmez. Bu yüzden fosil yakıtlara alternatiflerdir.

Yenilenebilir enerji kaynaklarının ortak özelliği; sürdürülebilir, milli kaynaklardan elde edilmesi ve çevreye dost olmalıdır. Yüksek fiyatlara ithal edilen fosil kaynakların yerine alternatif olan yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması ile yerli enerji üretimi sağlanır,

evre kirliliği en az seviyelere indirilerek ülke ekonomisine katkı sağlar ve refah düzeyinin artması amaçlanır.

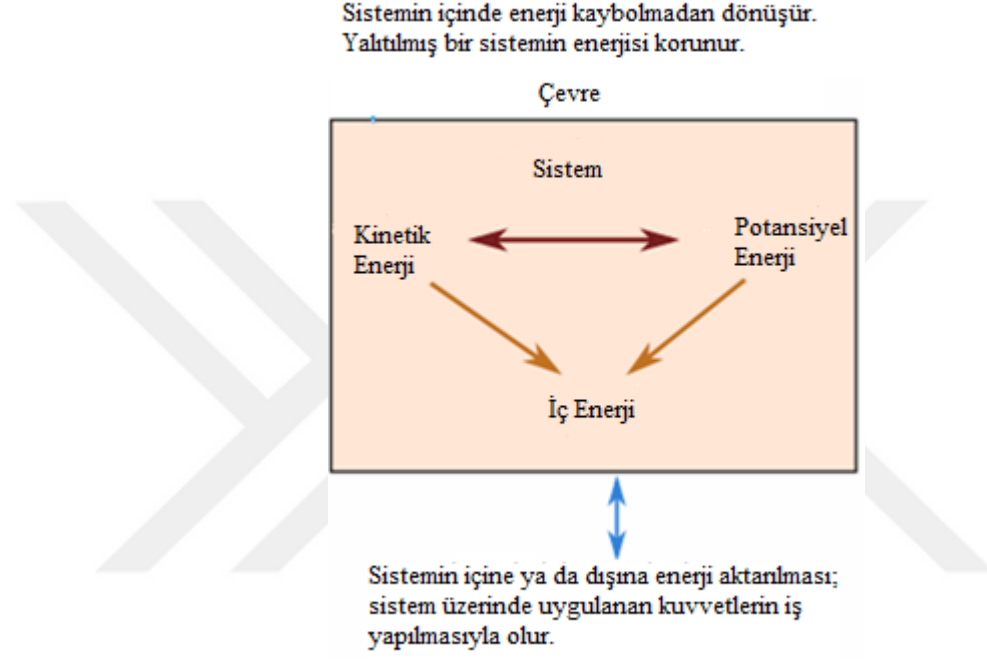
1.1. Çalışmanın Amacı ve nemi

Bu çalışmanın ilk bölümünde enerji arzı, tüketimi, çevresel etkileri ve ekonomik etkilerinden bahsedilmiştir. İkinci bölümde ise enerjinin kavramı ve şitleri, dünyada ve ülkemizde ki enerjinin kullanımı, kullanılmakta olan enerjilerin ileri tarihlerde ki potansiyelleri ele alınmıştır. nc bölümde elektrik üretim yöntemleri olarak rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi, jeotermal enerji, hidrolik enerjisi, nükleer enerji, dalga enerjisi ve bu enerjilerin kullanılarak elektrik üretildiği tesisler anlatılmıştır. Dördüncü bölümde elektrik üretiminde kullanılan enerji şitlerinin çevresel etkileri işlenerek, üretim yöntemlerinin çevresel etkilerinin kıyaslanmasına yer verilmiştir. Beşinci bölümde ise elektrik enerjisi üretim yöntemlerinin maliyet hesaplamaları incelenmiştir. İlk yatırım maliyetleri ve işletme-bakım maliyetleri işlenerek, üretim yöntemlerinin birbirleri ile olan maliyet kıyaslamasına yer verilmiştir.

2. GENEL BİLGİLER

2.1. Enerjinin Tanımı ve Çeşitleri

Enerji kısaca iş yapabilme yeteneğidir. Enerjinin tek başına bir varlığı yoktur, bir cismin özelliğidir.



Şekil 2. 1 Enerjinin dönüşümü (Fizik Dersi, 2021)

Bir sistemde ki enerji yoktan var edilemez, var olan enerji de yok edilemez. Buna enerjinin korunumu yasası denir. Kapalı bir sistemde enerji, başka bir enerjiye kayıp olmadan dönüşebilir. Şekil 1.1' de enerjinin dönüşüm şekli verilmiştir. Örnek olarak evren kapalı bir sistemdir. Evren oluştuğu dönemden beri enerji miktarı hiç değişmemiştir, sadece yer değiştirmiştir.

Enerjinin bir başka enerjiye dönüşebilen kısmına ekserji, dönüşemeyen kısmına anerji denir. (Durmuş, 2006) Enerji temel olarak 2 çeşite ayrılır, bunlar potansiyel enerji ve kinetik enerjidir. Bilinen bazı enerji çeşitleri;

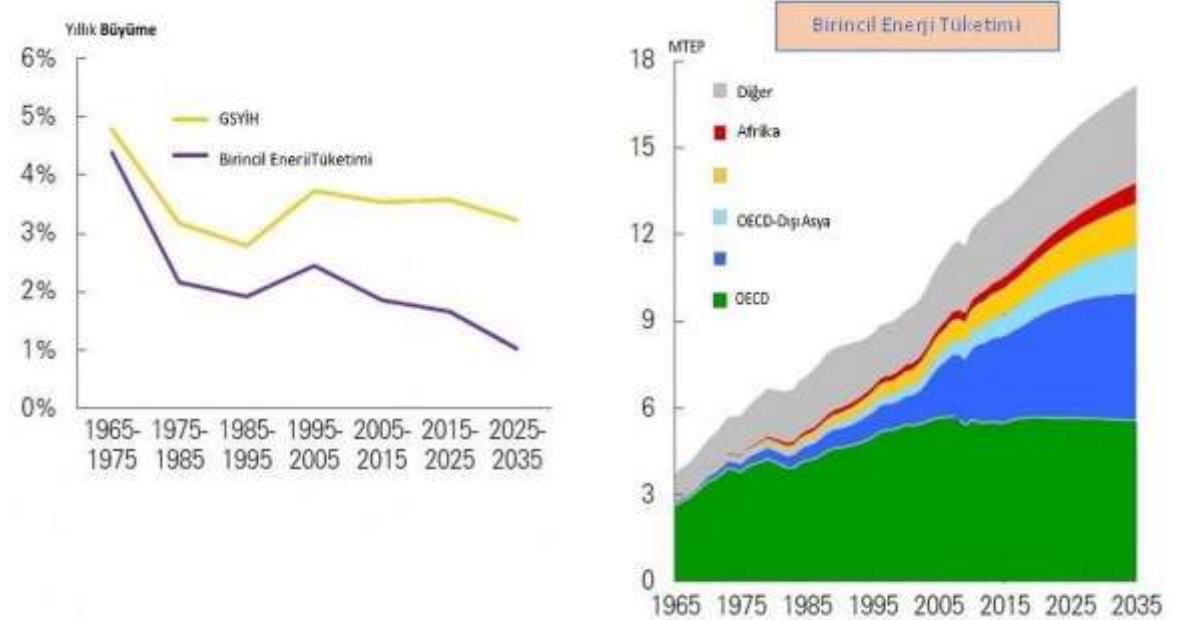
- Kinetik Enerji
- Potansiyel Enerji

- Elektrik Enerjisi
- Mekanik Enerji
- Isı Enerjisi
- Işık Enerjisi
- Ses Enerji
- Kimyasal Enerji
- Nükleer Enerji
- Elektrik Enerjisi
- Yer Çekimi Enerjisi (Beş, 2021)

2.2. Dünyada enerji kullanımı ve potansiyeli

Dünya nüfusunun artması, şehirlerde ki yapılaşma ve gelişim, sanayileşme ile birlikte dünyada ki enerji ihtiyacı günden güne artmaktadır. Dünya nüfusunun 2050 yılında 9 milyar seviyesine çıkacağını varsayarsak, daha fazla enerji tüketimi ihtiyacı doğacaktır. Dünya ekonomisinde önümüzdeki 20 yıllık süreçte yaklaşık %5lik büyüme beklenmektedir. Tablo 1.1' de dünya ekonomisi ve birincil enerji tüketimi arasındaki ilişki görülmektedir (GAZBİR).

Tablo 2. 1 Birincil enerji tüketimi



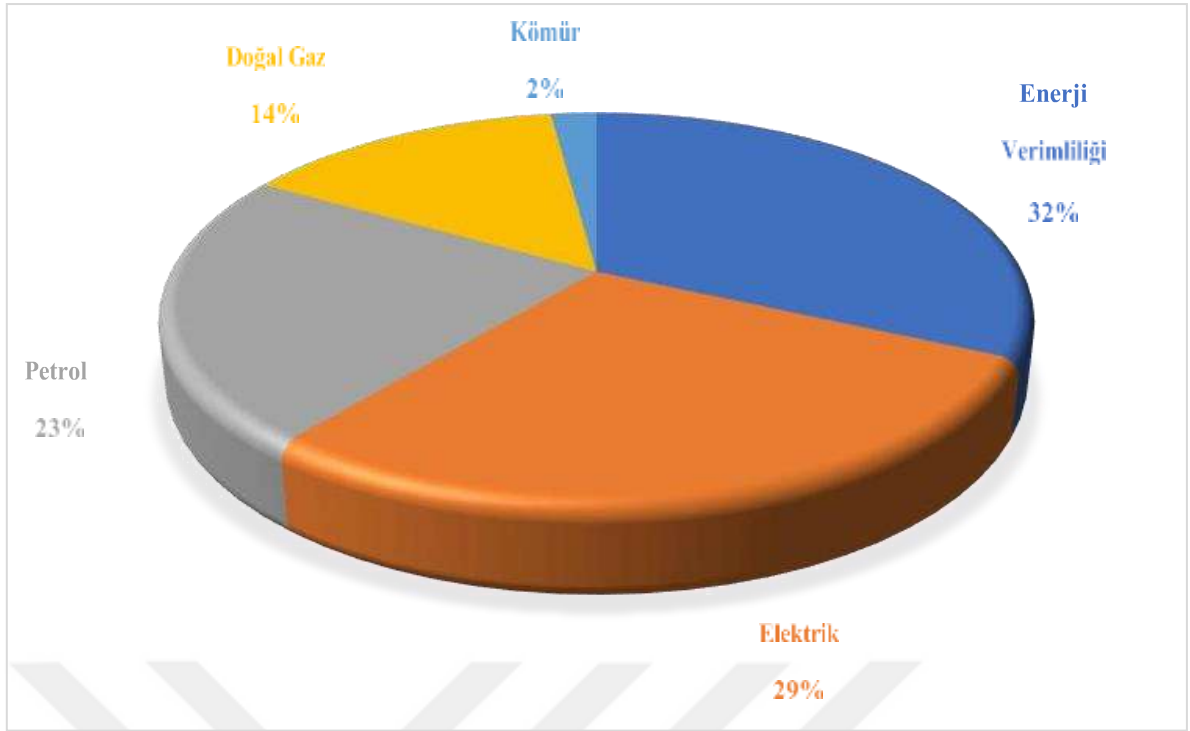
Tablo 2. 2 Dünyada birincil enerji kaynak sıralaması

ÜLKE	2013	2014	2015	Dünya Toplamındaki Payı (%)	Sıra
ÇİN	2903,9	2970,3	3014	22,9	1
ABD	2271,7	2300,5	2280,6	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	129,3	1	19
TAYLAND	120,3	123,4	124,9	0,9	20

Tablo 2.2 de ise dünyada ki birincil enerji tüketimi sıralaması gösterilmiştir.

Enerji talebi ülkelere göre farklılık gösterse de, genel olarak enerji tüketimi artış göstermektedir. Artan talep karşısında, talebi karşılayabilmek için enerji yatırımları da artan taleple doğru orantılı olarak yükselmektedir. Tablo 2.3’de Enerji kaynaklarına yapılacak yatırımı göstermektedir.

Tablo 2. 3 Enerji kaynakları yatırımı



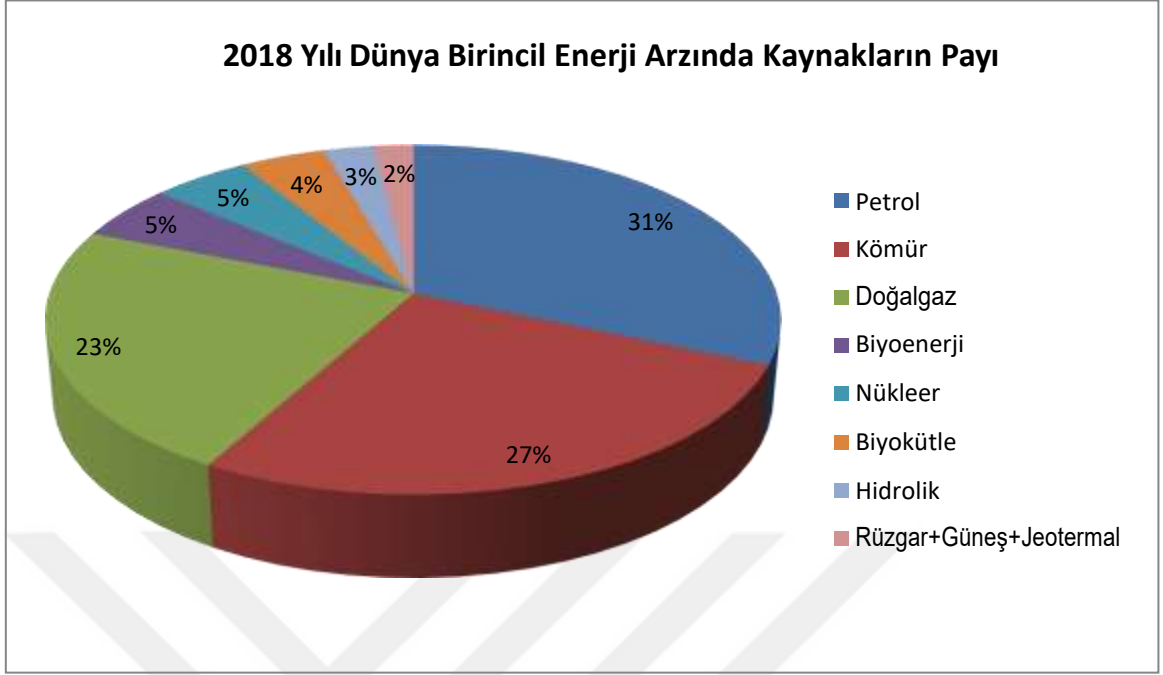
2.3. Türkiye'de enerji kullanımı ve potansiyeli

Sanayileşme, şehir yapılanması, nüfus artışları, teknolojinin kullanımı vb. nedenlerden dolayı enerji tüketimi engellenilemez şekilde artmaktadır. Artan enerji talebine karşılık ülke rezervleri karşılayamamakta olup, Türkiye enerji arzında dışa bağımlı kalmaktadır. Günümüzde genel enerji tüketiminde Türkiye olarak dışa bağımlılık oranımız %75 seviyelerindedir.

Dönüşüm ve değişime uğramamış enerjiye birincil enerji kaynakları denir. Kömür, nükleer, petrol, doğalgaz, biyokütle, güneş ve rüzgar enerjisi birincil enerji kaynaklarına örnektir.

Tablo 2.4'de 2018 yılında dünyada birincil enerji ihtiyacından kaynaklanan enerji çeşitlerinin payı verilmiştir (Çetin, 2018). Aşağıda ki dağılımdan da görüldüğü üzere listebasını petrol almaktadır. Pay sıralaması kömür, doğalgaz, biyoenerji olarak devam etmektedir. Dünyada elektrik üretimindeki sıra ise %47 kömür, %25 doğalgaz, %20 hidroelektrik olarak devam etmektedir.

Tablo 2. 4 2018 Yılı Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Payı



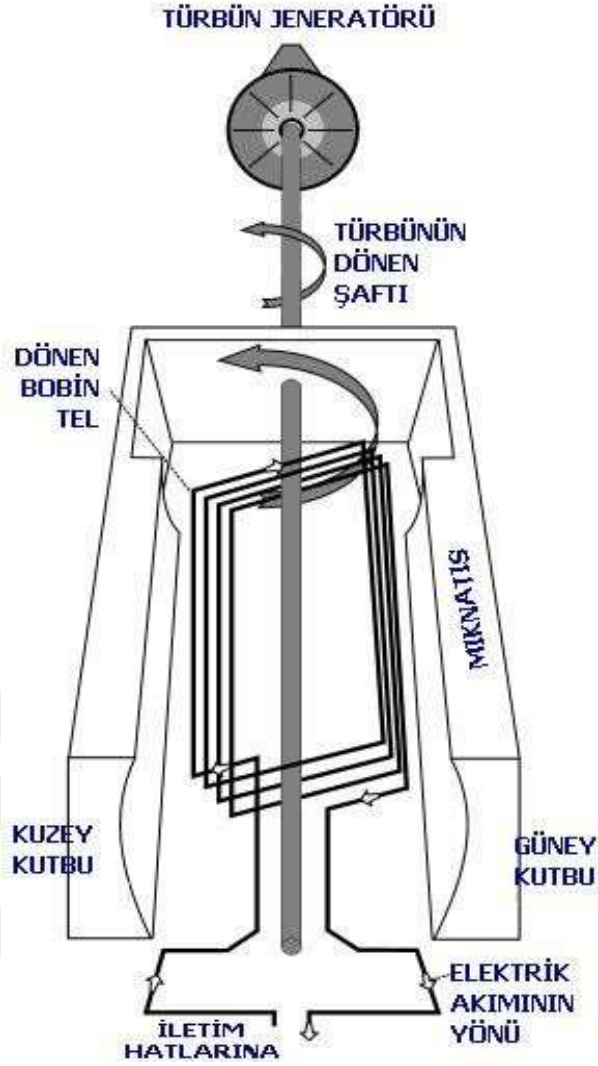
İkincil enerji kaynakları ise; birincil enerji çeşitlerinin işlenmesiyle ortaya çıkar. Benzin, elektrik, hava gazı, motorin, LPG gazı buna örnektir.

3. ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİM YÖNTEMLERİ

Elektrik bir enerji türüdür ve dört temel fiziksel kuvvetten bir tanesidir. Günümüzde elektrik her alanımızda ön plandadır. Günlük hayatta kullandığımız çoğu ürün elektrik enerjisi ile çalışmaktadır. Örneğin her gün kullandığımız telefon, televizyon, bilgisayar ya da radyo gibi haberleşme araçları için, evlerimizde kullanılan çamaşır makinesi, ütü, buzdolabı ve birçok ev eşyalarında elektrik enerjisinden faydalanırız. Sessiz çalışması, tamiri daha kolay olması, boyutça küçük olması nedeni ile bu tip cihazlarda elektrikli motor kullanımı ön plandadır.

Günlük hayatta her an ihtiyacımız olan, ofislerimizde, sanayilerde gereksinim duyulan elektrik enerjisini elde etmek için, elektrik jeneratörünü çevirecek güçte santrallere ihtiyaç vardır. Çoğu santral, jeneratörü çevirebilmek için ısı üretir. Bu ısı üretimi için hammadde santrale göre değişmektedir. Ama hangi santral olursa olsun bu santrallerde üretilen ısı, suyu buhara çevirmekte kullanılır. Ortaya çıkan buhar jeneratörün türbinine verilir. Türbinin üzerinde ki çok sayıda kanatçık üstünden geçerek, türbine dönme hareketi sağlar. Jeneratörün elektrik üretmesi için bu dönme hareketi gerekmektedir. Jeneratörde oluşan elektrik, kullanılacağı alana iletilir. Kullanılan buhar, soğutularak tekrar su haline çevrilip santralde elektrik üretme aşamasına sokulur. Oluşan kızgın buharı soğutmak için deniz, göl ya da ırmak suyu kullanılır. Bu yüzden çoğu santral deniz, göl, ırmak ya da dere çevresine kurulur. Su birikintisinden uzakta kurulan santrallerde ise büyük soğutma kuleleri kullanılır (Yıldız, 2016).

Elektrik üretim yöntemleri olarak kullanılan; termik santraller, hidroelektrik santraller, nükleer santraller, güneş santralleri, dalga enerjisi santralleri, jeotermal santraller ve rüzgâr santralleri aşağıda başlıklar halinde detaylı olarak anlatılmıştır.



Şekil 3. 1 Türbin jeneratörü (MGM, Enerji Kaynakları ve Elektrik, 2021)

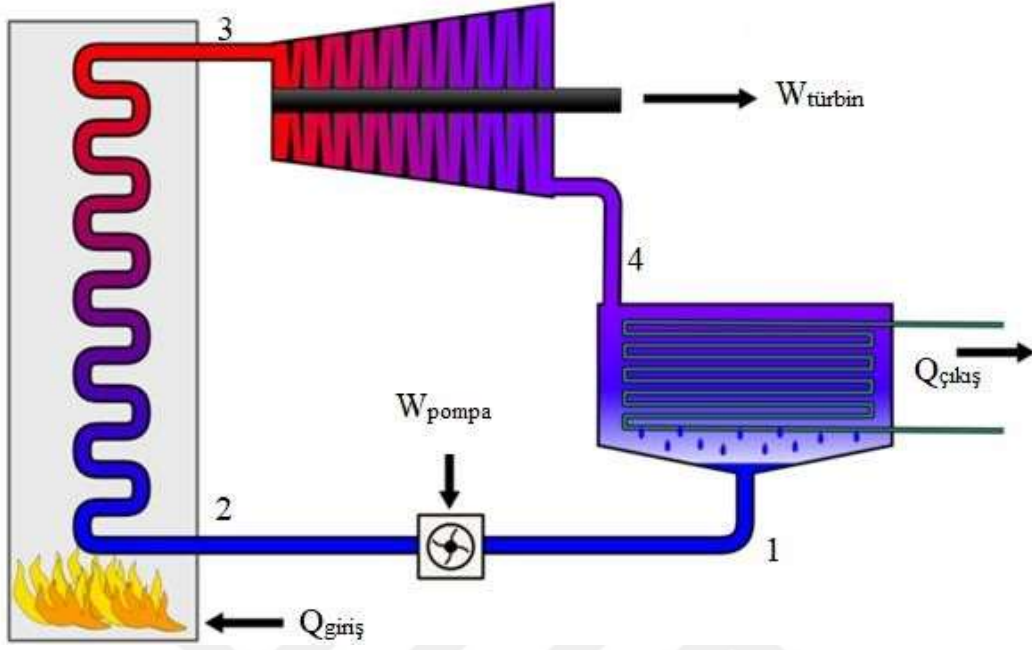
3.1. Termik Santraller

Buhar gücünden yararlanarak çalıştırılan santrallerdir. Kızgın su, buhara çevrilerek türbinin dönmesi amaçlanır. Türbinden geçen buhar, yoğunlaştırılarak suya dönüştürülür ve sisteme geri dönüştürülür.

Termik santrallerin ilk olarak elektrik üretimi amacıyla kullanıldığında verimlilik seviyeleri düşük çıkmaktaydı. Verimlilik seviyesini yükseltmek için sürekli güncellemeler ve yöntemler uygulanmaktadır. Bunlardan bazıları; geri ısıtma, süper kızdırma, besleme suyunu ısıtma gibi yöntemlerdir.

Termik santraller de kızgın suyu elde etmek için sistemde mutlaka bir yakıt kullanılması gerekmektedir. Kullanılan bu yakıt cinsi, termik santralin cinsini belirler. Örneğin yakıt

olarak petrol kullanılan bir santral; petrol santrali, kömür kullanılan bir santral ise kömür santrali olarak adlandırılır.



Şekil 3.2 Termik santral çalışma prensibi

Şekil 3.2' de bir termik santralin çalışma prensibi gösterilmektedir. Santralda ki yakıt önce kazanda ısı enerjisine çevirilerek buhara verilir. Isı enerjisine sahip olan buhar, türbinlere verilerek mekanik enerji elde edilir. Elde edilen mekanik enerji generatör yardımı ile elektrik enerjisine çevrilir. Yüksek basınç ve sıcaklık değerlerine çıkabilen buhar türbinlerde verim %40 ile %46 arasında olur. Bu tarz santrallerin işletmeleri güvenlidir ve aynı güç seviyelerinde saatlerce çalışabilir. Termik santraller iki tipte modellenir;

- Kondenseli santrallerde sadece elektrik enerjisi üretilir ve türbin kondenseye bağlıdır
- Elektrik enerjisi elde edilen santrallerde aynı zamanda 15 bar'a kadar proses buharı veya ısıtma amacıyla sıcak su elde edilir.

Sıcak su elde edilen santrallerde verimlilik %85 seviyelerine kadar çıkabilmektedir.

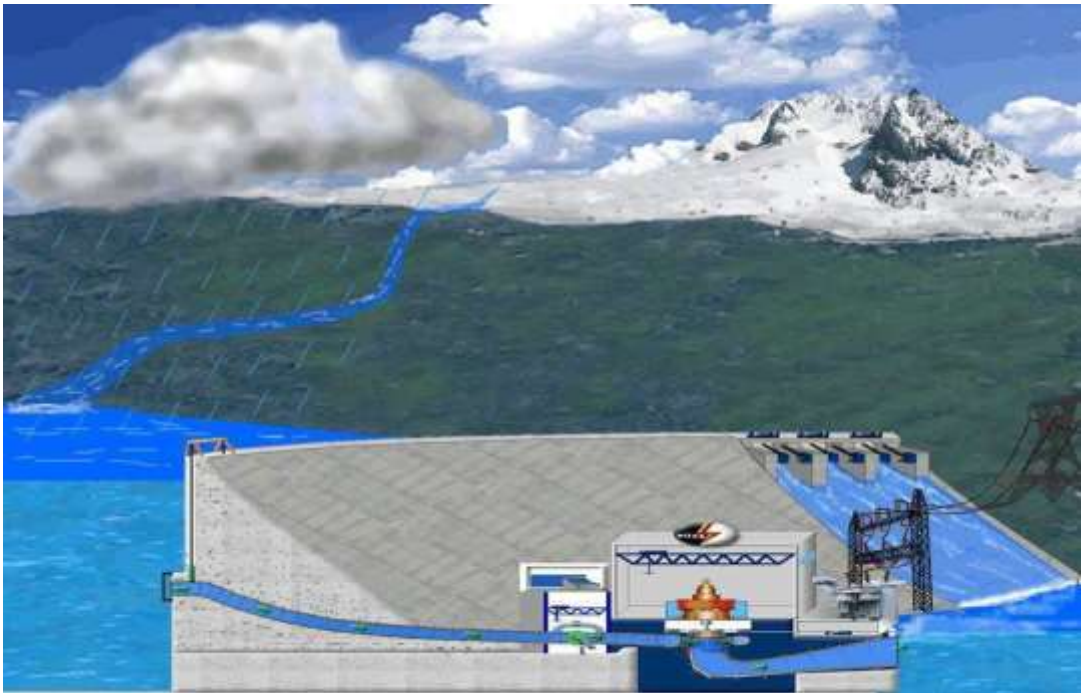
Elektrik üreten santrallerde ilk enerji çevrimi buhar kazanında olur. Yakıtın sahip olduğu kimyasal enerji yakma işlemi yapılarak elde edilen ısı, su buharına verilir. Buharın elde edildiği sistem odasına buhar kazanı veya buhar üretici denir. Bir termik santralin temelinde buhar kazanı, kazan üniteleri, generatör gibi ekipmanlar bulunur.

Yüksek kapasiteli termik santrallerde yakıt tüketimi fazla olmaktadır. Yakıt tüketiminin artması, buhar kazanları, generatör gibi sistemin geri kalan mekanizmalarının da yüksek verimde çalışmasını sağlar.

Termik santrallerde kaynak olarak ağırlıklı kömür, petrol ve doğalgaz kullanılmaktadır. Bir bakıma katı, sıvı ve gaz yakıt olarak da adlandırabiliriz. Elektrik üretiminde kaynak olarak en çok taş kömürü ve linyit kömürü kullanılmaktadır. Kaynak olarak kullanılan kömürlerin ısı değerleri 800 kcal/kg'dan 7000 kcal/kg'a çıkmaktadır. Aynı şekilde çıkan külün ağırlığa oranı %7'den %40'lara çıkmaktadır. Taş kömürünün ısı değeri 6000 kcal/kg, külünün oranı ise %9'dur. Linyit kömürünün ise ısı değeri 2500 kcal/kg, külünün oranı da %30'dur. Ülkemizde elektrik üretme amaçlı kurulan termik santrallerin çoğunda kaynak olarak linyit kömürü kullanılmaktadır.

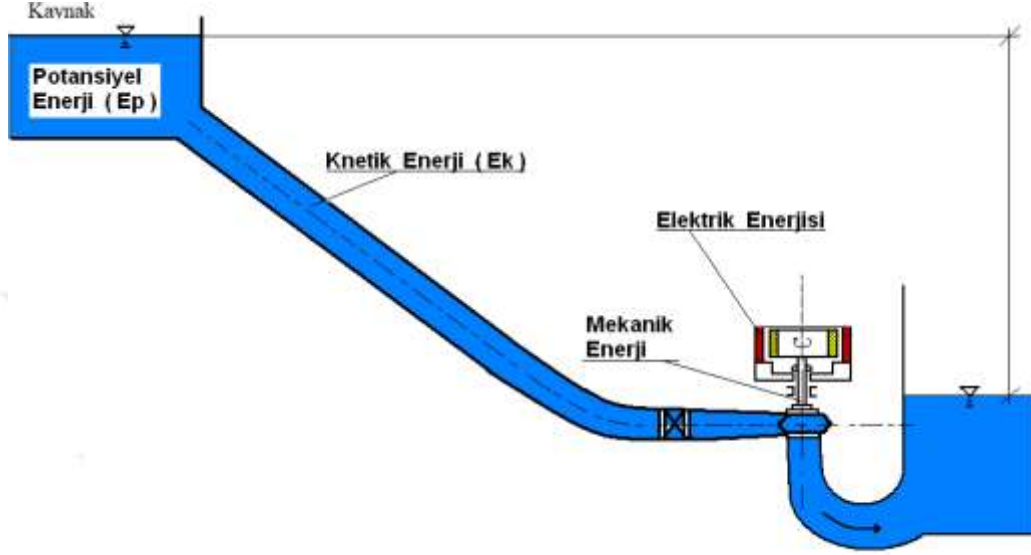
3.2. Hidroelektrik Santraller

Yükseklik kazanmış suyun potansiyel enerjisine hidrolik enerji adı verilir. Suyun akış gücünü önce mekanik enerjiye, ardından elektrik enerjisine çeviren bu enerji türüne ise hidroelektrik enerji denir. Hidroelektrik kullanılarak elektrik üreten bu tesislere ise hidroelektrik santrali denir. Hidroelektrik santraller çoğunlukla barajlar üzerine kurulur. Akan suyun gücünden yararlanılarak elektrik enerjisine çevrilen bu santrallere ülkemizde kısaca HES adı verilir. Şekil 3.3' de örnek bir HES gösterilmiştir.



Şekil 3. 3 Hidroelektrik Santrali (Cingi)

Kısaca bu sistemi özetlemek gerekirse; yükseklik kazanmış akışkan suyun yer çekimi kuvvetinden yararlanılarak aşağı yönde yol alıp türbinlere çarpması amaçlanır ve kinetik enerjiye dönüşür. Türbinin çarklarına hızlı bir şekilde çarpan bu su türbinin milini çevirerek jeneratörü devreye sokar ve elektrik enerjisi üretilir. Şekil 3.4’ de HES ile üretim aşamaları gösterilmiştir.



Şekil 3. 4 Hidroelektrik Santrali Enerji Üretim Aşaması

Bir hidroelektrik santralinde üretilen gücün miktarı;

$$P = \rho * H * \eta * Q * g$$

formülü ile bulunur. Bu formüldeki kısaltmaları şu şekilde açıklayabiliriz;

P = Hidroelektrik santralinde üretilen gücü temsil eder, birimi Watt ile ifade edilir.

ρ = Kaynağın yoğunluk derecesidir, değeri 1kg/litredir.

H = Santralin net su düşüsünü ifade eder.

Santral kaynağındaki suyun giriş yeri ile santral türbininin çıkışındaki su çıkış yeri arasında kalan yükseklik farkına su düşüsü adı verilir. Değeri metre (m) cinsindedir. Yukarıda ki formülde ise su düşüsü değil, net su düşüsü hesaba katılmıştır. Net düşü ise; sistemde hareket eden suyun sürtünmeden kaynaklı kaybettiği değer çıkarılmasıyla oluşur.

η = Hidroelektrik santralin genel yüzdellik verimi

Q = Kaynağın debi miktarıdır, birimi m^3/s veya lt/s ile ifade edilir.

g = Yerçekimi kuvvetidir, değeri $9,81 m/s^2$ kabul edilmiştir.

3.2.1. Hidroelektrik Santrallerin Sınıflandırılması

Hidroelektrik santralleri çok farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Avrupa Birliği ülkelerinde genellikle güçlerine göre sınıflandırma yapılmaktadır. Bunlar; Büyük Ölçekli HES, Küçük Ölçekli HES, Mini Ölçekli HES ve Mikro Ölçekli HES olmak üzere 4 ayrı sınıftır. Aşağıda detaylı olarak hidroelektrik santrallerin sınıfları anlatılmıştır.

3.2.1.1. Büyük Ölçekli Hidroelektrik Santraller

Bu sistemlerin gücü 50 Mega Watt'ın üzerindedir. Örnek vermek gerekirse; bir evin elektriksel gücü için 5 kW'lık bir enerji yetmektedir. $1 MW = 1000 kW$ olduğundan; $50 MW = 50.000 kW$ olacaktır. Bu da 10.000 adet evin elektriksel ihtiyacına karşılık gelir. Ortalamaya vurulduğunda bir ailede 4 kişinin olduğu varsayılırsa, 40.000 nüfuslu bir yerleşim yerinin elektrik ihtiyacına karşılık verecek bir santraldir. Üretilen elektrik enerjisi, ülkenin farklı illerine ya da farklı ülkelere aktarılabilir.

3.2.1.2. Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santraller

10 MW ile 50 MW arasında kapasitesi olan hidroelektrik santrallerdir. 20 MW'lık bir enerji; 20.000 nüfuslu 5.000 evin elektrik ihtiyacına yanıt verecektir. Genellikle çevresinde bulunduğu il, ilçe, mahalle gibi yerleşim yerlerinin elektrik ihtiyacını karşılamakta kullanılır. Türkiye'de pek çok küçük ölçekli hidroelektrik tesis bulunmaktadır.

3.2.1.3. Mini Ölçekli Hidroelektrik Santrali

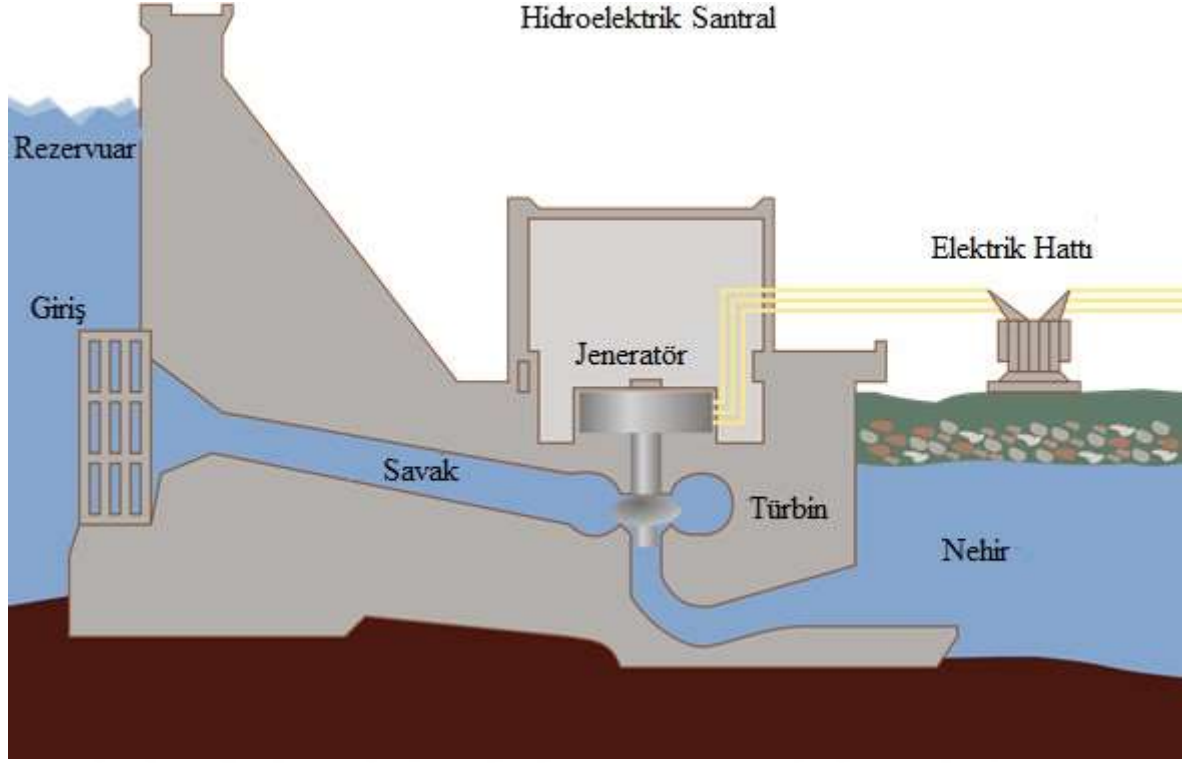
101 kW ile 1 MW (10.000 kW) arasındaki santrallere verilen isimdir. Bu tesisler genellikle ülke içerisinde ki elektrik ihtiyacında kullanılır. Daha çok kurulduğu bölge etrafındaki yerleşim alanlarının elektriksel ihtiyacını karşılar. 200 kW'lık bir güç ile 40 evin enerji ihtiyacı karşılanabilir.

3.2.1.4. Mikro Ölçekli Hidroelektrik Santrali

Bu tür santraller, ulusal enerji şebekesine elektrik enerjisi sağlayamazlar. Ana enerji şebekelerinin ulaşmadığı yerleşim alanlarında, mikro ölçekli hidroelektrik santralleri kurulur. Köy, mahalle, site ya da çiftlik gibi yerleşim alanları için yeterlidir. Toplu

yerleşimin olduğu alanlarda, ısınma, pişirme, aydınlanma gibi temel ihtiyaçları karşılamak için 100 kW'a kadar çıkabilir.

3.2.2. Hidroelektrik Santral Bileşenleri



Şekil 3. 5 Hidroelektrik Santralin Ana Parçaları

Bir hidroelektrik santral tasarımında birden çok farklı seçenekler olsa da geneli aynı ana bileşenlere sahiptir ve aynı şekilde tasarlanmıştır. Bunlardan bazıları aşağıdaki gibidir.

- **Rezervuar:** Bir hidroelektrik baraj tarafından tutulan su topluluğudur. Belirli bir potansiyel enerjisi vardır ve bu enerji elektrik üretiminde kullanılır. Rezervuarda ki suyun yüksekliği önemlidir, çünkü su ne kadar yüksekse potansiyel enerjisi de o kadar fazladır. Potansiyel enerjisi arttığı zaman, sistemin elektrik üretimi de artacaktır.
- **Baraj:** Hidroelektrik baraj; belirli bir oranda suya sahip olacak şekilde inşa edilmiş büyük bir tesistir. Barajın amacı, türbin ve jeneratör aracılığı ile suyun potansiyel ve kinetik enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülebileceği bir zemin oluşturmaktır (Mühendisliği). Barajlar suyun belirli bir yükseklikte depolandığı bir

rezervuarlardır. Suyun türbinlere çarpma hızı ve suyun yüksekliği, santraldeki elektrik üretimiyle doğrudan orantılıdır.



Şekil 3. 6 Atatürk Barajı – Bozoava/Şanlıurfa (Shah)

- **Cebri Boru:** Kaynak suyunu rezervuardan, santral türbinlerine aktaran borulara veya kanallara verilen isimdir. Genellikle malzeme olarak çelik tercih edilir. Yüksek basınçlara dayanıklıdır. Suyun türbinlere taşınmasında santralin çok önemli bir parçasıdır. Ağaç dalı ve benzeri gibi büyük hacimli atıkları sisteme sokmamak için cebri boruların ağız kısmına fitre şeklinde ızgaralar takılır.



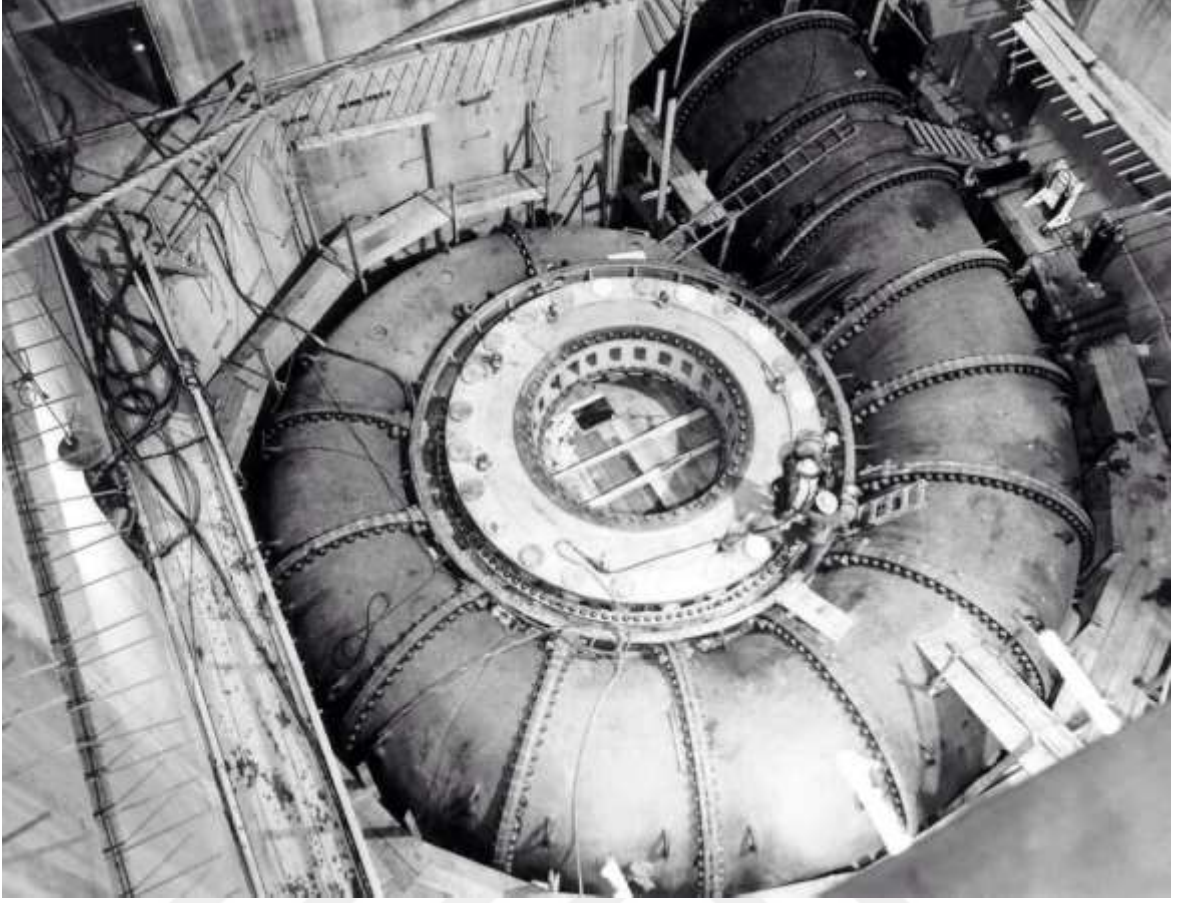
Şekil 3. 7 Bir tesisin cebri boru hattı

- **Savak:** Cebri boruların içinden akan su miktarını azaltmak ya da arttırmak için, yükseltip alçaltılabilen bir kapıdır.



Şekil 3. 8 Savak

- **Salyangoz:** Cebri borunun sonuna montajlanır. İsmi; şekil olarak salyangoza benzediğini için almıştır. Salyangoz içerisindeki basınçlı su, türbine çevresel olarak ve her noktasından eşit debide girmesini sağlar. Sabit kanatçıkları suya yön verir, açılıp kapanabilen kanatçıkları ise akan suyun debisini ayarlar.



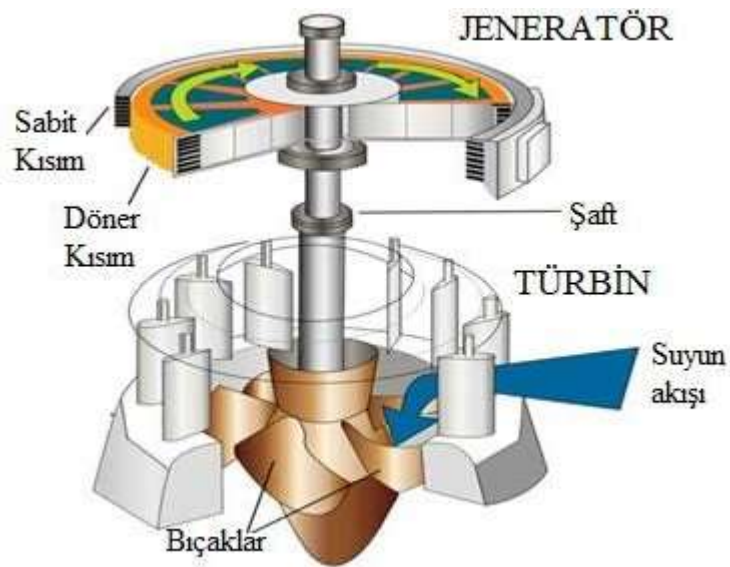
Şekil 3. 9 Salyangoz

- **Vana:** Vana; içinden geçen akışkanı kontrol edebilmek için montajlanan yardımcı elemandır. Cebri boru ile salyangozun birleşim yerinde kelebek ya da küresel olarak tabir edilen ve hidrolik basınç ile çalışan vanalar montajlanır.



Şekil 3. 10 Vana

- **Türbinler:** Türbinler; hidroelektrik santrallerinde kullanılan enerjiyi, hareket ederek sudan dönen bir şafta aktararak elektrik üreten parçadır. Türbin çarkı, türbin şaftı, türbin kapağı, hız düzenleyici sistemi, basınçlı yağ sistemi, türbin yatağı, soğutma sistemi, kumanda panosu ve yardımcı elemanlardan oluşur. Belli bir debisi olan su, türbin kanatlarına çarparak kanatların hareket etmesini sağlar. Kanatlarda oluşan hareket jeneratöre iletilerek elektrik üretimi sağlanır.



Şekil 3. 11 Türbin Şeması

- **Jeneratör:** Mekanik enerjiyi, elektrik enerjisine çeviren makinelerdir. Rotor ve stator olarak iki parçadan oluşur. Jeneratör rotoru, türbinin dönme hareketi ile döndürülür. Rotorda oluşan doğru akım, sabit manyetik alan oluşturur. Manyetik alan, stator üzerinde döner manyetik alan etkisini ortaya çıkartır. Stator da oluşan manyetik alan, elektrik enerjisini oluşturur.

- **Transformatörler:** Gerilimi alçaltmak yada yükseltmek için kullanılır.
- **Şalt Alanı:** Yüksek gerilim enerjisinin, iletim hatlarıyla olan bağlantı noktasıdır.

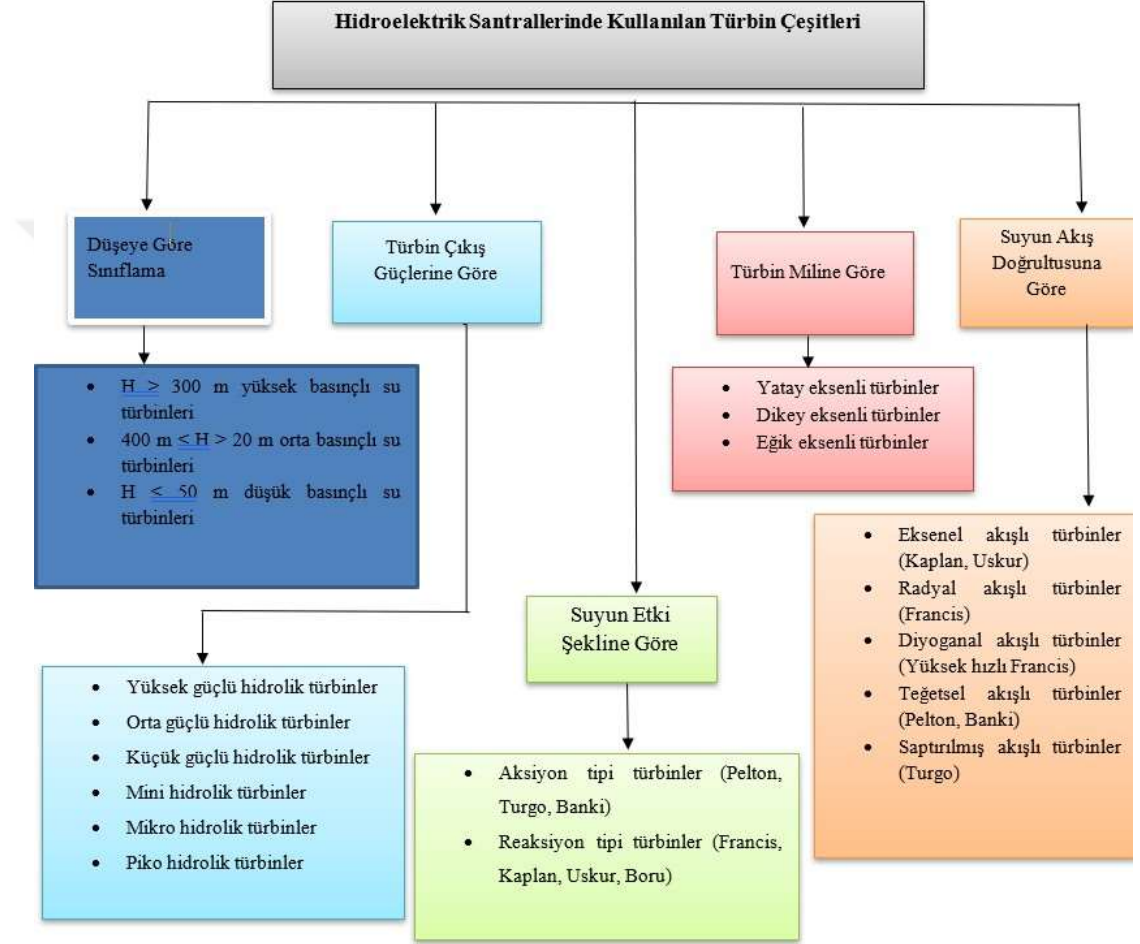
Gerilimin yüksek formdan alçak ya da ters forma dönüştürüldüğü, elektrik üretim, iletim ve dağıtımın olduğu bir bölgedir.

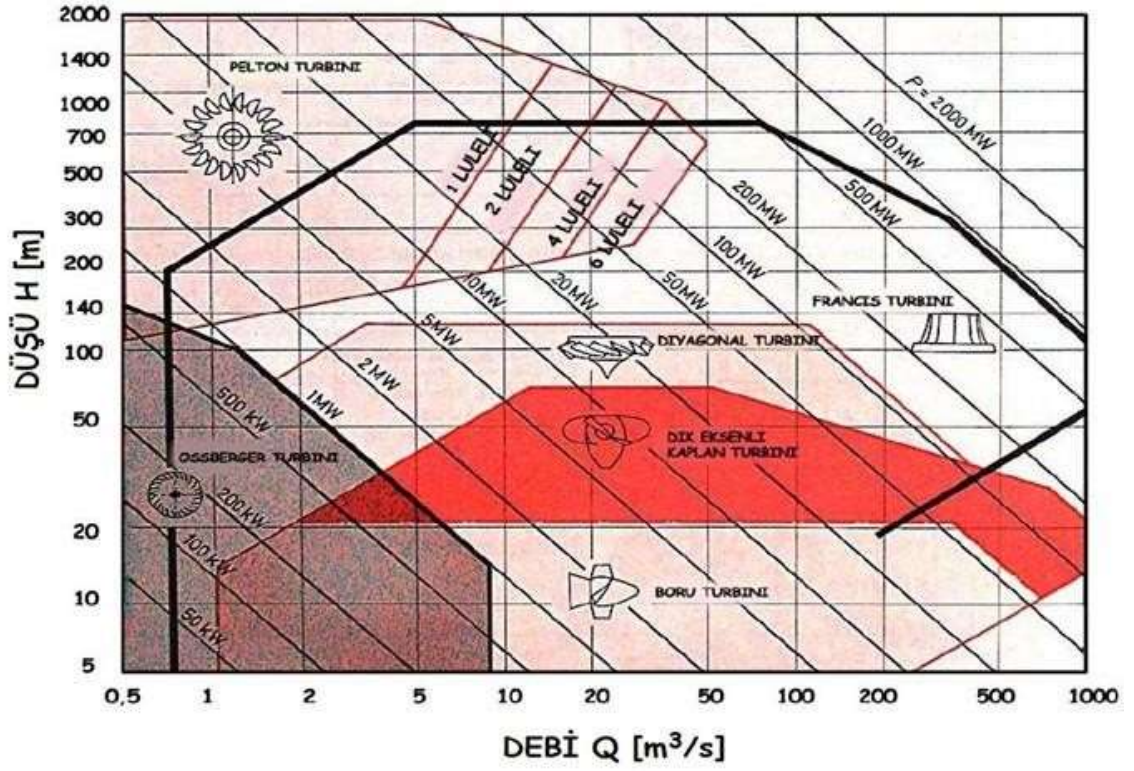


3.2.3. Hidroelektrik Santrallerinde Kullanılan Türbin Çeşitleri

Türbinler; kaynak suyunun hidrolik enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren parçalardır. Kullanılan akışkanın türüne göre türbinin çeşidi değişebilir. Bu tarz tesislerde kullanılan türbinlere su türbini ismi verilir. Su türbinleri; kullandıkları alanlara, üretilen güce, kaynağın akışına göre gibi pek çok şekilde sınıflandırılabilirler.

Tablo 3. 1 HES türbin sınıflandırılması





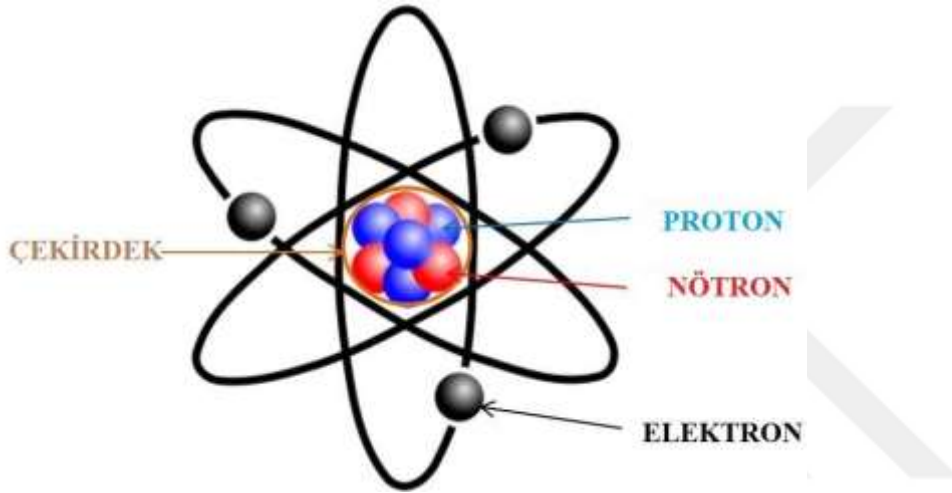
Şekil 3. 12 Debi ve Düşü değerlerine göre türbin çeşitleri (50 kW – 200 MW)

Tablo 3. 2 HES türbin çeşitleri

PELTON TÜRBİNİ	TURGO TÜRBİNİ	BANKİ TÜRBİNİ	FRANCİS TÜRBİNİ	KAPLAN TÜRBİN ÇARKI
				

3.2.4. Nükleer Santral

Uranyumun keşfi, daha sonrasında X ışınlarının keşfi, radyoaktivitelerin keşfi.. Hepsi nükleer enerji için bir tarih ifade eder. 1911 yılında Rutherford'un sonlandığı çalışmaya kadar, dünya da atomun bir bütün olduğu ve parçalanamaz olduğu fikri hâkimdi. Rutherford yaptığı çalışmalar ile atomun merkezinde çekirdek olduğunu ve bu çekirdeğin etrafında dönen elektronlar olduğunu dünyaya kanıtladı. Rutherford yaptığı bu çalışma ile dünya fizik tarihinin temelini atmış oldu.



Şekil 3. 13 Atom modeli

Çalışmalarına devam eden Rutherford, çekirdeğin proton ve nötrondan oluştuğunu keşfetti. Bu çalışmalar sonucunda atom bombası üretildi ve savaşlarda kullanılmaya başlandı. Atom bombaları; çekirdeğin tepkimesinden yararlanılarak üretilen bir nükleer silahtır. Tepkime birbirine bağlantılı ve çok yüksek hızda gerçekleştiği için, patlama sonucunda çok yüksek miktarda enerji ortaya çıkar. 1945 yılında 2. Dünya Savaşı sırasında ABD, Hiroşima ve Nagazaki kentlerine atom bombası atarak binlerce kişinin ölümüne neden açtı. Bu yaşanan acı olay 2. Dünya Savaşının son bulmasına neden açmıştır.

Atom çekirdeğinin nötron bombardımanı ile parçalanmasına fisyon (ayrışma) adı verilir. Her parçalanmadan sonra ortaya enerji ve yaklaşık 2-3 adet nötron çıkmaktadır. Zincirleme tepkimesi olan bir sistemde; bu ortaya çıkan nötronlar sisteme yeniden dâhil edilir ve sistemin sürekliliği sağlanır.

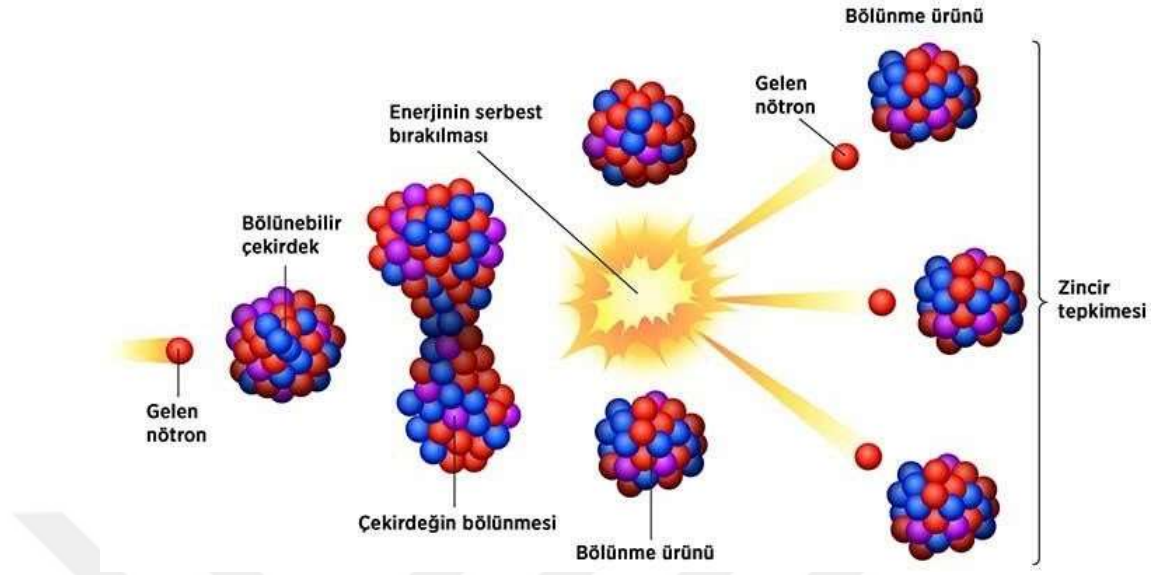
Hafif atom çekirdeklerinin birleşme tepkisine ise füzyon adı verilir. Füzyon tepkimesinin oluşması için; atom çekirdeğinde ki (+) yüklerin birbirlerini itmesinden doğan kuvvetin

yenilmesi gerekir. Yüksek sıcaklık değerlerinde yüksek enerjiye ulaşan atom çekirdeklerinin birbirleri ile çarpışması sonucunda füzyon tepkimesi ortaya çıkmaktadır. Fızyon ve füzyon tepkimeleri ile elde edilen enerjiye; nükleer enerji denir. (EMO)

Nükleer kelimesi Latince çekirdek anlamına gelir. Maddeleri oluşturan atomların merkezinde bir çekirdek bulunur ve çekirdeğin etrafında elektronlar döner. Çekirdekte ise nötron ve proton adında iki parçacık bulunur. Çekirdeği oluşturan nötron ve proton birbirlerine muazzam bir çekim kuvveti ile bağlıdır. Ancak bazı elementlerin çekimleri çok büyüktür. Örneğin Uranyum'un çekirdeğinde 238 tane proton ve nötron vardır. Uranyum'un çekirdeği çok büyük olduğu için bazı nötron ve protonlar çekirdeğinden dışarı fırlar. Etrafa yayılan bu parçacıklara radyasyon denir. Radyasyon; gözle görülemezler ve insan vücudundan geçebilirler. İnsan vücudundan geçen radyasyon, hücrelerimizdeki DNA yapımıza zarar verir. DNA yapısı zarar gördüğünde, kontrolsüz hücre bölünmeleri başlar. Bu kontrolsüz hücre bölünmelerine kanser denir.

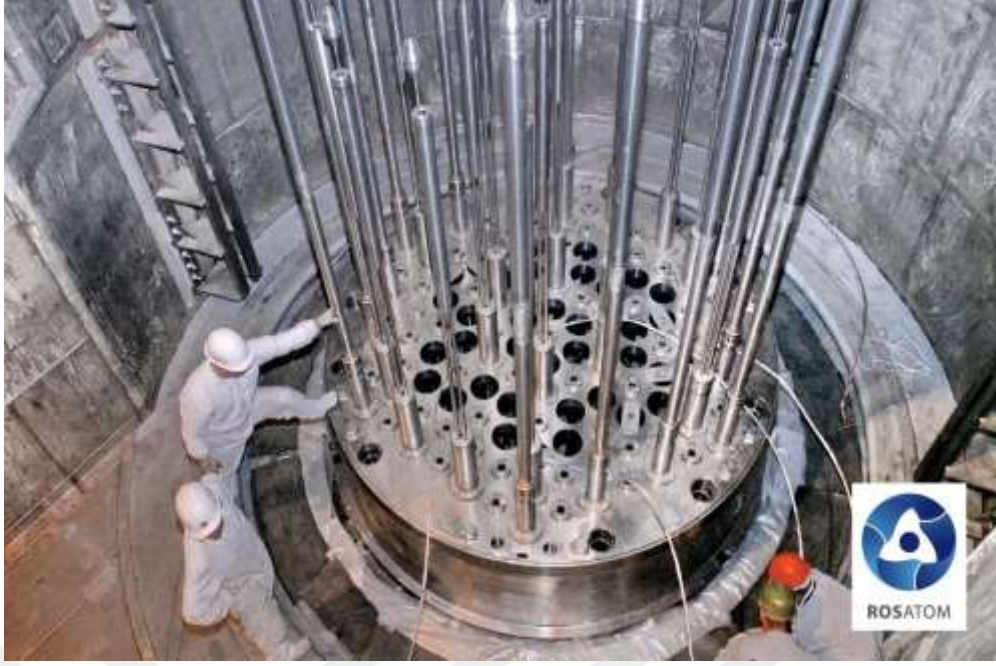
Einstein ilk kez atomun çekirdeğini parçalamayı başardığında; amaç elektrik üretmek yerine nükleer silahlar üretmekti. Nükleer enerji sonucunda çıkan enerjiden elektrik üretebilmek de mümkün. Nükleer reaksiyondan elektrik üretebilmek için, açığa çıkan çok güçlü enerjiyi kontrol altına almak gerekir.

Elektrik üretebilmek için, bir Uranyum elementi bir nükleer reaktörün içinde kontrollü bir şekilde parçalanır. Reaktörün içinde başlatılan zincirleme reaksiyon sırasında kısa süre içerisinde çok sayıda nötron parçacığa açığa çıkar.



Şekil 3. 14 Uranyum'un nükleer bölünmesi

Bu reaksiyonun hızlı bir şekilde gerçekleşip bir atom bombasına dönüşmemesi için yavaşlatılması gerekir. Bu yüzden reaktörün içinde genellikle bor elementinden yapılmış çok sayıda kontrol çubuğu vardır. Bor elementi çok etkili bir nötron tutucusu olduğu için kontrol çubukları genelden bordan yapılır. Kontrol çubukları reaktöre doğru sokulduğunda tepkimede açığa çıkan nötronlar tutulur ve tepkime yavaşlamaya başlar. Kontrol çubukları tamamen kaldırıldığında ise nötron sayısı artar ve tepkime maksimum hıza ulaşır. Ancak nükleer tepkimeler çok yüksek enerjiyle gerçekleştiği için bazen reaksiyon kontrol edilemez hale gelir. Örneğin; Çernobil santralinde yaşanan patlamada reaktörün çekirdeği aşırı ısı üretti ve kendini eritti. Açığa çıkan ısı o kadar fazlaydı ki kontrol çubukları da tepkimeye dâhil olarak enerjinin normalin çok üstüne çıkmasına ve reaktörün patlamasına yol açtı.

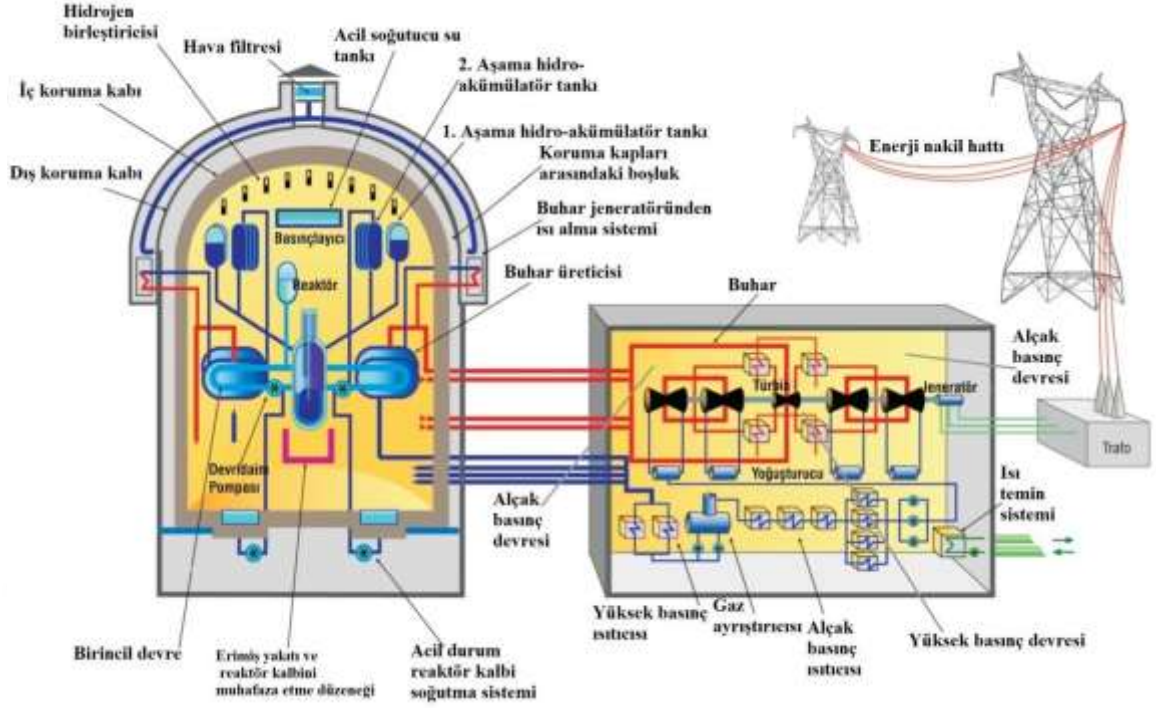


Şekil 3. 15 Nükleer santralde kontrol çubukları (ROSATOM)

Nükleer reaksiyon sırasında açığa çıkan ısıyı soğutabilmek için, ısıyı iletebilen bir madde olan su kullanılır. Nükleer reaksiyon sırasında açığa çıkan sıcaklık suyu kaynatır ve buhara çevirir. Oluşan buhar basınçlı borular yardımı ile türbinleri döndürmek için kullanılır. Türbinler döndükçe oluşan hareket enerjisi, elektrik enerjine dönüştürülür. Nükleer reaktör çalışırken bol miktarda su gerektiği için reaktörler bir su kaynağının yanına inşa edilirler.



Şekil 3. 16 Akkuyu Nükleer Güç Santral'i maketi (Akkuyu Nükleer A.Ş.)



Şekil 3. 17 Nükleer santral çalışma sistemi

Nükleer santral çalışma sistemi şeklinde görüldüğü gibi nükleer santraller; nükleer reaktör bölümü ve türbin bölümü olmak üzere iki ana yapıdan oluşurlar. Nükleer reaktör kısmı santralin temel yapısıdır. Bu kısımda, nükleer reaktör, reaktör basıncı, soğutma suyu pompaları, buhar jeneratörü gibi bileşenler bulunur. Bu kısımda hava sızdırmaz yapıdadır. Bunun nedeni ise kontrolsüz bir fisyon tepkimesi sonucunda dış ortama salınabilecek radyasyon maddeleridir. Bunu önlemek için bu şekildeki yapıların imalatında çelik karışımı betonlar tercih edilir.

3.2.4.1. Nükleer Santralin Bileşenleri

Nükleer santraller bir çok bileşenin bir araya gelmesiyle oluşur. Santrallerin yapısına göre bunlar farketsede bir çoğunda ortak bileşenler kullanılır. Bunlardan bazıları aşağıdakiler gibidir.

- **Nükleer Reaktör:** Nükleer santralin ana parçasıdır. Reaktörün görevi yakıt olarak kullanılan hammaddeyi, nötron yardımı ile fisyon tepkimesine sokarak süreklilik sağlamak ve bu tepkimeyi kontrol altında tutabilmektir.



Şekil 3. 18 Nükleer reaktörün görünümü

- **Buhar Jeneratörü:** Isının derecesini değiştirmekte kullanılır. Reaktörden elde edilen çok yüksek ısı enerjisini, besleme suyu ile buharlaştırır.
- **Basınçlandırıcı:** Basınçlandırıcının görevi, birinci devrede ki soğutma suyu döngüsünde kaynamanın meydana gelmemesi için yüksek basınç sağlaması ve basıncı kontrol etmesidir. İçerisindeki sıcaklık 345 ° C de sabit tutulur.
- **Reaktör Soğutucu Pompaları:** Birincil soğutucuyu, birincil devreye pompalamakla görevlidir.
- **Buhar Türbini:** Buharın kinetik enerjisinin mekanik enerjiye çevirildiği bölümdür.



Şekil 3. 19 Buhar türbini

- **Jeneratör:** Buhar türbininde elde edilen mekanik enerjiyi elektrik enerjisine çevirmekle görevli parçadır.
- **Kondenser:** Türbinde kullanıldıktan sonra ortaya çıkan buharı yoğunlaştırarak suya çevirir. Buradan çıkan su, pompa yardımıyla soğutma kulesine iletilir.
- **Su besleme sistemi:** Sisteme yeterli su sağlamakla görevlidir.
- **Atık Toplama Sistemi:** Radyoaktif madde içeren katı, sıvı ve gaz atıkları ayrıştırma sistemidir. Katı, sıvı ve gaz atıklar ayrı ayrı işlem görülür. Bir nükleer santral de katı atıklar yüksek önem taşımaktadır. Katı atıklar önce cam ile kaplanır, daha sonra tuz odalarında saklanırlar.
- **Ölçü, kontrol ve koruma odası:** Nükleer santralin bütün işlemlerinin izlendiği bölümdür. Yetkili kişiler tarafından her an kontrol edilir.
- **Basınç kabı:** İçinde yakıtları ve yüksek basınçlı soğutma suyunu bulunduran, buhar üretmek amaçlı kullanılan bölümdür. Kalınlığı 25-30 cm'dir.
- **Koruma kabı:** Basınç kabı, buhar üreticiler gibi reaktörün bileşenlerinin korunduğu kaptır. İç kısmı çelik zırh ile kaplıdır. Dış kısmı ise yaklaşık 5 metre kalınlığındaki beton ile kaplıdır. (S., 2005)
- **Güvenlik Sistemleri:** Asıl görevleri reaktörü kapatmak ve kapalı durumda kalmasını kontrol etmektir. Radyoaktif maddelerin salınımı ölçülür.

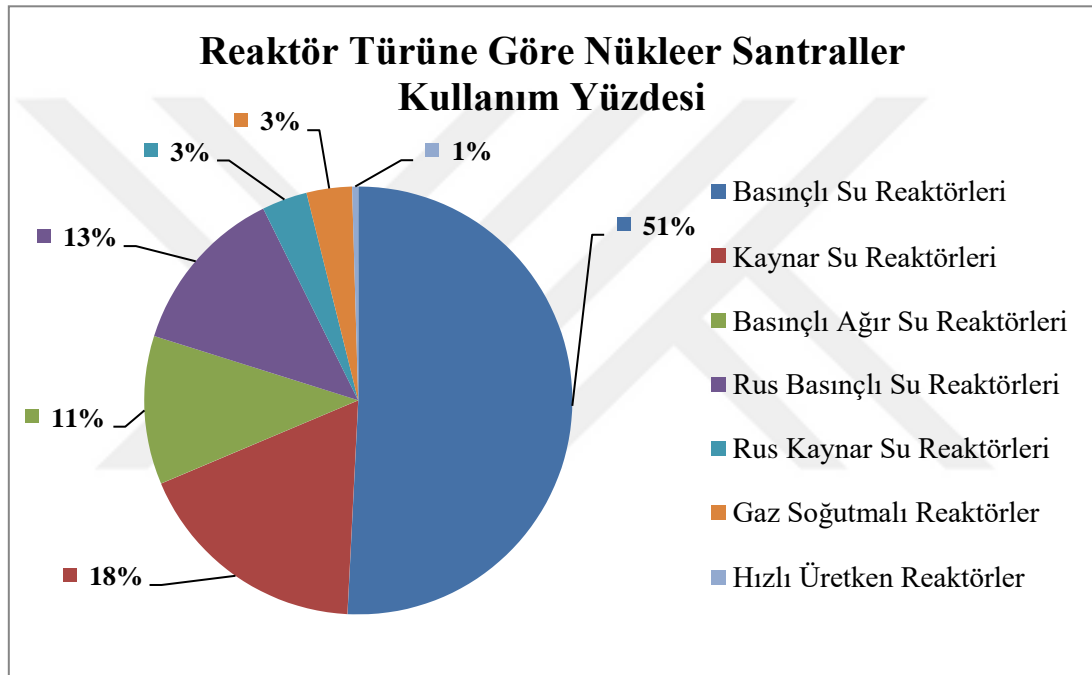
3.2.4.2. Nükleer Santral Türleri

Nükleer santraller genelde reaktörlerine göre sınıflandırılır. Dünyada bir çok reaktör modellenmesi yapıp geliştirilmiştir. Ama bunlardan bir çoğu maaliyetli ve işletilmesi zor

olduğundan tercih edilmemiştir. Reaktörler kendi aralarında soğutucu olarak kullanılan maddeye göre sınıflandırılır. Günümüzde kullanılan reaktörlerin çoğu soğutucu olarak bizimde günlük hayatta çok sık kullandığımız suyu tercih etmiştir. Geri kalan reaktörler ise soğutucu olarak gaz veya ağır su kullanmaktadır.

Reaktörleri türlerine göre 7 farklı sınıfta inceleyeceğiz. Bunlar; Basınçlı Su Reaktörleri, Kaynar Su Reaktörleri, Basınçlı Ağır Su Reaktörleri, Rus Basınçlı Su Reaktörleri, Rus Kaynar Su Reaktörleri, Gaz Soğutmalı Reaktörler ve Hızlı Üretken Reaktörler'dir.

Tablo 3. 3 Reaktör türüne göre nükleer santral kullanım oranı



Basınçlı Su Reaktörleri

Dünyada kullanılmakta olan nükleer santrallerin %51'i basınçlı su reaktörü kullanmaktadır. Kısaltma olarak İngilizce ismi olan Pressurized Water Reactor (PWR) kelimelerinin baş harfleri olan PWR kullanılır. Bu reaktörlerde soğutucu ve yavaşlatıcı olarak su kullanılır. Genel olarak su basınçlandırılarak çekirdeğe iletilir ve fisyon tepkimesi sonucu ısınır.

Dünyada ilk kullanımı 1957 yılının Aralık ayında Amerika'da ki Shippingport reaktöründe olmuştur. 68 MW elektrik gücüne sahiptir. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017) 3 farklı soğutucu su döngüsü vardır. Bunlar; birinci soğutma suyu döngüsü, ikinci soğutma suyu döngüsü, üçüncü soğutma suyu döngüsüdür.

- **Birinci Soğutma Suyu Döngüsü:** Basınç kabının içerisindeki çekirdeklerin fisyon tepkimesi sonucunda yüksek enerji açığa çıkar. Bu enerji soğutucu olarak kullanılan suyu ısıtır. Sıcaklığı artan su, buhar üreticisine gönderilir. Buhar üreticinden çıkan su, tekrar basınç kabına iletilir. Bu yapılan işlem, birinci soğutma suyu döngüsüdür.

Birinci soğutma suyu döngüsü, soğutucu suyun buharlaşmasını önlemek için sürekli yüksek basınç altındadır. Yüksek basınçlara çıkabilmesi için sistemde basınçlandırıcı kullanılır. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017)

Basınç kabı ile buhar üreticisi arasında soğutucu suyun sürekli devir-daim etmesini sağlayan yüksek kapasiteli pompalar kullanılır. Bunlara reaktör suyu soğutucu pompası adı verilir.

- **İkinci Soğutma Suyu Döngüsü:** İkincil döngüde, buhar türbinine giren su, ısı değişimi ile buhara çevirilir. (Maabir Portalı, 2020) Bu döngüye besleme suyu adı verilir.

Açığa çıkan buhar türbine iletilir. Türbinin yapısında ki kanatçıklara çarpan buhar mekanik bir enerji ortaya çıkartır. Sonucunda bu enerji elektriğe dönüştürülür ve santralde elektrik üretimi sağlanmış olur.

Türbin kanatlarına çarparak enerjisini kaybeden buhar yoğuşturucu bölümünden geçirilerek yoğunlaştırılır ve su haline geri döner. Ortaya çıkan su sisteme tekrar dâhil edilmek üzere pompalar ile santrale iletilir.

- **Üçüncü Soğutma Suyu Döngüsü:** Üçüncü döngü; enerjisini kaybeden buharın, nehir ya da deniz suyu yardımı ile yoğunlaştırılması ve tekrar nehir ya da denize verilmesidir. Yoğuşturucuya giren deniz suyu ile buhardan oluşan su arasında sıcaklık farkı olduğu için, santralden denize basılan su deniz suyunun ısısında farklılık olmasına ve deniz suyunun ısınmasına yol açar.

Nükleer santraller genel olarak deniz ya da nehirlerin olduğu su birikintilerinin yanına kurulur. Nehir kenarlarına kurulan santraller de nehir suyunun sistemi soğutmasında yeterli olmayacağı için, üçüncü soğutma su döngüsüne devesal soğutma kuleleri dâhil edilir. Deniz kenarına kurulan nükleer santraller de ise soğutma kulelerine ihtiyaç duyulmaz. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017)

Kaynar Su Reaktörleri

Kaynar su reaktörleri, basınçlı su reaktörlerinden sonra %18 kullanım ile ikinci sıradadır. İngilizce ismi olan Boiling Water Reactor(BWR)'ün baş harfleri olan BWR ile kısaltma olarak gösterilir. Dünyada ilk kullanımı 1961 yılında Dresden-1 reaktörüdür. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017) Yakıt yenileme esnasında üretimine 4 ile 6 hafta arasında bir zaman kadar ara verilmesi gerekir. (Odası, 2006)

PWR'lere göre daha düşük basınçta dırlar ve iki farklı soğutma suyu döngüsü kullanılır. PWR'ler de olduğu gibi hem soğutucu hem yavaşlatıcı olarak suyu kullanırlar.

- **Birinci Soğutma Suyu Döngüsü:** BWR'ler de su direk reaktöre iletilir. Reaktörde açığa çıkan enerji ile su ısınır ve buharlaşır. Buhar boru hatlarıyla iletilerek nem ayırıcı ve buhar kurutucudan geçer. Burda işlem gördükten sonra türbine gelir. Türbin kanatlarına çarpan buhar, jeneratör yardımıyla elektrik üretimini sağlamış olur. Enerjisini kaybeden buhar yoğuşturucuya girerek su haline döner. Pompalar yardımı ile tekrar buhar oluşması için reaktöre iletilir.
- **İkinci Soğutma Suyu Döngüsü:** İkinci soğutma döngüsünde ise türbin kanadına çarparak enerjisini veren buhar, deniz ya da nehir suları ile veya soğutma kuleleri yardımıyla soğutulurak sıvı haline döndürülür. (Maabir Portalı, 2020)

Basınçlı Ağır Su Reaktörleri

İngilizce ismi Pressurized Heavy Water Reactor (PHWR)'dür. Kısaltmasını İngilizce isminin baş harfleri olan PHWR'den almıştır. Dünyada nükleer santrallerin %11'i basınçlı ağır su reaktörü kullanmaktadır.

Hidrojen atomunun izotopu olan Döteryum atomu Hidrojen gibi 1 protona sahiptir. Fakat 1 adet nötronu olduğu için ağırlık olarak Hidrojen atomunun iki katıdır. Döteryum içeren suya; ağır su (D₂O) ismi verilir. PWR ile aynı özellikleri taşımaktadırlar. Farklılıkları; PWR'ler soğutucu ve yavaşlatıcı olarak su kullanırken, PHWR'ler soğutucu ve yavaşlatıcı olarak ağır su (D₂O) kullanır. PWR'ler gibi soğutucuyu basınç altında tutarak kaynaması önlenir.

PHWR'lerin yaygın olarak kullanılması ve geliştirilmesi ağırlıklı olarak KANADA tarafından gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu reaktörlere CANDU kısaltma ismi verilir.

Kısaltmasını CANada Deuterium Uranium'dan almıştır. CANDU reaktörlerinin verimi %29,3 olarak açıklanmıştır. (S, 2014)

PHWR'ler de yakıt olarak doğal uranyum (U) ve ağır su (D₂O) kullanılması, diğer reaktör tiplerinden ayıran en belirgin özelliklerdir. Maaliyet açısından yakıt olarak kullanılan doğal uranyum daha ucuzken, soğutucu ve yavaşlatıcı olarak kullanılan ağır su (D₂O) oldukça pahalıdır. Yakıt değişimi makine sayesinde yapıldığı için bu tip reaktörlerde yakıt değişimi sırasında üretim durmaz. Santral üretim esnasında iken yakıt değişimi, yakıt değişimi makinesi ile yapılabilir. (Agarwal, 2003)

Rus Basıncılı Su Reaktörleri

Sovyetler Birliği ve Rus yapımı bir reaktördür. Kısaltmasını; İngilizce ismi Vodo-Vodyanoi Energetichesky Reaktor olan baş harflerinden almıştır (VVER). Kısaltma olarak VVER kullanılır. Tercümesi su ile soğutulan ve su ile yavaşlatılan olarak çevirilebilir.

Dünyada bu türbinlerin kullanımı %13 seviyelerindedir. Yavaşlatıcı ve soğutu olarak su kullanılır. PWR'ler den farklı olarak buhar üreticisi yatay olarak montajlanır ve yakıt takımı altıgen görünümündedir. VVER'ler; PWR reaktörlerine göre çok yüksek derecede emniyet önlemleri alınmıştır. (H, 2011 Ekim) Başlarda Rusya ve eski Sovyetler Birliği ülkelerinde kullanımı fazla olsa da, günümüzde birçok ülkenin türbin tercihi VVER'ler olmuştur. Hâlihazır da Türkiye Akkuyu'da da yapılması planlanan nükleer enerji santralinin reaktör seçimi de VVER olmuştur

VVER'ler iki ısıl döngüden oluşur. İlk döngüde reaktörde yapılan fisyon tepkimesi sonucu açığa çıkan yüksek ısıyı buhar üreticileri sayesinde buhara dönüştürerek ikinci döngüye iletir. İkinci döngüye iletilen buhar türbin kanatlarını çevirir ve ortaya mekanik bir enerji çıkar. Mekanik enerji jeneratörler sayesinde elektrik enerjisine çevirir ve elektrik üretimi gerçekleşir. (Nükleer Akademi, 2021)

VVER'ler üç kez modelleme yapılarak günümüze kadar gelmiştir. Birinci VVER modellemesi ilk olarak Rusya'da kurulan VVER-210 ve VVER-365 santrallerinde kurulmuştur. Bu iki model VVER adına ilk örnekler olarak da görülebilir.

İlk örnekler olan VVER-210 ve VVER-365 reaktörleri 1960'lı yıllarda geliştirilmiş olup VVER-440 V230 olarak güncellenmiştir. VVER-440/230 modelinde önemli derece güvenlik önlemleri göz ardı edilmiştir. Koruma kabuğu, acil durum soğutmada ki eksiklikler, güvenlik ve yangın anında ki yetersizliği gibi birçok önemli güvenlik eksikleri

vardır. Günümüzde halen VVER-440/230 reaktörü kullanan santraller olup, bu santraller güvenlik eksiklikleri nedeniyle birçok insan tarafından büyük bir endişe ile takip edilmektedir. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017)



Şekil 3. 20 VVER kullanılan Rus Kola Santrali (Kola Nükleer Santrali Portalı, 2021)

İkinci modelleme olarak 1970’li yılların başlarında VVER-440/213 modeli tasarlanmıştır. Bir önceki model olan VVER-440/230 reaktörünün sahip olduğu eksiklikler giderilmiş ve güvenlik önlemleri arttırılmıştır. Geliştirilmiş model olan VVER-440/213, Avrupada ki uzmanlar tarafından aynı VVER-440/230’da olduğu gibi yangından korunma sistemi ve ölçü kontrolü sistemleri eksik görülmüştür. Bazı Avrupa ülkeleri ikinci nesil modelleme olan VVER-440/213’ün eksik gördükleri yanlarını geliştirerek nükleer santrallerde tercih etmiştir. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017)

Üçüncü modelleme ise 1975 – 1985 yılları arasında gerçekleşmiş olup ortaya çıkan tasarıma VVER-1000 adı verilmiştir. Çift koruma kabuğuna sahiptir. Tasarım sadeleştirilerek kullanımı kolaylaştırılmıştır. Bu modelleme Avrupa da kullanılan türbinlere yakınlığı ile de bilinir. Önceki modellerinde 6 adet olan buhar üreteçlerinin sayısı 4’e indirilmiştir.

Günümüzde ise VVER-100 modelinin gelişimi halen devam etmektedir. Yeni tasarlanan modelin ismi VVER-1200 olarak bilinir. VVER-1200 tasarımı daha uzun ömürlü olması, yüksek güç ve yüksek verim amaçlanarak modellenmektedir. (H, 2011 Ekim)

VVER-1200; %90lık yük verimi, 70 yıllık santral ömrü, geniş kalp çapı ve uzun kalp kabı, herhangi bir kaza anında kendini durdurma ve 24 saat içerisinde soğutmaya sahip olması üzerine çalışılmıştır. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017)

Mevcut güvenlik sistemleriyle entegreli olacak şekilde uyarlanan reaktör korusunun erimesi durumunda metali soğutan kor tutucular ve çift katmanlı kabuk binası gibi yeni güvenlik sistemleri dâhil edilmiştir. Olası bir kaza anında buhar üreticilerinden pasif ısı atma sistemi ve kabuk binası için pasif kabuk ısı atma sistemleri eklenmiştir. (Helmut Hirsch, 2010)

Tablo 3. 4 VVER özellikleri

ÖZELLİKLER		VVER-210 (Semenov, 1979)	VVER-365	VVER-440	VVER-1000	VVER-1200 (S.A., 2010) (Gidropress)
Termal Çıkışı (MW)		765	1325	1375	3000	3212
Verim %		25,5	25,7	29,7	31,7	35,7
Buhar Basıncı kg/m ²	Türbinin önünde	29	29	44	60	70
	İlk turda	100	105	125	160	165,1
Su sıcaklığı, °C	Çekirdek soğutma suyu giriş sıcaklığı	250	250	269	289	298,2 (Povarov, 2016)
	Çekirdek soğutma suyu çıkış sıcaklığı	279	275	300	319	328,6
Uranyum yüklemesi, ton		38	40	42	66	76-85,5
Ortalama yakıt tüketimi, MW x gün/kg		13	27	28,6	48,4	55,5

Yukarıda ki tablo 3.4'de VVER'lerin gelişim modellerinin özellikleri gösterilmiştir.

Rus Kaynar Su Reaktörleri

Kısaltması RBMK olarak bilinen bu reaktörlerin ismi Reactor Bolshoi Moschnosti Kanalynyi'dir. Anlamı büyük güç kaynayan reaktörler olup yüksek güçlü kanal tip reaktörler de denir. Sovyetler Birliğine has olan bu reaktörlerin kurulumu sadece Sovyetler Birliğinde olmuştur. RBMK'ların asıl kuruluş amacı ticari bir güç değil, nükleer silah elde etmektir. Zamanla geliştirilerek ticaret amaçlı kullanıma başlanmıştır.

1986 yılında Sovyetler Birliğine bağlı Ukrayna Sovyet Sosyalist Cumhuriyeti'nin Pripyat şehri yakınlarında gerçekleşip Çernobil Faciası'nın olmasına neden olan Çernobil Nükleer Santrali de reaktör tipi olarak RBMK'dir. Bu kaza RBMK tipli 4 nolu reaktörde gerçekleşmiştir. Eski tip bir reaktör tasarımıdır. Önemli derece de güvenlik önlemleri eksikliği vardır.



Şekil 3. 21 Çernobil faciası

RMBK'lar da soğutucu sıvısı olarak su kullanılır. Su yakıt odasına kanallar ile taşınarak çekirdeğin alt kısımlarından girer. Giriş sıcaklığı 270 °C ölçülmüştür. Kanaldan geçen suyun basıncı düşer, çıkış sıcaklığı ise 284,5 °C olarak ölçülmüştür. Basıncın düşmesi ve sıcaklığın artması nedeni ile soğutucu olarak kullanılan su kaynamaya başlar ve su-buhar karışımı olarak yakıt odasından çıkar. (Maabir Portalı, 2020)

Yakıt odasından çıkış yapan su-buhar karışımı ağırlık olarak %23-29 oranında buhardan oluşmaktadır. Bu buhar-su karışımı, kanallar yardımı ile yaklaşık 34 metre uzunluğunda ve 3,6 metre çapında olan 4 adet buhar ayırıcılara getirilir. Buhar ayırıcılarda ayrıştırılarak buhar ve su olarak çıkmaktadır. Ayrılan buhar türbinlere iletilir ve burada elektrik üretimi gerçekleşir. Enerjisini kanatlara veren buhar, su haline geri çevirmek için kondansatörlere iletilir ve besleme suyu pompaları ile tekrar buhar ayırıcılara iletilir. Buhar ayırıcılara alttan giren besleme suyu, çevrimin başında buhardan ayrılan su ile birleşir. Sistemden ayrılan su ve sisteme verilen besleme suyunu birleşimi karıştırılır. Karışan suyun sıcaklığı 270 °C'ye düşer ve sistemin döngüsü için tekrar yakıt odasına pompalanır. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017)

RMBK tip reaktörlerde yavaşlatıcı olarak grafit kullanılır. Fisyon reaksiyonunda ki nötronları yavaşlatmak için malzemesi grafit olan çubuklar kullanılır. Grafit; uygun bir yavaşlatıcı olmasının yanında ucuz ve hammadde olarak zengin bir maddedir. (Maabir Portalı, 2020)



Şekil 3. 22 Grafit (MTA, 2021)

RBMK'lar esas olarak nükleer silah üretmek amaçla tasarlandıkları için basınç kazanı içermezler. Kaynar sulu reaktörler olmasına rağmen, sistem çalışır vaziyetteyken yakıt değişimi yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Reaktör boyutlarının büyük olması nedeni ile koruma kabı konulamamıştır.

Bir RBMK santralinde sistem çalışır vaziyetteyken kontrol edilebilme zorluğu vardır. İşletilme yönünde zor tipte bir santraldir. Otomasyon kullanılmamış olup, insan müdahalesine bağlı çalışmaktadır. Ağırılık olarak insana dayalı bir güvelik sistemi olduğu için insani hatalardan doğan kazalara yol açmaktadır.

Halen dünyada kullanılmakta olan RBMK santralleri bulunmaktadır. Rusya'nın nükleer enerjiden elde ettiği elektrik gücünün yarısını karşılamaktadır. 2006 yılında kurucusunun Vladimir Putin'in olduğu Rusya Devlet Atom Enerjisi Kurumu (ROSATOM) tarafından, günümüzde işletilmekte olan RBMK santrallerinin yenilenmesi yapılmış ve işletim ömürleri uzatılmıştır.

Gaz Soğutmalı Reaktörler

Gaz soğutmalı reaktörler, reaktör türlerinden ilk tasarlanan ve kurulanlardandır. Kurulum amaçları plütonyum üreterek askeri nükleer güç elde etmektir. İngilizce ismi Magnesium Gas Cooled Reactor kelimelerinin baş harfleri olan MGCR ile gösterilir. Daha çok İngiltere Gaz Soğutmalı Reaktörler üzerine yoğunlaşmış ve ticari amaçla kullanmıştır. Günümüzde hali hazır da MGCR santralleri İngiltere de işletilmektedir. Yakıt olarak doğal uranyum kullanılır. Yavaşlatıcı olarak grafitin, soğutucu olarak da isminden de anlaşılacağı gibi gaz kullanılır. Bu sistemlerde bugüne kadar soğutucu olarak karbondioksit (CO₂), Helyum (He) ve hava kullanılmıştır. Soğutucu olarak su kullanan reaktörlere göre çok daha verimli bir reaktör çeşitidir. Çünkü soğutucu olarak kullanılan gaz, yüksek sıcaklık değerleri ortaya çıkartır. Bu da reaktörün verimliliğini arttırmasına yol açacaktır. Bu tür reaktörlerin verimi %40 ile %50 arasında değişmektedir.

Yakıt odasında üretilen enerji; gaz yardımı ile buhar üreteçlerinde ki suyun sıcaklığının arttırılıp buhara dönüşmesi istenir. Ortaya çıkan buhar, türbin kanatlarına iletilerek kanatların dönmesini sağlar ve mekanik bir enerji ortaya çıkar. Mekanik enerji, jeneratörler yardımıyla elektrik enerjisine dönüştürülür. Gaz soğutmalı reaktörler de yakıt şekli prizmatik ya da küresel şeklindedir. Yakıt olarak doğal uranyum kullanılır.

İşletilmesi kolay ve yüksek güvenlik önlemleri bir santraldir. Soğutucusunun ucuz ve gaz halinde olması, yüksek verimli çalışabiliyor olması Gaz soğutmalı reaktörlerin avantajı olarak söylenebilir. Yakıt yanma verimliliği ve yavaşlatıcısının yanıcı madde olması gibi özellikleri de dezavantajdır. (S, 2014)

Hızlı Üretken Reaktörler

Hızlı üretken reaktörler FBR olarak bilinir. İlk FBR santrali 1946 yılında New Mexico'da kullanılmaya başlanmıştır. 1946 yılında kullanımına başlanmış olmasına rağmen günümüzde ticari amaçlı FBR santrali bulunmamaktadır.

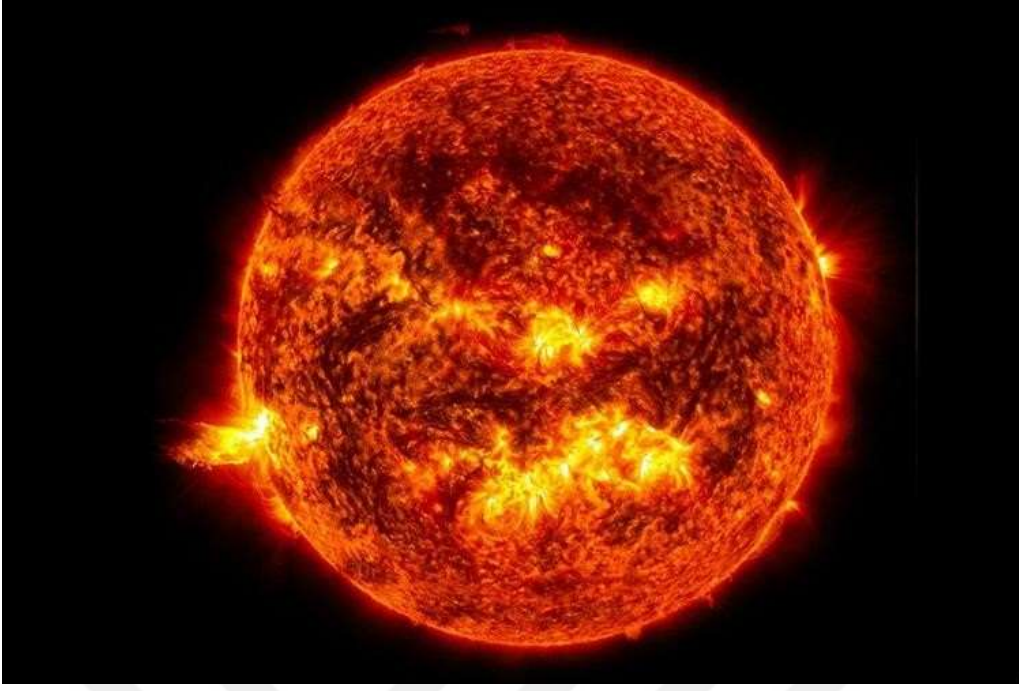
Santrallerde yakıt olarak kullanılan doğal uranyumun içeriğini uranyum-238 ve uranyum-235 izotopları oluşturmaktadır. Uranyum-235 santrallerde yakıt olarak kullanılabilirken, uranyum-238 ise yakıt olarak kullanılamaz.

Uranyum-238 yapısına 1 nötron ilave ederek plütonyum-239 olur. Ortaya çıkan plütonyum-239; santraller için nükleer yakıt olarak kullanılmaktadır. Nükleer yakıt olarak kullanılmayan uranyum-238, fisyon tepkimesi sonucunda 1 nötron yutarak plütonyum-239'a dönüşür. Bu da artık durumda olan uranyum-238'in, plütonyum-239'a dönüşerek nükleer santral için yakıt olabilme haline getirir. Bu fisyon tepkimesini gerçekleştirerek nükleer yakıt oluşturan reaktörlere; hızlı üretken reaktör denir.

Fisyon tepkimesi sonucunda açığa çıkan nötronlara hızlı nötron adı verilir. Hızlı nötronları yeni bir fisyon tepkimesine sokmanın iki yolu vardır. Bunlardan biri hızlı nötronları yavaşlatarak tekrar tepkimeye sokmaktır. Diğerisi ise uranyum miktarını arttırarak uranyumu zenginleştirme seçeneğidir. (Nükleer Enerji Dünyası, 2017)

3.2.5. Güneş Santralleri

Güneş, içinde kendimize yaşam bulduğumuz dünya için önemi yüksek bir enerji kaynağıdır. Temiz enerji kaynaklarından biridir. Yeryüzünde ve atmosferde ki oluşumları, fiziksel olayları ve doğa hareketliliğini etkiler. Güneşin sahip olduğu enerji miktarı, tüm dünyanın bir yılda ki kullanılan enerjinin yaklaşık otuz bin katıdır.



Şekil 3. 23 Güneş

Günümüzde enerji ihtiyacını karşılamak ve enerji elde ederken çevresel etkilerini azaltmak, iklim değişikliği, geri dönüşüm etkisi gibi zarar verici etkenleri ortadan kaldırmak için yeni, çevreci ve sürdürülebilir enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu sebeplerden ötürü güneş enerjisi önemli bir rol almaktadır. Kullanım rahatlığı ve potansiyeli yüksek bir çeşittir. Bunların yanında diğer enerji türlerine göre kurulum maliyetinin fazla oluşu, verimliliğinin düşük olması ve geliştirilebilirliğinin zor olması gibi olumsuz yönleri de vardır. Ülkemiz açısından kullanım şartları uygun olmasına rağmen diğer enerji türlerine göre güneş enerjisi kullanımı az denilebilecek sayıdadır.

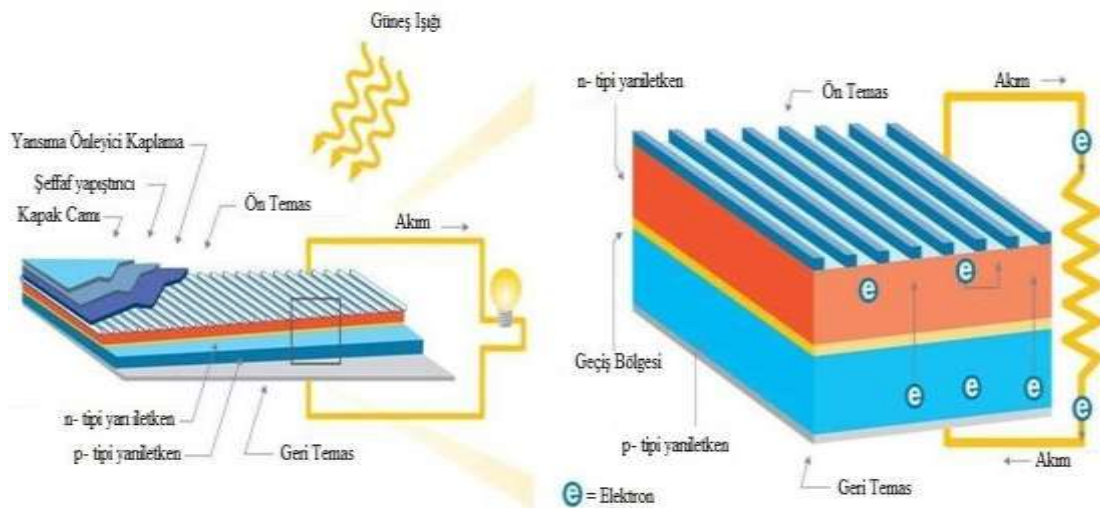
Hidroelektrik, dalga ve rüzgâr gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının güçleri de temelinde güneşe bağlıdır. Güneş enerjisinin gücü mevsim, bölge, saat gibi birçok etkene bağlıdır. Örneğin; yazın veya kışın ile Sinop veya Antalya'da ki güneş enerjisi aynı güçlerde değildir. Bu tür nedenlere bağlı olarak enerji kaynağı güneş olarak kullanılabilir şekilde birçok alanda güneşten yararlanabiliriz. Çoğunlukla güneş enerjisi evlerimizde suyu ısıtmada ya da elektrik üretiminde karşımıza çıkar. Bunun yanında tabiat da oluşan doğa olayları da güneş yardımıyla gerçekleşir.



Şekil 3. 24 Fotovoltaik termal sistemler

Güneş enerjisi ile elektrik üretimi güneş pilleri veya fotovoltaik piller ile sağlanır. Yarı iletken maddeden oluşturmaktadırlar. Bu piller; güneşten gelen enerjiyi doğrudan kullanarak elektrik enerjisine çevirebilirler. Güneş pilleri üretiminde kristal, silisyum, amorf, bakır gibi yarı iletken maddeler kullanılır. Bunların arasından en çok tercih edilen, doğada da yaygın olarak bulunabilen silisyumdur. (Perdahçi, 2005)

Fotovoltaik kelimesinin kısaltması PV olarak bilinir. İngilizce Photo ve Voltaic kelimelerinin baş harfleridir. Türkçe olarak ise; foto ve elektrik anlamına gelen voltaik kelimelerinin birleşimidir. Fotovoltaik teknolojisi ile güneşten yansıyan ışıktan elektrik üretilir. Fotovoltaik piller güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine çevirirler. Güneş pillerinin yapısı ve çalışma prensibi altta ki şekilde gösterilmiştir.

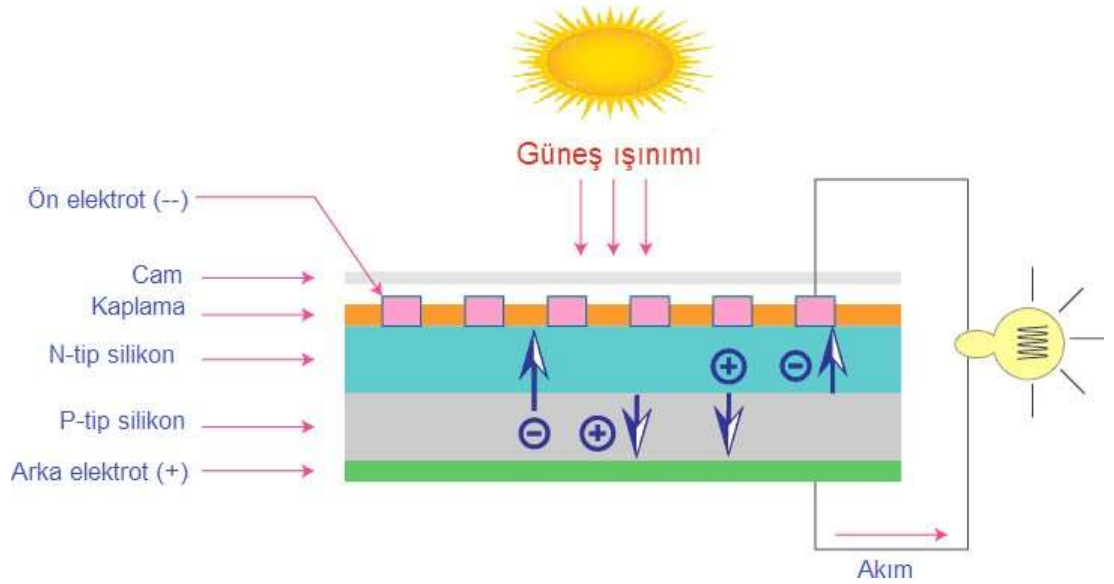


Şekil 3. 25 Fotovoltaik pillerin yapısı ve çalışma prensibi (ÖZTÜRK)

Yüzeyleri kare, dikdörtgen ya da daire şeklinde olur. Yüzey alanları 100 cm², kalınlıkları ise 0,2 ile 0,4 milimetre arasında değişmektedir. (Kahraman, 2010)

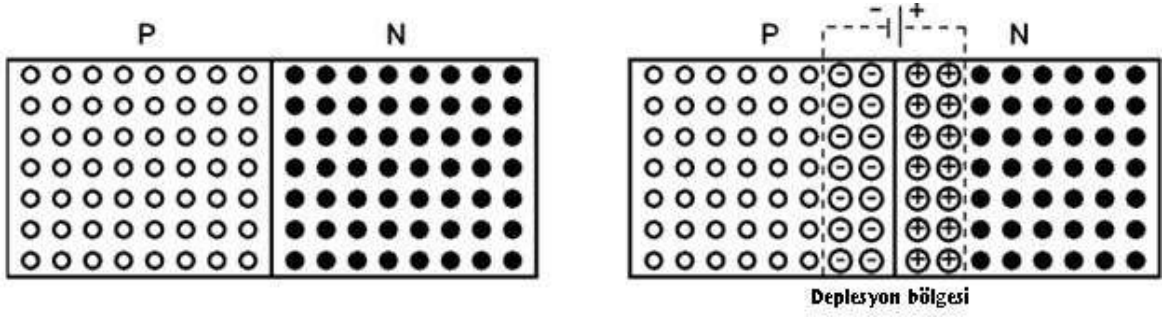
Albert Einstein dalga ve parçacık teorisinde ışığın sadece dalga yapısında olmadığını, parçacık ya da tanecik yapıda da hareket ettiğini açıklamıştır. Işık bu hareketlerini içerisinde sahip olduğu fotonlar sayesinde yapar. Güneşten yayılan ışık da aslında bu fotonların bir yayılımıdır.

Yukarıda ki Fotovoltaik pillerini yapısı ve çalışma prensibi adlı şekilde de görüldüğü üzere; fotonlar güneş pillerinin yüzeyine çarpar. Çarpan fotonların bir kısmı emilir, bir kısmı yansıtılır. Yarı iletken olan güneş pili, emdiği fotonlar ile elektrik üretimine başlar. Fotondan gelen enerji, yüzeyde ki atomun elektronuna aktarılır. Yeni bir enerjiye sahip olan elektron, elektrik düzeneğinde akım üretebilmek için yapısında değişikliğe gider.



Şekil 3. 26 Fotovoltaik etki (ÖZTÜRK)

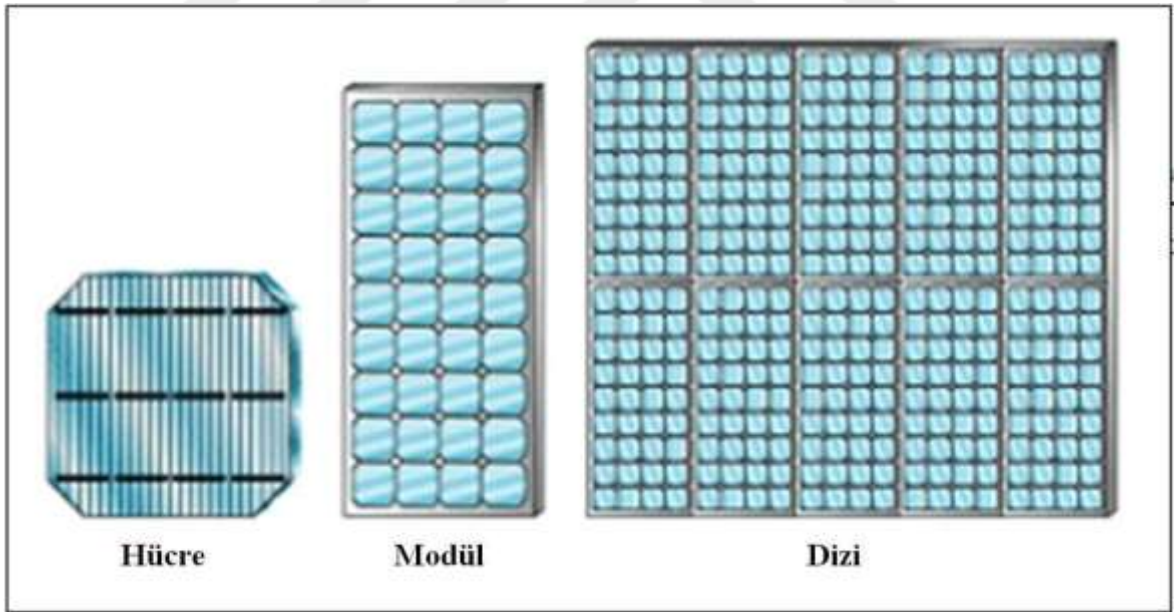
Güneş pili üretiminde kullanılan yarı iletken maddelerin n ya da p tipinde düzenlenmeleri gerekir. N ya da p tipi olabilmesi katkı maddesine bağlıdır. P ve n tipi olarak düzenlenmezler ise elektrik açısından nötr bir devre olur ve elektrik akımı üretmez.



Şekil 3. 27 P N eklemi oluşumu

P N eklemi oluşturulduğunda, şekilde de görüldüğü üzere n tipinde ki elektronlar p tipine doğru akım oluşturur. P ve N tipinde ki yük dengesi sağlanana kadar bu olay devam eder ve bunun sonucunda akım oluşur.

Oluşan elektrik gücünü arttırmak amacıyla güneş pilleri birbirlerine seri ya da paralel olarak bağlanabilirler. Bu sayede MegaWatt seviyelerine elektrik gücü üreten sistemler oluşturulur.



Şekil 3. 28 Güneş pili hücrelerinin birleşmesi (Karaca, 2012)

Güneş pilleri sadece yüzey alanlarına güneş ışını düştüğü zaman elektrik akımı üretirler. Güneş ışınlarının olmadığı akşam ve gece vakitlerinde ise elektrik üretmek için özel sistemler geliştirilmiştir.

3.2.5.1. Güneş Enerjisi ile Elektrik Üretimi için Yardımcı Elemanlar

Güneş enerjisi ile elektrik üretiminde farklı sistemlerden yararlanılabilir. Ancak

bir çoğunda ki temel ekipmanlar aynıdır. Bunlar; güneş panelleri, şarj regülatörleri, inverterler ve akülerdir.

- **Güneş Panelleri:** Güneşten yayılan ışını doğrudan elektrik akımına dönüştüren parçadır. Yarı iletken malzemeden üretilir. Fotovoltanik etki ile üzerine düşen fotonlarla elektrik akımını gerçekleştirir.
- **Şarj Regülatörleri:** Panelde üretilen gerilimi şebeke için gerekli olan gerilim değerine düşürür. Şarj regülatörleri iki ana grupta incelenir ve seçim yapılırken verimlilikleri ön plana çıkar.
- **PWM Şarj Regülatörler:** Dünya genelinde en çok tercih edilen regülatör tipidir. Açılımı Pulse Width Modulation'dır. Bu tip regülatörler; akünün durumunu kontrol eder. Akünün durumuna göre gerilimin süresi ve sıklığı ayarlanır. (SolarEvi, 2021) Güneş panelleri için uygun bir regülatör tipidir. LCD ekranı sayesinde akü ve şarj durumunu kontrol edebilirsiniz. 12V ve 24V akü gruplarını şarj edebilir. Verimlilik değerleri MPPT regülatörlere göre daha düşüktür.



Şekil 3. 29 PWM şarj regülatörü

- **MPPT Şarj Regülatörleri:** MPPT'nin Türkçe açılımı Maksimum Güç Noktası İzleme'dir. Verimlilik seviyeleri uygun değerlerde %94 ile %98 aralığında olabilir. Diğer tiplerine göre pahalı regülatör grubudur. Daha çok büyük sistemlerde tercih edilir. Akü özelliklerine uygun şarj edebilme gücüne sahip oldukları için akü ömrünü yarı yarıya uzatırlar. Akü ömrünün uzaması, sistem maliyetinin de düşmesi demektir.



Şekil 3. 30 MPPT Şarj Regülatörü

- **İnvertör:** Bir diğer isimleri eviricidir. İnvertörler güç dönüştürme parçası olarak tanımlanabilir. Güneş pilinin ürettiği doğru akımı, şebekeye uygun olan alternatif akıma çevirme işlemi yaparlar.



Şekil 3. 31 İnvertör (Evirici)

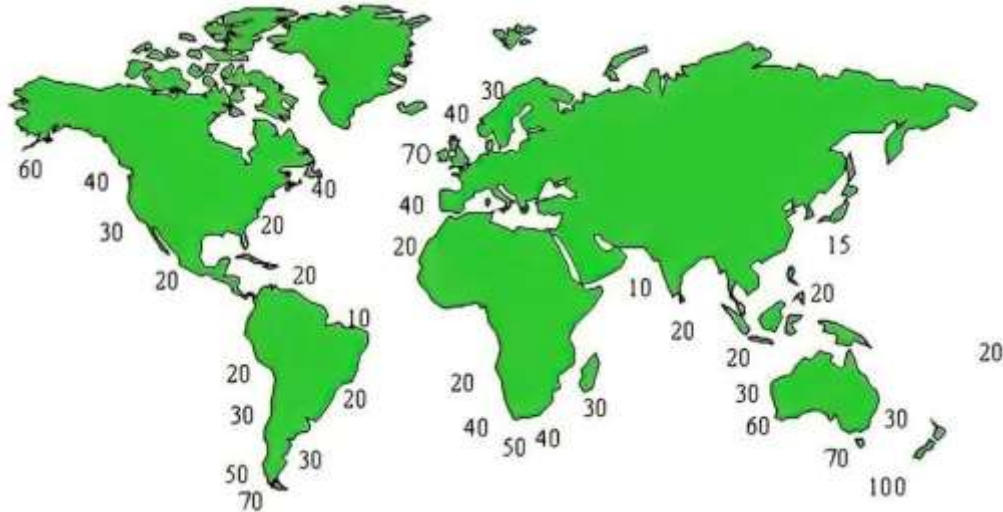
- **Akü:** Elektrik enerjisini depolama yaparak gerekli durumlarda kullanıma hazırlayan parçadır. Cep telefonları, saatler ve otomobillerde akü kullanılmaktadır. Güneş pili sisteminde üretilen elektrik enerjisi şarj regülatörleri ile aküye depolanır. Aküde depolanan bu enerji invertör sayesinde 220 Volta çevrilerek evlerimizdeki buzdolabı, çamaşır makinesi, televizyon gibi elektrikli aletlerin çalışmasında kullanılır. Genellikle güneş panellerinde üç çeşit akü kullanılır. Bunlar; jel akü, kuru akü ve OPzS akü gruplarıdır.

3.2.6. Dalga Enerjisi Santralleri

Dalga kelimesi TDK da ‘‘Deniz veya göl gibi geniş su yüzeylerinde genellikle rüzgâr, deprem ve benzerlerinin etkisiyle oluşan kırımlı hareket’’ olarak tanımlanmaktadır. (TDK, 2019) Yani deniz yüzeyinde ki doğal hareketlenmelerin etkisiyle oluşan harekete dalga denir. Rüzgâr ile dalga arasında doğru orantı vardır, rüzgârın şiddeti ne kadar fazla olursa dalga boyu da o kadar artar. Dalga su birikintisinin aşağı yukarı hareketlenmesiyle meydana gelir. Deniz yüzeyinden doğru esen rüzgâr, suyun hareketlenip yükselmesine sebep olur. Yükselen su aşağı yukarı şeklinde hareket ederek dönme hareketini sağlar. Denizden sahil yönüne doğru hareketlenen dalga sahile vurarak çarpar. Sahile çarpan dalganın alt kısmı sürtünme etkisiyle enerjisini yitirir ve hızını kaybeder.

Dalga enerjisi temiz, ucuz ve doğal bir enerji kaynağıdır. Diğer enerji kaynaklarına göre daha güvenilir ve ekonomiktir. Potansiyeli ve geliştirilebilirliği yüksek yenilenebilir enerji kaynağıdır. Ülkemizin üç tarafı da denizlerle çevrili olduğu düşünüldüğü zaman, ülkemiz için de kullanışlı ve faydalanılması gereken bir enerji türüdür. Tüm dünyada ki dalga potansiyeli gücü 1 Terawatt (10^{12} Watt) olarak öngörülmektedir. (Özdamar, 2005)

Dalga enerjisinde dalganın gücü önemli bir etkidir. Dalga gücünün ülkelerde ki dağılımı aynı seviyede değildir. Kuzey ve güney yarım kürede 30^0 enlem ile 60^0 enlem arasında kalan bölgelerde batı rüzgârlarının etkisi ile dalga gücü yüksektir. (Thorpe, 2001)



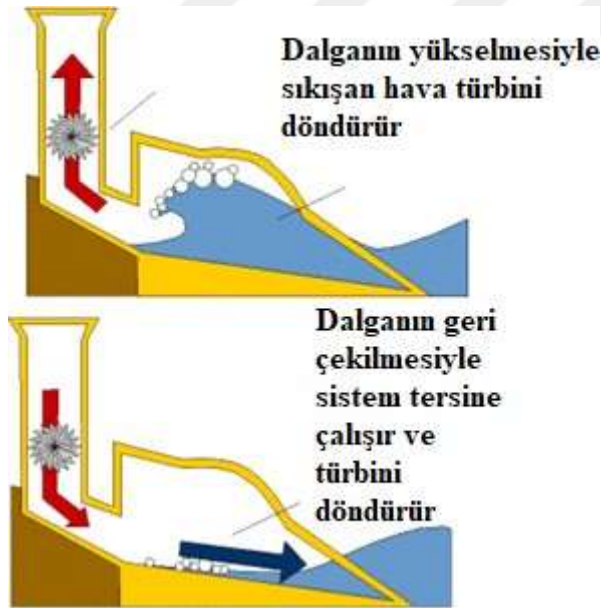
Şekil 3. 32 Dalga gücü seviyesinin ülke kıyılarındaki seviyesi (kiloWatt/metre) (Thorpe, 2001)

Dalgalar üç şekilde meydana gelir; rüzgârlardan oluşan dalgalar, gelgit olayından oluşan dalgalar ve depremlerin oluşturduğu dalgalar.

Dalga santralleri konumlandırıldıkları alana göre üç sınıfa ayrılmaktadır; kıyı, yakın kıyı ve açık deniz tipi. Dalga yüksekliği ve frekansı dalga enerjisinin temel etkenleridir. Dalga santrallerinde her yükseklikte ki dalgadan istenilen enerji üretilebilir.

3.2.6.1. Kıyı tipi (Shoreline) Dalga Santrali

Kıyı tipi uygulamalarında, santral kıyıda konumlanmıştır. Bakımı ve inşaat faaliyeti diğer uygulamalara göre daha kolaydır. Derin su bağlantılarına ya da su altı elektrik kablolarına ihtiyaç duyulmaz. Kıyı tipi dalga santrali uygulamaları iki parçadan oluşur; su kolonu ve hava kolonu. Gelen dalga ile yükselen su kolonu, üst kısmında bulunan hava kolonunu sıkıştırarak havayı türbinlere doğru iter ve türbinde hareket meydana gelir. Bu hareket enerjisi elektrik enerjisine dönüştürülerek sistemde elektrik üretimi gerçekleşir. Dalganın geri gitmesiyle sistem tersine doğru çalışır ve hava kolonu aşağı iner. Bu hareket sayesinde ortaya çıkan hava akımı da türbinlerde dönme hareketi sağlar ve elektrik üretimi gerçekleşir.



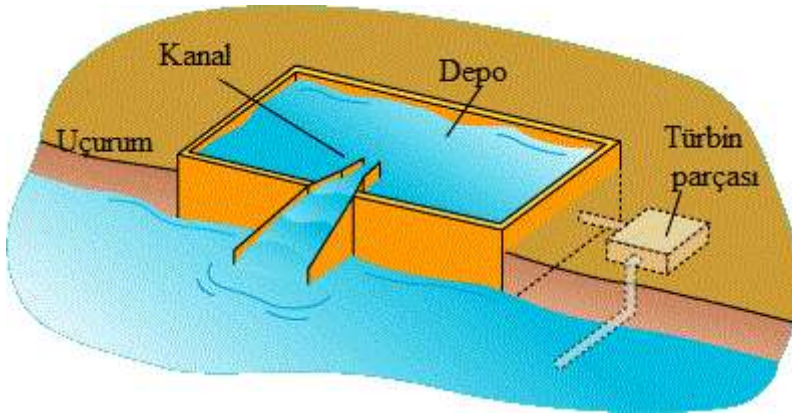
Şekil 3. 33 Dalga hareketiyle türbinin dönmesi

- **Salımlı Su Kolonu (OWC) :** İngilizce açılımı Oscillating Water Column olan salımlı su kolonlarının bir kısmı su altında bulunurlar. Su seviyesinin altında kalan çukur sayesinde dalga sisteme giriş yapar ve su kolonun yaptığı basınç ile sistemde elektrik üretilir. (Thorpe, 2001)



Şekil 3. 34 OWC su kolonu (EİE, 2021)

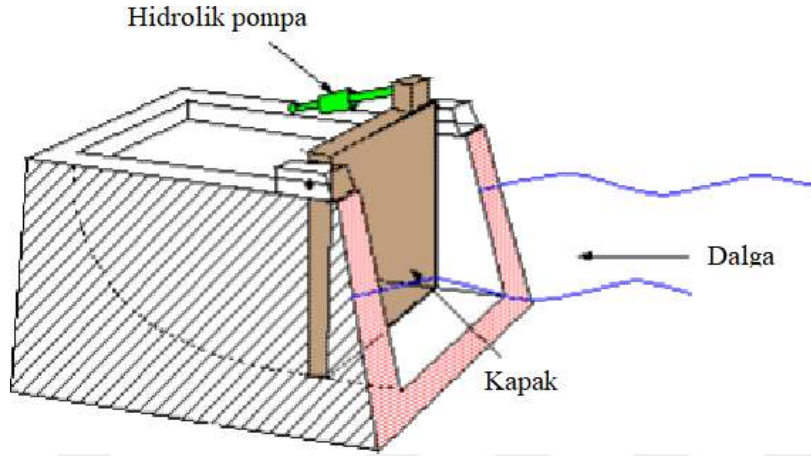
- **Daralan Kanal Sistemi (TAPCHAN)** : İngilizce açılımı Taperated Channel Device'dir. Hidroelektrik santrallerin bir modellemesi olarak bilinir. Bu sistemde denizden gelen dalga bir kanal yardımı ile daralarak basınç oluşturur. Depolanan su türbinlere aktarılarak elektrik üretimi gerçekleştirilir. Sistem güç potansiyeli düşüktür. Sistemin elemanları az sayıdı olduğu için güvenlik seviyesi yüksek, bakım maliyeti düşüktür. (Li, 2009)



Şekil 3. 35 TAPCHAN (Özdamar, 2005)

- **Pendular:** Pendular dikdörtgen biçimde olup bir tarafı denize açıktır. Denize açık olan kısım üzerinde kapak vardır. Dalganın gel-git hareketiyle kapak da ileri geri hareket eder. Kapakda ki hareket hidrolik pompayı çalıştırarak enerji ortaya

çıkarr. Bu enerji sistemde elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik enerjisi üretilir. Sistemin elektrik üretim gücü seviyesi düşüktür. (ÜN, 2003)

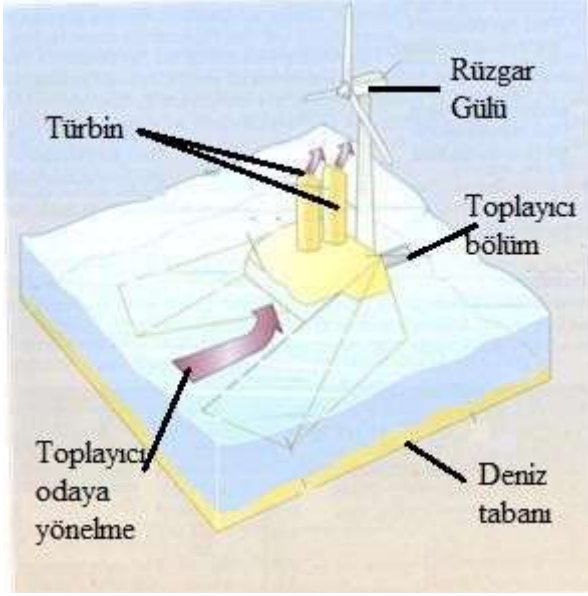


Şekil 3. 36 Pendular sisteminin çalışması

3.2.6.2. Yakın Kıyı Dalga Santralleri

Yakın kıyı dalga santralleri çoğunlukla kıyı şeridinde 25-30 metre uzaklıkta ve 15-20 metre derinlikte konumlanırlar. Kıyıdan bağımsız olmaları avantajdır. Dalganın oluşturduğu hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürmek amaçlanır.

- **Osprey Modeli:** İskoç Wavegen şirketinin modellemiş olduğu bir yakın kıyı dalga santral tipidir. 2 MegaWatt enerji üretecek güce çıkabilirler. Bu modelleme de denizde ki dalgadan yararlanılarak rüzgâr oluşturur. Oluşan rüzgâr sistemin rüzgârgülüne çarparak dönme hareketi sağlar. Bu hareket elektrik enerjisine dönüştürülür.



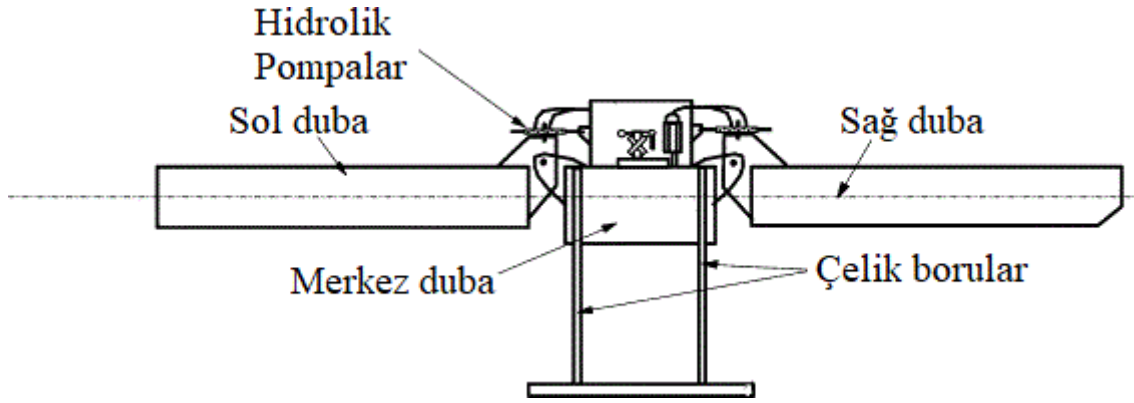
Şekil 3. 37 Osprey

- **Wosp 3500:** Wosp modeli; kıyıya yakın dalga ile rüzgâr santralının birleştirilmiş hali gibi düşünülebilir. 1,5 MW gücündeki rüzgâr santralının eklendiği düşünüldüğünde sistem 3,5 MW enerji üretecek kapasiteye çıkabilir.

3.2.6.3. Açık Deniz Tipi Uygulamaları

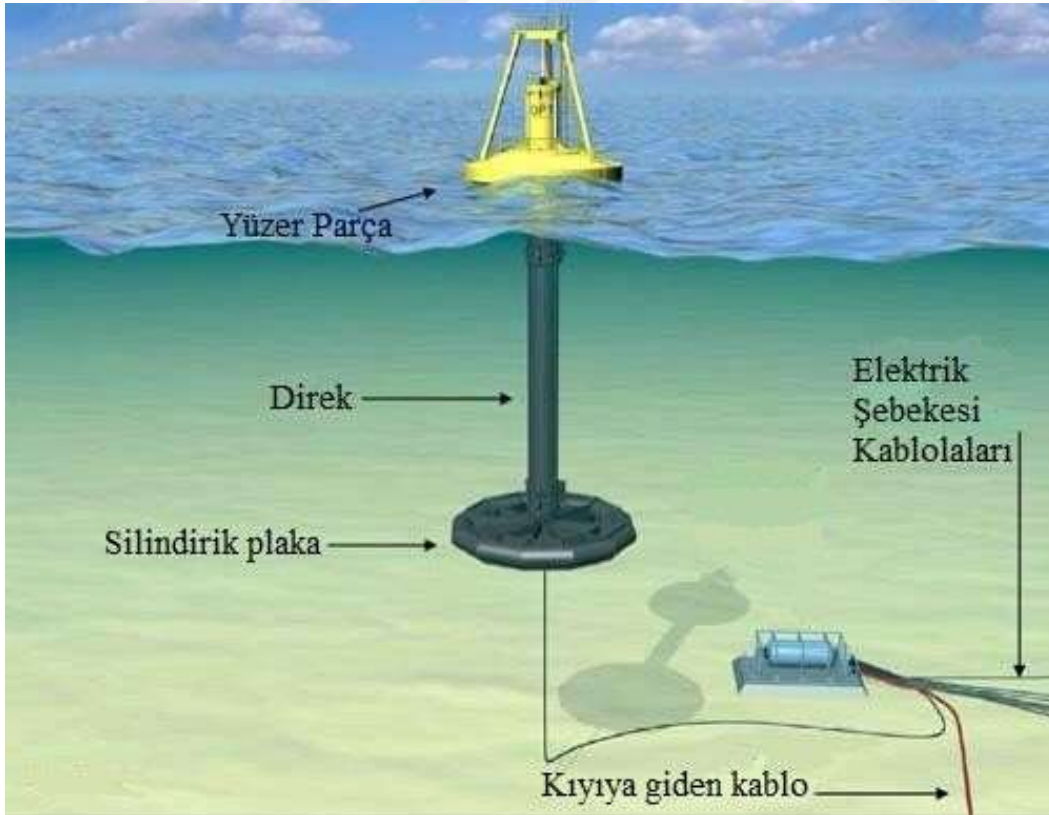
Açık deniz tipi uygulamaları kıyıdan 50 metre uzağa kurulur. Kıyıdan uzak olduğu için üretilen enerjiyi su altından geçecek uzun elektrik kabloları taşır. Bu sistemler; dalganın denizin tabanı ile etkileşime girdiği seviyelerde kullanılır. Dalganın yarattığı enerjinin tamamını kullanabilirler. Genellikle su yüzeyinde yüzer tipde olup dalganın yarattığı etki ile aşağı yukarı hareket ederler. Elde edilen bu hareket elektrik enerjisine dönüştürülerek elektrik üretilir.

- **McCabe Dalga Pompası:** McCabe dalga pompası; 3 tane dikdörtgen şeklinde ki dubanın birbirine menteşelenmiş halde bağlanmasıyla oluşur. Merkezde ki dikdörtgenin üstüne ağırlık uygulanarak hareketsiz kalması sağlanır. Dalga salınımıyla ortada ki duba sabit kalarak sağında ve solunda ki dubalar aşağı yukarı hareket eder. Hareket sayesinde oluşan enerji dubalara bağlı hidrolik pompa ile aktarılarak elektrik enerjisine çevrilir. (Falcao, 2010)



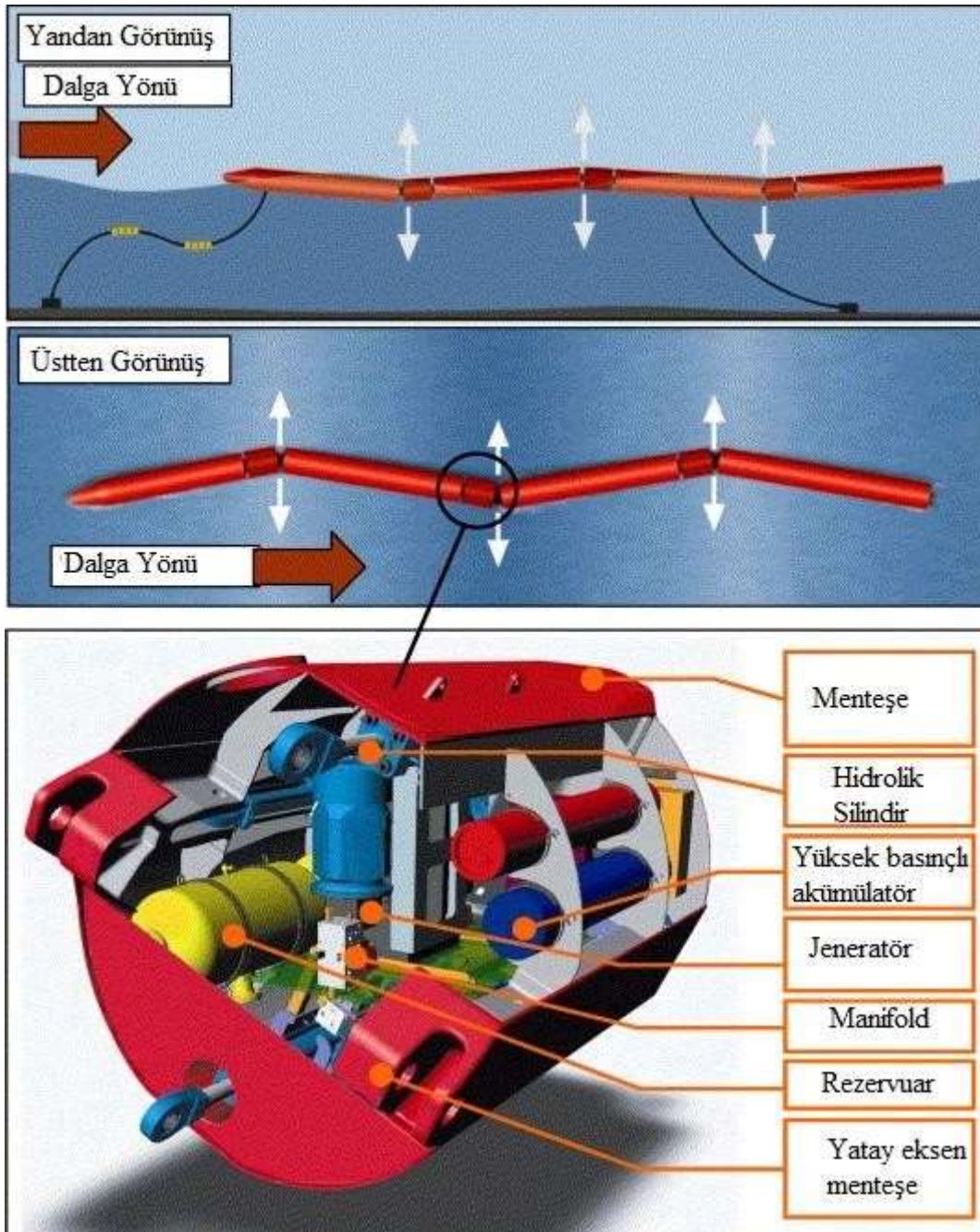
Şekil 3. 38 McCabe Dalga Pompası

- **OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü:** OPT dalga enerji dönüştürücüsü Amerika'da ki Okyanus Güç Teknolojisi (OPT) tarafından modellenmiştir. Üst tarafı açık alt tarafı kapalı silindirik bir şekilde denizde yüzer. Yüzücüsüne hidrolik pompa bağlıdır. Dalganın etkisiyle üst kısmında ki silindir aşağı yukarı hareket ederek enerji oluşturur. Hareket enerjisi hidrolik pompa yardımı ile elektrik enerjisine dönüştürülür. (Thorpe, 2001)



Şekil 3. 39 OPT Dalga Enerji Dönüştürücüsü

- **Pelamis Modeli:** Pelamis modellemesinde sistemin bir kısmı deniz seviyesinin altında bir kısma ise deniz seviyesinin üst kısmında yer alır. Silindirik şekilde olan parçalar birbirine menteşelenmiştir. İki silindir arasında bağlı hidrolik pompalar, dalganın hareketiyle dönen silindir içindeki türbinler yardımıyla elektrik üretir. (Thorpe, 2001)



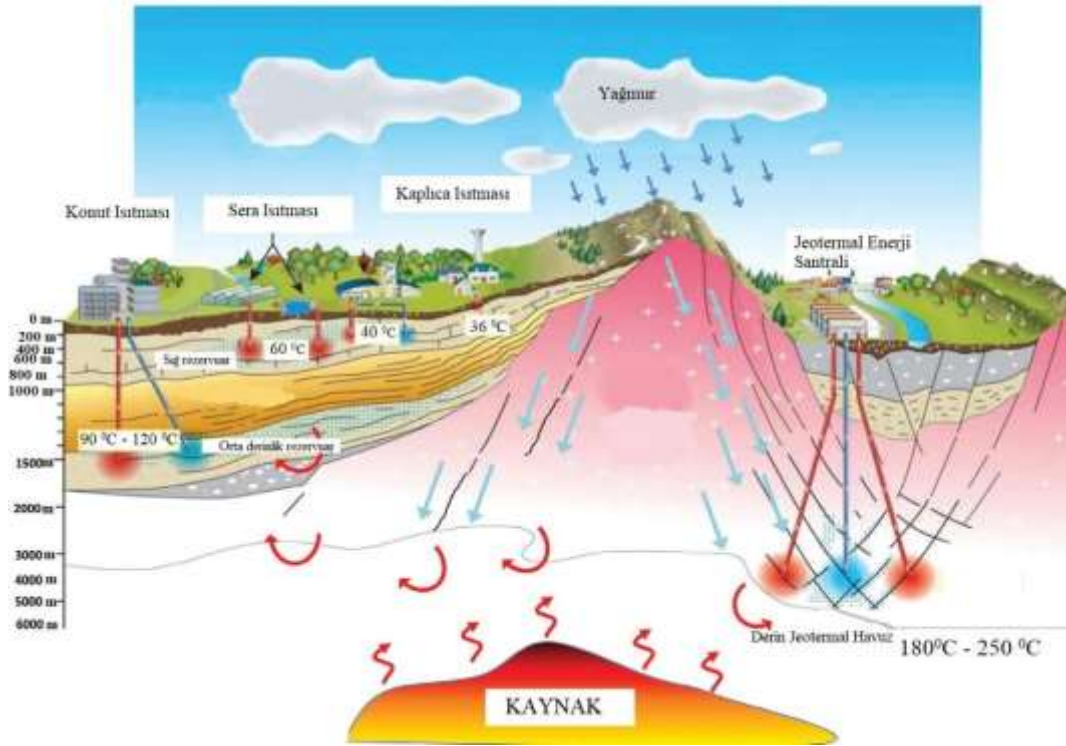
Şekil 3. 40 Pelamis'in Yapısı

3.2.7. Jeotermal Santraller

Jeotermal kelimesi; geo (dünya) ve termal (ısı) kelimelerinin biraraya gelmesinden oluşmuştur. Jeotermal enerji yer altında bulunan bir yenilenebilir enerji türüdür. Jeotermal kaynakların ömrü 3000 yıl kadar tahmin edilse de, kullanılan kaynağın tekrar yer altına verilmesiyle kaynak ömrü uzatılabilmektedir. (ASHRAE, 1995) İşlem görmüş jeotermal akışkanın yer üstüne akıtılması doğaya zarar verebilir. Bazı ülkeler jeotermal akışkanın yer altına verilmesini zorunlu tutmaktadır. Jeotermal enerjinin kullanım alanı geniştir; elektrik üretiminde, ev ısıtmasında, sera ısıtması, kaplıca gibi farklı alanlarda kullanılabilir.

Fosil yakıtların hızlı tükenişi, dünyanın enerjiye olan ihtiyacının artması nedeniyle yeni enerji arayışlarına gidilmektedir. Bu sebeple jeotermal kaynak bakımından zengin olan ülkemizin, enerji kaynağı konusunda dışa bağımlı kalmadan ve yerli kaynak kullanılarak enerji elde edebilmesi için jeotermal enerjiye önem verilmelidir. Jeotermal enerji kaynaklarımızın fazla olmasına rağmen yenilenebilir enerji çeşitleri arasında ki kullanım oranı oldukça düşük kalmaktadır.

Jeotermal kaynağın ısıl derecesine göre kullanım alanı değişmektedir. Örneğin; 180⁰ C de ki kaynak elektrik üretiminde kullanılırken, 90⁰ C de ev ve sera ısıtması, 36⁰C de kaplıca gibi yerlerde kullanılmaktadır.



Şekil 3. 41 Jeotermal kaynak oluşumu ve kullanımı (Dağıstan, 2013)

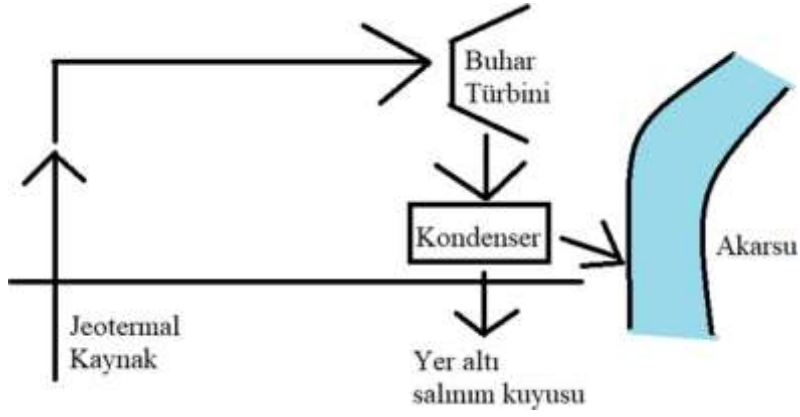
Jeotermal enerji ile elektrik üretimi buhar türbinli santrallerde üretilmektedir. Jeotermal kaynak olan akışkanın faz haline göre santraller modellenmiştir. Jeotermal enerji de elektrik üretmek için kullanılan kaynak üretim sonrası atmosfere ya da yer altına geri basılır.

3.2.7.1. Kuru Buhar Santralleri

Jeotermal santraller çeşitleri arasında ki kurulum basitliği ve kullanımı en basit olan santral çeşitidir. Kaynak olarak doymuş ve kızgın jeotermal sıvısı kullanılmaktadır. Kaynaktan çıkan kuru buhar doğrudan buhar türbinine gönderilerek türbinin dönme hareketi yapması sağlanır. Hareket enerjisi ise elektrik enerjisine dönüştürülerek sistemde elektrik üretimi sağlanır.

Buharlı güç santrallerinde salınan buharı soğutarak sıvı haline dönüştüren cihazlara kondenser denir. Jeotermal santrallerinde ki en basit ve en ekonomik sistem; kondensersiz kuru buhar modelidir. Bu sistemde jeotermal kaynaktan çıkarılan buhar, türbinlerden geçirildikten atmosfere salınır. Kondenser olmadığı için sistemin kurulum, bakım ve işletme maliyeti düşüktür. Ancak buhar türbinlerden doğrudan atmosfere salındığı için çevreye zarar vermektedir. (Çengel, 2000)

Kondenserli kuru buhar santrallerinde ise türbin çıkışında kondenser bulunmaktadır. Türbinden çıkan buhar kondensere gönderilir. Buhar yoğunlaştırılarak sıvı haline çevrilir. Sıvı halde ki kaynağın yer altına salınımı yapılır ya da atık halinde bir akarsuya salınır. Kondenserli sistemde, türbin çıkışındaki basınç atmosfer basıncından düşük olduğu için vakum oluşturur. Türbinden atılan buhar, sistemi düşük basınç ve sıcaklıkta salınır. Düşük basınç ve düşük sıcaklık dolayısı ile düşük entalpiye sahip olur. Düşük entalpiye sahip olması, sistemin daha verimli olmasını sağlar. Bu yüzden kondenserli kuru buhar modelleri, kondensersiz modellere göre daha çok elektrik üretir. (Çengel, 2000)



Şekil 3. 42 Kondenserli Kuru Buhar Jeotermal Santrali

Dünyada doğrudan buhar üreten kaynak sayısı az sayıdadır. Kaynağın fazına göre dağılımı; %10 buhar, %30 sıcak su ve %60 su ağırlıklıdır. (Çengel, 2000)

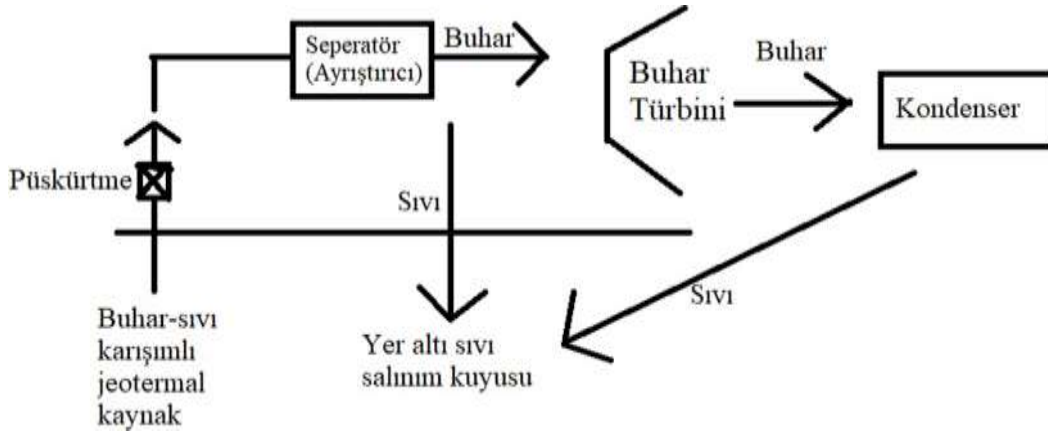
Kondensersiz santrellerde 1 kW elektrik enerjisi üretebilmek için ortalama 20 kg buhar gerekmektedir. Kondenserli santrellerde ise 1kW elektrik enerjisi için ortalama 8 kg buhar gerekir. (M. Kanoğlu, 1999)

3.2.7.2. Flash buhar santralleri

Jeotermal kaynak her zaman buhar şeklinde değildir. Çoğunlukla sıvı-buhar karışımı olmaktadır. Sıvı-buhar karışımı kaynaklarda; buhar ağırlıklı ise buhar ve sıvı birbirinden ayrılır. Ayrılan buhar elektrik üretimi için türbine, sıvı ise yer altına salınır.

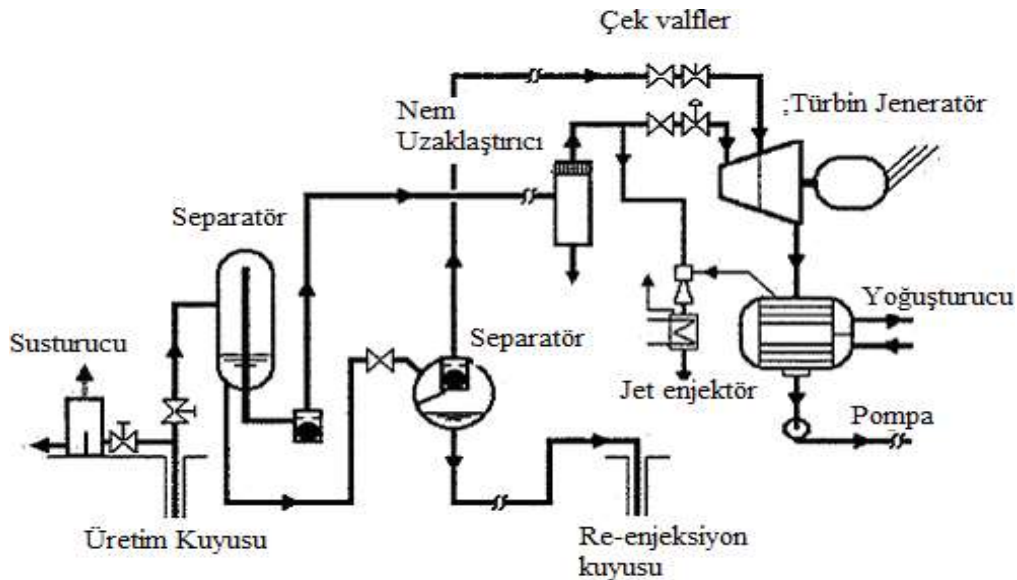
- **Tek püskürtmeli sistem:** Buhar santrallerinde buhar-sıvı karışımı kaynak seperatör yardımı ile buhar ve sıvı olarak ayırılır. Buhar; elektrik üretimi için türbinlere, sıvı ise yer altı sıvı salınım kuyularına salınır. Bu modelleme de türbinlere enerjisini vererek çıkan buhar, soğutma kulesine ya da püskürtme havuzunda oluşan soğutma suyu ile sıvı haline çevrilir ve yer altı sıvı salınım kuyusuna salınır.

Buhar yüzdece düşük olduğu karışımlarda ya da kaynağın tamamen sıvı fazda olduğu durumlarda püskürtmeli buhar sistemleri kullanılır. Püskürtme işlemi; püskürtme havuzu adı verilen kısımda gerçekleşir. Püskürtme işlemi sırasında akışkan kaynağın entalpisi sabitlenerek basıncı düşürülür ve akışkanın bir kısmı buharlaşır. Püskürtme sonrası jeotermal kaynağın ısı değeri düşer. (M. Kanoğlu, 1999)



Şekil 3. 43 Tek püskürtmeli sistem

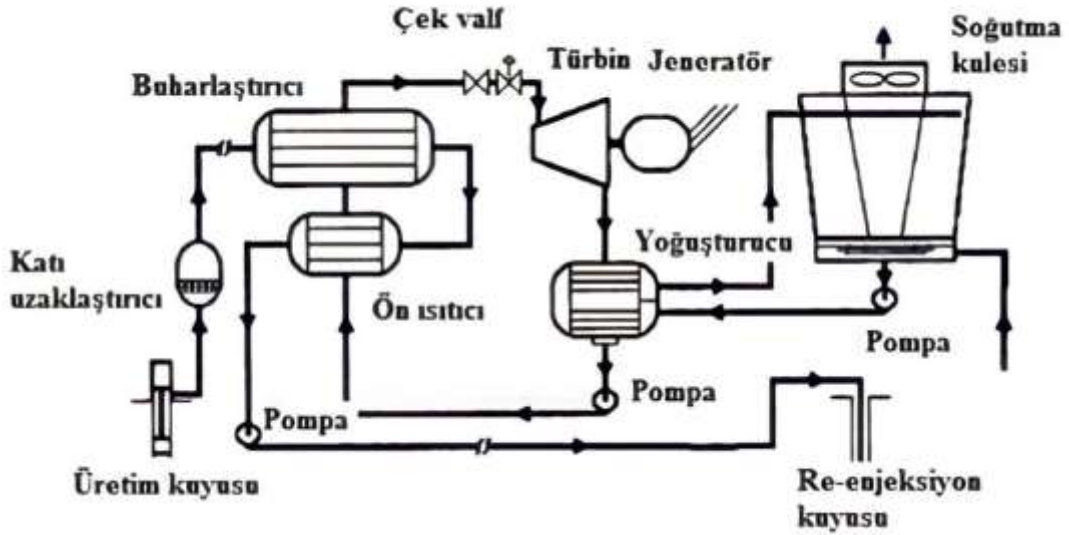
- **Çift püskürtmeli sistem:** Akışkan jeotermal kaynağın tek püskürtme işlemi sonrası sıcaklık değerinin hala yüksek olduğu durumlarda iki ya da daha fazla püskürtme işlemi yapılabilir. İlk püskürtme işlemi sonrası jeotermal akışkanın sıcaklığı hala yüksek ise akışkan tekrar püskürtme havuzuna gönderilir ve püskürtme işlemi tekrarlanır. İkinci püskürtme ile elde edilen buharın basıncı, ilk püskürtmeden elde edilen buhar basıncından düşük olduğu için gerekirse sisteme ikinci bir buhar türbini ilave edilebilir. Çift ya da daha fazla püskürtmeli sistemlerin kurulum ve işletim maliyetleri yüksek olduğu için çok tercih edilmemektedir. (M. Kanoğlu, 1999)



Şekil 3. 44 Çift püskürtmeli sistem (DiPippo, 2012)

3.2.7.3. Binary cycle santrali (ikili çevrim)

Binary cycle santrallerine ikili çevrim santrali ismi de verilir. Bu sistemlerde amaç; kaynak olarak kullanılan jeotermal akışkanı başka bir akışkana katarak kapalı sistemde enerji üretmektir. İkili çevrim santralleri aynı zamanda kapalı devre Rankine çevrimidir. Düşük sıcaklıkta ve ağırlıkca sıvı olan jeotermal kaynak, ısı değiştirici yardımıyla ikinci bir çalışma sıvısına dönüşmesi sağlanır. Yeni oluşan kaynak genişerek buharlaşır ve türbinleri döndürür, elektrik üretimi sağlanır. Türbinlere enerjisini veren buhar, kondenser yardımıyla sıvı akışkan haline döner ve sıvı salınım kuyusuna salınır. Binary cycle santralleri, düşük sıcaklıktaki kaynaklardan elektrik üretimi için modellenmiştir. (Barbier, 2002)



Şekil 3. 45 Binary cycle santrali (DiPippo, 2012)

3.2.8. Rüzgar Santralleri

Rüzgâr bir hava hareketidir. Havanın hareket etmesiyle oluşan rüzgâr gözle görülemez, hissedilebilir veya çevrede ki etkisinden anlaşılabilir. Atmosfer hava basıncı dünyanın her yerinde aynı değildir. Bazı kısımlarda fazla bazı kısımlarda ise azdır. Bu hava basınç farklılıklarını sonucu rüzgârlar oluşur.

Rüzgâr kinetik enerjiye sahiptir. İnsanoğlu dünyada ki oluşumundan beri rüzgârın varlığından çeşitli alanlarda yararlanmıştır. Elektrik üretimi, tahıl öğütme makineleri, su depolama alanları, şarj sistemleri gibi birçok alanda rüzgârdan faydalanılmaktadır.

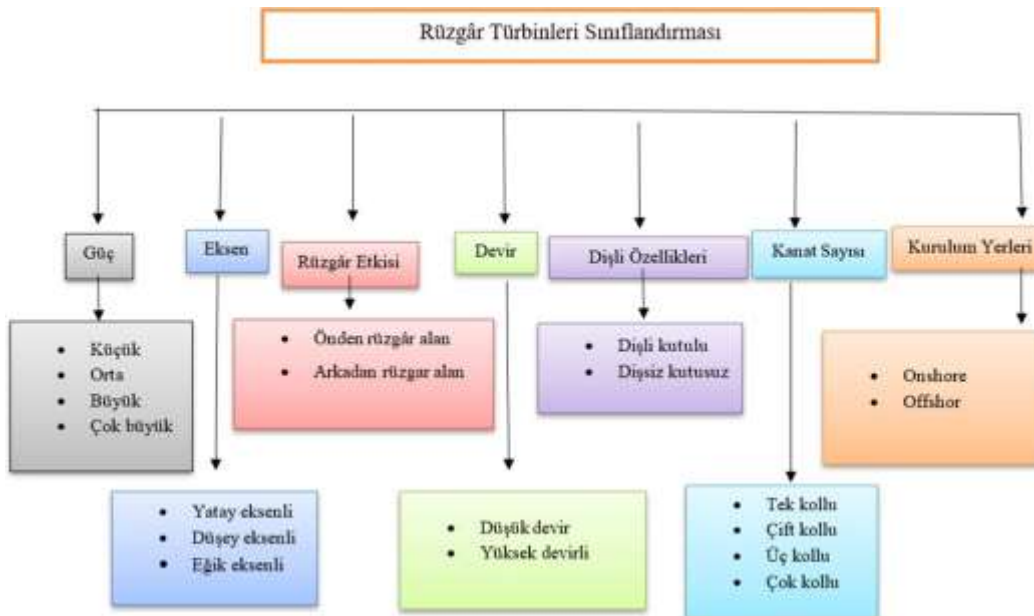
Rüzgârı oluşturan hava akımının sahip olduğu hareket enerjisine rüzgâr enerjisi denir. Rüzgâr oluşumunda sıcak-soğuk olayları etken olduğu için, rüzgâr enerjisinin kaynağı güneştir. Rüzgâr enerjisinin kullanımı M.Ö. 2800'lü yıllara dayanır. Mezopotamya'nın verimli topraklarını sulama amacıyla ilk kullanımı gerçekleşmiştir.

Yüksek basınç alanından alçak basınç alanında doğru hareket eden hava akımından oluşan rüzgâr, sahip olduğu kinetik enerji sayesinde elektrik üretimi yapılır. 1980 yılı sonrasında Avrupa ve Amerika'da ki gelişmeler ile rüzgâr santralleri tercih edilmeye başlamıştır. Bu süreç seri üretime geçilmesi, yeni modeller üretilip geliştirilmesi ve daha büyük güçte santraller kurulmasıyla devam etmiştir. Önceden kara parçası üzerine kurulumu gerçekleşen rüzgâr santrallerinin, günümüzde deniz gibi su topluluklarına da kurulumu yapılabilmektedir.

Rüzgâr enerjisinden elektrik üretimi gerçekleştiren ilk türbin 1981'de Paul la Cour tarafından modellenmiş ve Danimarka'da hayata geçirilmiştir. Elektrik birim fiyatlarında ki pahallılık nedeni ile rüzgâr türbinlerine yönelme olmuş, seri üretim ve yüksek güçte santral ihtiyacı doğmuştur. Bu sebepten dolayı rüzgâr enerjisi alanında yapılan gelişmeler ile elektrik birim fiyatında da düşüş yaşanmıştır. (History, 1999) Günümüzde ki rüzgâr santrallerinin üretiminde en yaygın olan ülke Danimarka'dır.

Rüzgâr türbinleri mekanik açıdan 7 sınıfa ayrılmaktadır. Bunlar aşağıda ki şekilde verilmiştir.

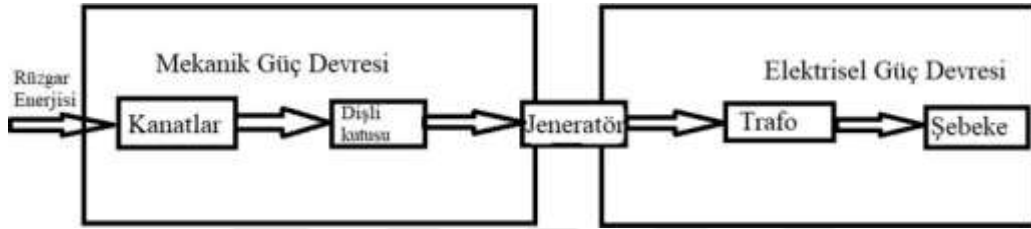
Tablo 3. 5 Rüzgâr türbinleri sınıflandırması



3.2.8.1. Yatay eksenli rüzgar türbinleri

Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde dönme eksenini paralel, kanatlar ise rüzgâr yönüyle dik açıdır. Endüstriyel türbinler çoğunlukla yatay eksenlidir. Türbinin dönme hareketi yapan kısımları rüzgârı en doğru açıda karşılayacak şekilde döner bir parçanın üzerine montajlanmıştır. Genellikle rüzgâr yönü bakımından; rüzgârı önden alan modelleri tercih edilir. Kulenin oluşturduğu gölgeden rüzgârın etkilenmesi az olduğu için rüzgârı önden alan model tercih edilmektedir. Kanat sayısı bakımından ise günümüzde çoğunlukla üç kanatlı model tercih edilir. Bu tipte ki türbinler elektrik üretimi amacı ile kullanılır.

Yatay eksenli rüzgâr türbinlerinde rotor, dişli çark, jeneratör ve fren bir yatay şafta montajlanmıştır.



Şekil 3. 46 Rüzgâr türbini elektrik üretim şeması

3.2.8.2. Dikey eksenli rüzgar türbini

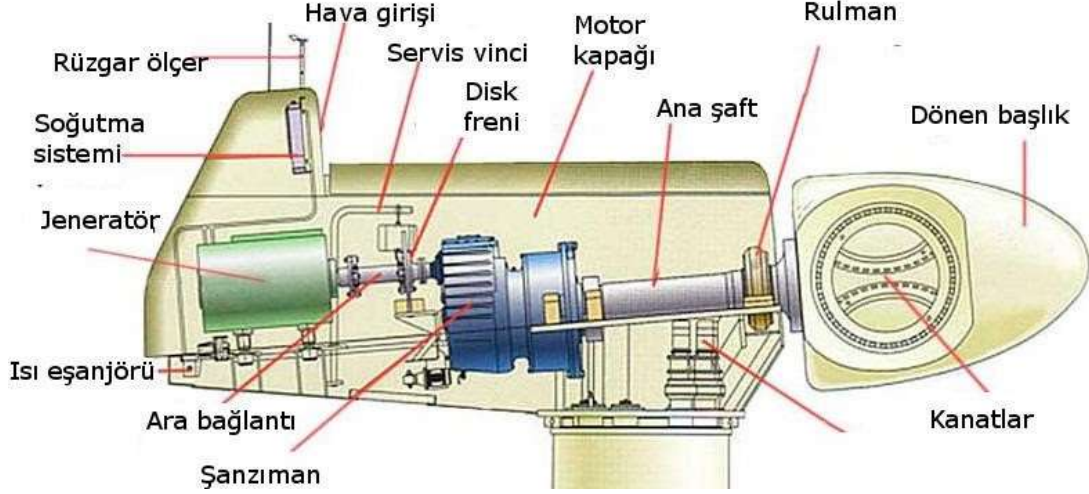
Dikey eksenli rüzgâr türbinlerinin kanatları rüzgâra dik açıdadır. Bu tip türbinler her yönden gelen rüzgârı kullanabilmektedir. Basit bir örnek vermek gerekirse; evlerde kullandığımız çırpıcılar dikey eksenli rüzgâr türbinlerine bir örnektir. Kanatlar ve yardımcı elemanlar düşey şaft üzerine montajlanmıştır. İlk dikey eksenli rüzgâr türbini 1981 yılında Darrieus tarafından tasarlanmıştır.

3.2.8.3. Eğik eksenli rüzgar türbini

Eğik eksenli rüzgar türbinlerinde; türbinler rüzgara göre belirli açıda montajlanır. Kanatlarla dönme eksenini arasında hesaplanarak belirlenmiş bir açı dengesi vardır. Eğik eksenli rüzgar türbinleri günümüzde çok tercih edilmemektedir.

3.2.8.4. Rüzgar türbini bileşenleri

Aşağıda ki şekil 3.48’de rüzgar türbininin iç yapısı gösterilmiştir.



Şekil 3. 47 Rüzgâr türbini içyapısı

- **Kanat:** Rüzgârların uçaklarda ki etkisi düşünebilir. Rüzgâr sayesinde dönen kanatlar, oluşan enerjiyi rotora aktarır. Kanat boyu ve sayısı santrale göre değişmektedir.
- **Rotor:** Kanatların birbirine bağlandığı yerdir.
- **Kanat açısı sürücüsü:** Sistemin elektrik üretimi için ihtiyacı olduğu rüzgâr hızından daha az ya da daha fazla olduğu zamanlarda ve rüzgâr hızının değişken gösterdiği zamanlarda rotor dönmelerini engeller. Bunun için; kanatların rüzgâr ile olan açısını değiştirerek rüzgâr hızına göre ayarlar.
- **Sapma Sürücüsü:** Rüzgârın yönünü değiştirdiği zamanlarda rotoru hareketlendirerek kanatların rüzgâra karşı pozisyon almasını sağlar.
- **Rotor Şaftı:** Rotoru dişli kutusuna bağlayan bölümdür.
- **Fren:** Herhangi bir acil durumda rotoru durdurarak kanatların dönmelerini engeller.
- **Jeneratör:** Mekanik enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürür. Rüzgâr türbinlerinde asenkron ve sekron jeneratörler kullanılır.
- **Kule:** Çoğunlukla kuleler çelik ya da betondan inşa edilir. Kulenin yüksekliği; türbinin inşa edileceği bölgede ki rüzgârın hızına göre tercih edilir. Bir rüzgâr santralinin inşa maliyetinin yaklaşık olarak %15'i kula imalatına harcanmaktadır.

4. ENERJİ ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN ÇEVRESEL ETKİLERİ

4.1. Termik Santrallerin Çevresel Etkileri

Termik santrallerde yakıt olarak ağırlıklı kömür, petrol ve doğalgaz kullanılmaktadır. Ülkemizin elektrik enerjisine olan ihtiyacının yüksek oranda yanıt bulduğu termik santrallerimizde başta yakıt olarak taşkömürü kullanılırken, daha sonraki yıllarda yakıt olarak linyit kömürü kullanılmaya başlanmıştır. Bu santrallerde her ne kadar elektrik ihtiyacımızı karşılasak da, enerji üretimi aşamasında bacadan salınan gazlar, baca külleri, yakıt stok alanındaki küller, yakıt transfer yolları, kömür ve küllerin bantlar ile taşınması aşamasında çevreyi olumsuz yönde etkilemektedir. (Sedat Kadioğlu, 1996)

Yakıtın kullanmasıyla oluşan ve bacadan atmosfere salınan zararlı atıklar; kükürtoksit, azotoksit, karbonoksit ve havada asılı kalan katı veya sıvı maddelerin mikro ölçüdeki parçacıkları olan partikül maddelerdir. Salınan bu atıklar, kullanılan yakıtın türüne, bileşimine ve yakma özelliklerine göre farklılık gösterebilir. Enerji üretim amacıyla yakılan yakıt ile birlikte yakıtın içeriğinde ki kükürtlü bileşik de yanar. Yanma sonucunda ortaya kükürtoksit çıkar ve su ile tepkimeye girerek sülfirik asit oluşturur. Su içinde kolaylıkla çözünebilir olan asit yağmurları, rüzgarlar sayesinde uzak bölgelere de taşınabilir. Asit yağmurları nehir, göl ve deniz gibi su topluluklarına yağması, suda yaşayan canlılar için hayati bir risk oluşturmaktadır. Su ile tepkimeye giren asit yağmurları, bu tepkime sonucunda asit oluşturur. Oluşan asit yaklaşık 1 hafta kalır ve sonrasında çökerek çevresel kirliliğe yol açar. (Sedat Kadioğlu, 1996)

Tablo 4. 1 Filtresiz çalışan 100 MW gücünde ki termik santralin kirletici etkileri (TÇSV, 2020)

Kükürt Dioksit (SO ₂)	45.000 ton/yıl
Azot Oksit (NO _x)	26.000 ton/yıl
Karbonmonoksit (CO)	750 ton/yıl
Katı partiküller	32.500 ton/yıl
Hidrokarbonlar	250 ton/yıl
Kül	5.660 ton/yıl

Asit yağmurunun toprağa düşmesinde ki etkisi daha farklı olmaktadır. Toprağa düşen asit yağmuru, toprağın pH değerini düşürerek asitlik derecesini arttırmasına sebep olur. Doğada gerçekleşen kimyasal ve biyolojik olaylar, toprağın pH değerinin değişmesi ile etkilenir. Ormanlara düşen asit yağmurları ağaçları yapraksız bırakarak ölmelerine sebep olur.



Şekil 4. 1 Asit yağmuru

Asit yağmuru toprağın kimyasal ve biyolojik dengesini bozarak toprağın yapısında bulunan kalsiyum ve magnezyum gibi elementler ile tepkimeye girer. Tepkimeye giren bu elementler, taban suyu ile karışarak toprağın zayıflamasına ve verimliliğin düşmesine neden olur. Asitleşmenin başka bir çevresel etkisi ise asit nemidir. Asit nemi toprakta bulunan ve çözünmesi zor olarak bilinen civa, kadmiyum ve alüminyum gibi zehirli maddeler ile tepkimeye girerek besin zincirinin ya da beslenme suyu yolu ile bitkilerde, hayvanlarda ve insanlarda toksik etki yaratmaktadır. Ülkemizde asit yağmurları ile tahribat gören ormanlarımız başlıca Murgul-Göktaş, Samsun-Gelemen ve Muğla-Yatağan'dır. Ankara'da yağmur pH'sinin ölçülmesi ve 5.4 çıkması ise asit yağmurlarının varlığını göstermektedir. (MGM, 2020)

1982 Anayasasında ; "Madde 56- Herkes, sağlıklı ve dengeli bir çevrede yaşama hakkına sahiptir. Çevreyi geliştirmek, çevre sağlığını korumak ve çevre kirlenmesini önlemek Devletin ve vatandaşın ödevidir. Devlet, herkesin hayatını, beden ve ruh sağlığı içinde sürdürmesini sağlamak; insan ve madde gücünde tasarruf ve verimini arttırmak, işbirliğini gerçekleştirmek amacıyla sağlık kuruluşlarını tek elden planlayıp hizmet vermesini

düzenler. Devlet, bu görevini kamu ve özel kesimdeki sağlık ve sosyal kurumlardan yararlanarak, onları denetleyerek yerine getirir. Sağlık hizmetlerinin yaygın bir şekilde yerine getirilmesi için kanunla genel sağlık sigortası kurulabilir.” maddesine yer verilmektedir. Bu çerçevede Çevre Kanunu’nun kabul edildiği 09.08.1983 tarihinden bugüne çeşitli çevresel düzenlemeler yapılarak, çevre kirliliğinin önüne geçilmesi amaçlanmaktadır. Bunlardan bazıları; Hava Kalitesi Değerlendirme ve Yönetimi Yönetmeliği (HKDYY) ve Sanayi Kaynaklı Hava Kirliliğinin Kontrolü Yönetmeliği (SKHKKY)’dir. Bu yönetmeliklere göre enerji üreten bir santralin uyması gereken emisyon sınır değerleri aşağıda ki tabloda verilmiştir.

Tablo 4. 2 Hava kalitesi sınır değerleri (Aytaç, 2018)

Parametre	Süre	Birimi	Yıl						
			2014	2015	2016	2017	2018	2019-2023	2024 ve sonrası
SO ₂	Saatlik	µg/m ³	500	470	440	410	380	350	350
	24 Saatlik		250	225	200	175	150	125	125
	Yıllık		20	20	20	20	20	20	20
NO ₂	Saatlik	µg/m ³	300	290	280	270	260	250	200
	Yıllık		60	56	52	48	44	40	40
Havada Asılı Partikül Madde	24 Saatlik	µg/m ³	100	90	80	70	60	50	50
	Yıllık		60	56	52	48	44	40	40
CO	8 saatlik ortalama	mg/m ³	16	14	12	10	10	10	10

Asit yağmurları, zararlı gaz salınımları ve küllerin verdiği çevresel zararları aşağıda ki şekilde sıralayabiliriz; (CSB, 2021)

- Ağaçların olgunlaşmadan kesilmesi
- Arazi gelirinden yararlanamama

- Yeniden ağaçlandırma dan dolayı oluşan maddi hasar
- Zararlı gazların salınımıyla habitatta oluşan etkiler
- Toprak kalitesinde düşüş
- Deprem riskinin artması
- İklim değişiklikleri ve sera etkisi
- Gürültü
- Su kaynaklarının kirlenmesi

4.2. Hidroelektrik Santrallerin Çevresel Etkileri

Bir HES den kaynaklı ortaya çıkabilecek sorunları planlama, yapım ve işletme olarak üç bölümde inceleyebiliriz.

Planlama aşamasında doğabilecek zararları ele alırsak; santralin kurulacağı alanda ki akarsuyun enerjisi ve suyun potansiyeli dikkate alınırken, bölgenin ekonomik, toplumsal ve kültürel değerleri göz ardı edilmektedir. Plan ve proje aşamasında, santral kurulacak bölgenin tümüyle araştırılıp tartışılarak karar verilmesi gerekir.

Yapım aşamasında doğabilecek sorunlara; akarsunun doğal akış düzeninin değiştirilmesini örnek verebiliriz. İnşaat aşamasında aşırı gürültü, toz, trafik, doğal hayatın zarar görmesi gibi sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ancak çoğu zaman inşaat sırasında ortaya çıkan hafriyatın, inşaat alanından uzaklaştırılması ve nasıl taşınacağı konuları problem olmaktadır. Dik eğimli yamaçlarda iletim hatlarının inşaatı sırasında oluşan hafriyat, genellikle dere yatağına dökülür. Dere yatağına dökülen hafriyat hem gelişmekte olan bitkisel hayatı olumsuz etkiler hem de dere yatağı civarında deprem ya da heyalan riskini arttırmaktadır. (Turhan, Çağatay, & Keçeci, 2015)



Şekil 4. 2 HES iletim kanalı nedeniyle tahrip edilen orman görüntüsü Çoruh Vadisi, Artvin

HES'in inşaatında kullanılan dinamit patlatma işlemi; hava ve toprak kirliliğine sebep açmaktadır. Patlama sonucunda çıkan gürültü ise canlı habitatı olumsuz etkilemektedir. HES projelerinin planlama aşamasında yapılan Çevresel Etki Değerlendirme (ÇED) raporlarında genellikle gürültünün doğal yaşam üzerinde ki etkisi göz ardı edilmektedir. Bir başka olumsuz etki ise; patlama nedeniyle ortaya çıkan toz, bitki yapraklarının üzerine kaplar ve ışık geçirgenliğini azaltarak fotosentez yapmasını engeller. Bu yüzden ağaçların büyümesini engeller ve bitkilerin yeşermesini olumsuz etkileyerek görüntü kirliliği de meydana getirir. (Turhan, Çağatay, & Keçeci, 2015)

HES'in işletme aşamasında ki çevresel etkisine; kullanılan akarsuyun giderek azalmasını gösterebiliriz. HES; akarsuyun akış hızını, yönünü, miktarını, derinliğini ve taban yapısını değiştirmektedir. Bunun neticesinde; tarımsal arazilerin sulama problemleri doğmaktadır.

Akarsu miktarının azalmasına bağlı olarak suda ki çözülmüş oksijen miktarı azalır ve suda yaşayan canlıların ölmesine sebep olur. Aynı şekilde suyun sıcaklık değerinde de değişimler gözükmektedir. Suyun sıcaklığına hassas olarak yaşayan türlerin yaşamını olumsuz

etkilemektedir. Örneğin; alabalıkların akarsular da yaşamını sürdürebilmesi için su sıcaklığının 15 °C'nin üstüne çıkmaması gerekmektedir. (Yaman & Haşıl, 2017)

Akarsular; yer altı sularını beslemektedir. Yer altı suları ise dere yatağında bulunan ormanları, bitki örtüsünü ve canlı yaşamı besleyen önemli bir kaynaktır. HES kullanımından dolayı azalan akarsu miktarı dolaylı olarak yer altı suları da azaltır. Dere yatağının etrafında bulunan ormanlar; meydana gelebilecek seli de kontrol etmektedir. Akarsu etrafında ki azalan ormanlar; dolaylı olarak sel baskını riskini de arttırmaktadır. (WWF-TR, 2013)

Üretim de olan bir hidroelektrik santrali barajının çevresel etkileri bulunmaktadır. Baraj yüzey alanının nehre göre daha büyük olması sebebi ile buharlaşma daha fazladır. Buharlaşmanın artmasından dolayı iklimsel değişiklikler meydana gelir. Buharlaşma ile havada ki nem oranı artar, hava olaylarında değişiklikler ve sıcaklık, rüzgar, yağış gibi faktörleri etkilemektedir. Bu değişiklik bölgede yaşayan canlılığın etkilenmesine sebep olur. Doğa olaylarında ki bu değişikliğe adapte olabilen canlı türleri ayakta kalabilmektedir, bazı canlı türleri ise adapte olamadan ölür. Barajlara kaynak olarak kullanılan nehirlerin buharlaşması ile suda ki tuz miktarının ve minerallerin artmasına neden olur. Bu değişim su ortamında yaşayan canlı popülasyonunu etkilemektedir. (Sedat Kadıoğlu, 1996)

Hidroelektrik santral barajının yapımında da orman tahribatı, doğal ortamda yaşayan canlıların yaşama alanlarının su altında kalması, bazı endemik türlerin yok olması gibi çevresel etkiler meydana gelebilir. Hatta santral civarında ki tabiatın ve tarihi kültürel değerlerin kaybı söz konusu olabilmektedir.



Şekil 4. 3 HES öncesi Erzurum Taşlıköy



Şekil 4. 4 HES sonrası Erzurum Taşlıköy

HES’de baraj kapaklarının açılması ya da patlaması ile meydana gelen sel ve su taşkınları da başka bir çevresel etkidir ve ölümlere neden olabilir. 5 Nisan 2021 tarihinde de Giresun’da buna benzer bir olay gerçekleşti. Aksu deresi üzerine kurulmakta olan hidroelektrik santralin kapakları, fazla yağış ve barajın taşması nedeni ile açıldı. Açılan kapaklar sonucunda bölgede sel meydana geldi ve 1 işçi sele kapılarak yaşamını yitirdi. (KABAHASANOĞLU, 2021)



Şekil 4. 5 Kapağı açılan HES ve sonrasında oluşan sel

4.3. Nükleer Santralin Çevresel Etkisi

Nükleer santrallerin çevresel etkileri santral aşamalarında gerçekleşir. Bunlar; yakıt hazırlama, üretim, yakıtın işlenmesi, depolanması ve ömrü sona eren santralin sökülmesi gibi aşamalardır. Nükleer güç santrallerinde yakıtın işlenmesi sırasında etrafa zararlı ışın salınımı gerçekleşir. Ama bir nükleer enerji santralinde en çok korkulan ve endişelendiren durum, herhangi bir kaza sonucunda yüksek miktarda radyoaktif maddenin salınımıdır. Radyoaktif maddelerin çevreye çok ciddi derecede olumsuz etkileri bulunmaktadır. Radyasyon ışınlama yöntemi ile bitki veya deniz mahsullerinin yenmesi sonucu insanlara geçer. Radyoaktif maddelerin yarı ömürleri 28 yıldan fazladır ve insan vücudunda ki elementlerle benzerlik gösterdikleri için insan vücudunda da yaşayabilirler. Örnek verecek olursak; kemik oluşumunda yer alan kalsiyum ve insan vücudunda bulunan potasyumun radyoaktif maddeler ile benzerliği bulunmaktadır. Bu yüzden radyoaktif ışınımına maruz kalan bir insan vücudunda kemik erimesi, kemik kansere yada çeşitli ağır ve ölümcül hastalıklar görülebilmektedir. Toprağa salınan radyoaktif maddeler ise; toprakta yetişen bitkilere bulaşır. Bitkilerden ise hayvanlara ve insanlara geçebilmektedir. Ömrü biten yakıtların ortama yüksek değerlerde ışınım yaydıklarından dolayı, bu tür yakıtlar gerekli tedbirler alındıktan sonra depolanıp saklanmalıdır. Radyoaktif sızıntı olan bir nükleer enerji santralinin bulunduğu konum ve civarında ki alanın belli bir süre ile boşaltılarak önlem alınması gerekir.

Nükleer enerji santrallerinin çevresel etkilerini şu şekilde sıralayabiliriz;

- Nükleer tesisler; çevreye salınması durumunda radyoaktif kirlilik oluşturacak ve tüm canlı yaşamı etkileyecek güçte yüksek radyoaktivite içerir.
- Herhangi bir kaza anında büyük hasarlar verebilecek potansiyele sahiptir.
- Santralin reaktörleri yüksek enerji içerir ve çok hızlı yayılabilen radyoaktif sıvı ve gaz taşıyıcılara sahiptir.
- Yakıtların çıkarılması, yakıtın işlenmesi ve ömrü biten yakıtın sistemde değiştirilmesi aşamaların düşük miktarda salınım yaparlar. (CSB, Nükleer Santraller, 2018)



Şekil 4. 6 Çernobil faciası

Bir nükleer enerji santralının proje aşamasındayken dikkat edilmesi gereken hususlar;

- Tesis güvenliği için teknik ve kurumsal önlemlerin uygulanması

- Tesis tedbirlerinin santralin yer seçimi, tasarımı, inşaatı, işletmeye alma ve işletmeden çıkarma gibi aşamalarda da uygulanması
- Bilgili kişiler tarafından tesis çalışanlarına radyasyondan korunma ve nükleer güvenlik hakkında eğitim verilmesi
- Acil durum eylem planı oluşturulması
- Santral için kullanılacak yakıtın ve ömrü biten yakıtın depolanması

gibi hususlardır.

4.4. Güneş Santrallerinin Çevresel Etkileri

Güneş enerjisi, güneşin çekirdeğinde bulunan füzyon ile meydana gelen ışıma enerjisidir. Elektrik üretim santrallerinde, evsel sıcak su ihtiyaçların, sera ısıtmaları gibi alanlarda kullanılmaktadır. Günümüzde yoğunlukla sıcak su amaçlı kullanılmaktadır.

Güneş enerjisi çevresel faktörler göz önüne alındığında, temiz enerji sınıfına girmektedir. Sadece su ısıtma amaçlı bina çatılarına kurulan güneş kolektörlerinin, görüntü açısından kirlilik oluşturduğunu söyleyebiliriz. Çevreye olumsuz bir etkisi olmayan, temiz ve sürekliliği olan bir enerji kaynağıdır. Fosil yakıtlara alternatif olabilecek bir yenilenebilir enerji kaynağıdır.

Öncelerinde evsel ihtiyaçlarda kullanılan güneş enerjisi günümüzde haberleşme, tarım, elektrik santralleri, bina ve yol aydınlatmaları, askeri hizmetler, uydu alıcıları, hesap makineleri, saatler, radyo ve meteoroloji istasyonları gibi pekçok alanda kullanılmaktadır.

Avantajları arasında kaynak olan güneşten enerjiyi doğrudan kullanması, evlerde doğal ısıtmaya yardımcı olması, bölgesel olarak elektrik ihtiyacına yanıt verebilmesi, ekonomik ve kaynak açısından dışa bağımlılığının olmaması sayılabilir. Dezavantaj olarak ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olması ve güneş pillerinin verimliliğinin düşük olması sayılabilir. (Şenpınar & Gençoğlu, 2006)



Şekil 4. 7 Güneş Enerjisi

4.5. Dalga Enerjisi Santrallerinin Çevresel Etkileri

Yeryüzünde ki farklı sıcaklık dereceleri sonucunda meydana gelen rüzgarların deniz yüzeyinde esmesi ile dalga oluşur. Oluşan dalga içerisinde enerji barındırır ve dalga enerjisi santrallerinde kaynak olarak kullanılır. Kullanılabilir kapasitenin, sahilin birim uzunluğu başına sakin havalarda birkaç MW/m olduğu hesaplanmaktadır. Kapasitesi derinliklere indikçe artar ve 100 metre derinliğe kadar kullanılmaktadır. (Aybers & Şahin, 1995) Dalganın sahip olduğu gücün diğer yenilenebilir enerji kaynaklarına göre 15 kat daha fazla olduğu hesaplanmıştır. (Sağlam & Uyar, 2005)

Dalga enerjisi ile denizlerde ki bitmez ve tükenmez güç kullanılır. Kullanıldığı alanda herhangi bir toprak kaybı olmaz. Deniz canlıları arasında ki ekolojik dengeyi sağlar. Bu denli sınırsız bir enerjinin varlığı düşünüldüğünde, büyük kapasiteli dalga enerjisi santralleri kurulmasının verimli ve ekonomik olması öngörülmektedir. (Çokan, 2004) Dalga enerjisi kullanımı daha yaygınlaştığı zaman havada ki karbon ve nitrojen türevleri azalacaktır. Bu da içerisinde temiz hava soluduğumuz alanın hava kalitesini arttıracak ve canlılar adına daha sağlıklı olacaktır. (Şenpınar & Gençoğlu, 2006)

Günümüze gelene kadar pekçok dalga enerjisi santrali kurulmuş ve elektrik üretimi teknikleri geliştirilmiştir. Ancak beklentilerin altında kalması ve karşılaşılan olumsuz tecrübeler ile dalga enerjisine olan ilgi azalmıştır.

Dalga enerjisi kaynağının sonsuz ve yenilenebilir olması, bölgesel olarak elektrik ihtiyacını karşılaması, temiz bir enerji kaynağı olması, tuzlu suyun tatlı suya dönüştürülüp ihtiyaç olan bölgeye aktarılması, fosil yakıtların neden olduğu hava kirliliği ve asit yağmurlarının önüne geçmesi, yatırım maliyeti dışında ekonomik olması gibi olumlu yönleri vardır. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemiz içinde kullanışlı bir enerji kaynağı olması nedeni ile potansiyeli yüksek ve gelecek yıllarda kullanımının artması beklenmektedir.

4.6. Jeotermal Enerjinin Çevresel Etkileri

Jeotermal enerji yenilenebilir ve temiz bir enerji kaynağıdır. Yer kabuğunun derinliklerinde bulunan sıcak su ve buhardan elektrik üretimi sağlanır. Aynı zamanda ısı enerjisi amacı ile de kullanılmaktadır. Jeotermal enerji, enerji kaynağının belirli uzaklıktaki alanlarında kullanılabilir. Enerjinin uzakta ki alanlara nakli söz konusu değildir.

Elektrik üretimi amaçlı kullanılan jeotermal santraller neredeyse sıfır atık ile çalışır. Zararlı salınımları, fosil yakıt kullanılan santrallere göre oldukça düşük değerdedir. Doğal yaşama olumsuz bir etkisinin olmaması ve hayati bir risk taşımaması nedeni ile temiz enerji kaynağı olarak nitelendirilir. Yeni tasarlanan jeotermal santrallerde ki CO₂ salınımı, önceki modellere göre düşüktür. Yakıt olarak kömür kullanılan santrallerde ki CO₂ salınımı, jeotermal santrallerin CO₂ salınımına göre 36 kat daha fazladır. (ADÜTEM, 2015) Jeotermal enerji üretiminde ortaya çıkan bir diğer gaz ise hidrojen sülfürdür. Hidrojen sülfür gazının çevreye verdiği tek olumsuz etki kokulu olmasıdır. Yenileyerek kendini geliştiren ve doğru teknoloji kullanıldığı zaman jeotermal santrallerin çevreye olumsuz etkisi yok denilecek kadar azdır. (H. Christopher, 1997)

Tablo 4. 3 Jeotermal santrallerin diğer enerji santralleri ile gaz emisyonları açısından karşılaştırılması (ADÜTEM, 2015)

Santral Tipi	CO ₂ kg/MWh	SO ₂ kg/MWh	NO _x kg/MWh	Partikülat kg/MWh
Kömür Yakıtlı	994	4,71	1,955	1,012
Akaryakıtlı	758	5,44	1,814	Bilgi yok
Gaz yakıtlı	550	0,0998	1,343	0,0635
Hidrotermal – flaş buharlı	27,2	0,1588	0	0
Hidrotermal – kuru buhar	40,3	0,000098	0,000458	Göz ardı edilebilir
Hidrotermal – kapalı döngü	0	0	0	Göz ardı edilebilir

Günümüzde jeotermal enerji kullanımı sayesinde fosil yakıtlardan kaynaklı oluşan sera etkisi, hava kirliliği ve asit yağmurları gibi olumsuz çevresel etkilerin önüne geçilmektedir. Jeotermal enerji santrallerinde tepkime sonucu ortaya çıkan ve yoğunlaşmayan gazlar sistemden alınıp, yakıt olarak kullanılan jeotermal akışkan ile birlikte yer altı salınım kuyularına verilir. (İ. Güney, 2001)

Jeotermal santrallerden kaynaklanan ses gürültüsü, çoğu endüstriyel tesisler ile benzerdir. Tesis içerisinde oluşabilecek gürültü değeri yaklaşık 80 desibel (dBa) ile 115 dBa arasında değişmektedir. Santralin kuyu sondajı ve test aşamalarında ses gürültüsü en yüksek seviyelere ulaşmaktadır. Çalışmakta olan bir jeotermal santralin gürültü seviyesi 900 m mesafeden 71 dBa ile 93 dBa aralığındadır. (DiPippo, 2012)

Gerek görüldüğü zamanlar da santrale ses yalıtımı veya ek susturucular kullanılarak gürültü seviyesi düşürülebilmektedir. Kıyaslama yapılabilmesi için; şehir merkezlerinde ki gürültü seviyeleri 70 dBa ile 85 dBa arasında iken, ana yol bölgesinde ki gürültü seviyesi ise 90 dBa seviyesine kadar çıkmaktadır. Sonik patlamalara sebep olabilen jet uçaklarının pistten kalkış anında ki gürültüleri ise ortalama 125 dBa seviyelerindedir.



Şekil 4. 8 Yer altı salınım kuyusu boru hattı



Şekil 4. 9 Yer altı salınım kuyusu montajı

Jeotermal santrallerde reenjeksiyon sistemi önemlidir. Sistem doğru şekilde kullanıldığı zaman, santralin çevresel zararı minimum seviyelerde olacaktır. Fakat reenjeksiyon yetersiz gelir ya da doğru şekilde kullanılmaz ise, santralin kurulu olduğu bölgede çevresel etkiler görünmeye başlayabilir.

Denizli ili Sarayköy ilçesinde bulunan Greeneco jeotermal enerji santrali 25,6 MW güce sahip olup Türkiye'nin 450. Büyük jeotermal santralidir. (EnerjiAtlası, 2021) 2021 yılı Şubat ayında santralin reenjeksiyon hattında gerçekleşen boru patlaması ile bölgede jeotermal sızıntı gerçekleşmiştir. Sızıntı sonucunda bölgede ki zeytin ağaçları zarar görmüş ve santral çevresinde ki hayvanlar olumsuz etkilenmiştir. (Çimendağ, 2021)



Şekil 4. 10 Greeneco Jeotermal Enerji Santralinde gerçekleşen sızıntı (Çimendağ, 2021)

4.7. Rüzgar Enerjinin Çevresel Etkileri

Rüzgar ile enerji üretiminde ki enerjinin miktarı rüzgarın hızına, yönüne ve süresinebağlı olarak değişiklik göstermektedir. Rüzgar enerjisi sürekli ve yenilenebilir bir kaynaktır. Rüzgar enerjisi kullanılan santrallerde büyük boyutlu rüzgar türbinleri kurulur. Bu rüzgar türbinleri gürültülü çalışırlar. Bir diğer olumsuz etkisi ise bulunduğu bölgede kuş ölümlerine sebep olmasıdır. Radyo, televizyon ve telefon gibi frekans ile çalışan elektronik araçlarda parazitlenmeye sebep olur. Yarattığı bu etkiler nedeni ile çoğu Avrupa ülkesinde rüzgar santralleri, milli park alanlarının içerisinde ve belirli yakınlıktaki alanlarına kurulması yasaklanmıştır. (Mustafa Özyurt, 2005)

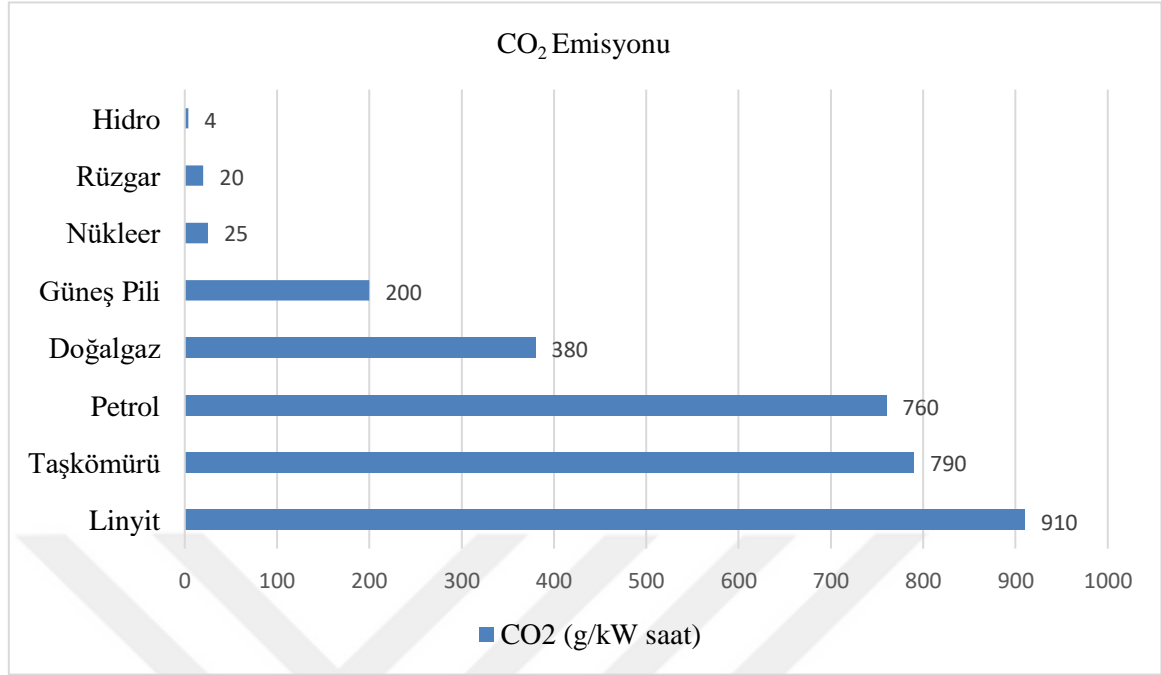
Rüzgar enerjisi ile çalışan santrallerin zararlı gaz salınımı olmaması nedeni ile rüzgar enerjisi temiz enerji kaynağı olarak nitelendirilir. Rüzgar enerjisinin modellenmesinde bölgesel planlama çalışmaları, haritalar, arazi kullanımı ve seçimi, türbin tasarımı gibi birçok faktör ele alınır. Rüzgar türbinlerinin görsel çirkinliği üzerinde de çalışmalar yapılmaktadır. Türbinlerin çevreyle bütünleşmemiş ve doğaya uygun olmaması ve göze hitap etmemesi gibi olumsuz etkenler üzerinde çalışılmaktadır. Rüzgar enerjisi; günden güne fosil yakıtların tükendiği dünyada yeni bir enerji çeşitliliğinin oluşmasından dolayı önem görmektedir. (Peker, 2001)

Dışa bağımlı bir enerji olmaması, güvenilir, kararlı ve sürekliliği olan bir kaynak olması ve yenilenen modelleri ile enerji birim maliyetlerinin düşmesi rüzgar enerjisinin olumlu etkileridir. Kaynak olarak kullanılan rüzgara göre santralin konumlanması, türbin boyutlarının büyük olması, gürültülü çalışması, kuş habitatına ölümcül zararlar vermesi, görsel ve estetik olarak çirkin olması ve radyo, televizyonlarda parazitlenme yapması ise rüzgar enerjisi ile çalışan rüzgar santrallerinin olumsuz yönleri olarak sayılabilir.

4.8. Elektrik Üretim Yöntemlerinin Çevresel Etkilerinin Karşılaştırılması

Uzun yıllardır enerji üretiminde kaynak olarak fosil yakıtlar kullanılmaktadır. Enerji günlük yaşantımızı devam ettirebilmek için heran ihtiyacımız olan bir zorunluluk haline gelmiştir. İhtiyacımız olan enerjiyi temin ederken, bir yandan içerisinde kendimize yaşam bulduğumuz doğaya zarar vermekteyiz. Fosil yakıt kullanımından meydana gelen hava kirliliği, asit yağmurları, sera gazları gibi nedenler doğada yaşamakta olan ve besin zinciri oluşturan canlılar için hayati tehlike oluşturmaktadır. Hem fosil yakıtların doğaya verdiği zarar, hem de fosil yakıt kaynaklarının gün geçtikçe azalması ve bu sebeple dışa bağımlı kalınması göz önüne alındığında; yenilenen dünya ve atılan teknolojik adımlar sonucunda enerji üretiminde fosil yakıtlara alternatif olarak yenilenebilir enerji kaynakları keşfedilmiştir. Tablo 4.4'de elektrik üretiminde kullanılan enerji çeşitlerinin CO₂ salınımı gösterilmiştir.

Tablo 4. 4 Enerji çeşitleri CO₂ emisyon dağılımı



Günümüzde yenilenebilir enerjinin kullanımı önem taşımaktadır. Bunun nedenlerini sıralayacak olursak;

- Enerji kaynaklılığında çeşitlilik
- Fosil yakıt kaynaklarının azalması
- Enerjide dışa bağımlılığın önüne geçilmesi
- Hava kirliliği, asit yağmurları ve sera gazı sorunlarının önüne geçmek
- Yerli kaynakların kullanılması
- Kırsal alanlarda elektrik kullanılabilmesi

gibi maddeler olabilir.

Tüm bu özelliklerinden dolayı elektrik üretiminde fosil yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması gerekir. Yenilenebilir enerji açısından dünyada ki teknolojik atılan adımlar takip edilerek ülkemize adapte edilmesi ve uygulanabilirlik zemininin oluşturulması gerekir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması, devlet politikası haline gelmelidir. Gerekli teşvikler ve yasal düzenlemeler ile yenilenebilir enerji cazip bir enerji alanı haline dönebilir. Tablo 4.5’de 2020 yılında ki elektrik üretiminin kaynaklarına göre dağılımı gösterilmiştir.

Tablo 4. 5 2020 yılı elektrik üretiminin kaynaklara göre dağılımı

Kaynak	Üretim (MWh)	Üretim Yüzdesi (%)
Doğalgaz	69.307.466,84	23
İthal Kömür	62.466.466,26	20
Taşkömürü ve Linyit	43.910.693,25	14
Fuel-oil	313.038,65	0,1
Biyokütle	5.132.992,39	1,77
Jeotermal	9.884.548,79	3
Hidrolik	78.084.434,68	26
Rüzgar	24.591.438,09	8
Güneş	420.223,11	0,13
Lisanssız	11.347.655,00	4
Toplam	305.458.957,06	100

Hangi üretim yöntemi olursa olsun, enerji üretiminin çevreye olumlu yada olumsuz anlamda mutlak etkisi olacaktır. Enerji üretiminde kaynak olarak yenilenebilir enerji çeşitlerinden birini seçerken bölgesel verileri göz önünde bulundurmak gerekir. Örneğin bir bölgeye rüzgar santrali kurulacağını düşünelim. Santralde kaynak olarak olarak kullanılmak üzere olan rüzgarın, o bölgede ki yıllık rüzgar şiddeti, rüzgar yönü ve rüzgarın esme süresi gibi veriler toplandıktan sonra bölgeye rüzgar santralinin uyumlu olup olmadığı tartışılmalıdır. Ancak bu veriler sonucunda santral kurulmasına karar verilmelidir.

Ülkemiz coğrafi konum özellikleri göze alındığında yenilenebilir enerji kaynakları oldukça geniştir. Elektrik üretiminde; temiz enerji kaynağı olarak nitelendirilen ve çevreye olumsuz etkisi neredeyse olmayan güneş ve rüzgar enerjisi kullanılabilir. Ülkemizin rüzgar alan bölgeleri ve güneş ışığının saat olarak fazla olduğu bölgelerinde bu temiz yenilenebilir enerji kaynakları tercih edilmelidir. Tablo 4.6’da elektrik üretim yöntemlerinin çevresel etkileri gösterilmiştir.

Tablo 4. 6 Elektrik üretim yöntemlerinin çevresel etki tablosu (Dündar & Arıkan, 2003)

Enerji Çeşiti	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Radyasyon
Petrol	X	X	X	X	X	-
Kömür	X	X	X	X	X	X
Doğalgaz	X	X	X	-	X	-
Nükleer	-	-	X	X	-	X
Hidrolik	X	-	X	X	-	-
Rüzgar	-	-	-	-	X	-
Güneş	-	-	-	-	-	-
Jeotermal	-	-	X	X	-	-

Türkiye’de bulunan su kaynakları düşünüldüğünde hidroelektrik santraller de elektrik üretiminde kullanılabilir. Ülkemizde ki küçük su kaynakları tespit edilerek, o bölgede ki elektrik arzına yanıt verecek küçük hidroelektrik santralleri kurulabilir. Hidroelektrik santrallerde; verimli tarım arazilerinin su altında kalması gibi olumsuz çevresel etkisi göz önüne alındığında, santralin yer seçimi önemlidir. Verimli tarım arazilerinin, mevsimsel truzim olan bölgelerin ve doğal koruma alanlarının dışında kalan bölgelere santral kurulumu yapılmalıdır.

Enerji politikaları belirlenmesinde çevresel etkilerin yanı sıra; kaynağın dışa bağımlı olup olmaması, kaynak ömrü ve güvenilirliği, santral istihdamı gibi etkenler de önemlidir. Tablo 4.7’ de elektrik üretim yöntemlerinin karşılaştırma tablosu verilmiştir.

Tablo 4. 7 Elektrik enerjisi üretim yöntemleri karşılaştırılması (Dündar & Arıkan, 2003)

Enerji Çeşiti	Dışsal / Yerel	Kalan Ömrü (yıl)	İstihdam (kişi/yıl)
Petrol	Dış	40-45	260
Kömür	Dış / Yerel	200-250	370
Doğalgaz	Dış	60-65	250
Nükleer	Dış		75
Hidrolik	Yerel	-	250
Rüzgar	Yerel	-	918
Güneş	Yerel	-	7600
Jeotermal	Yerel	-	

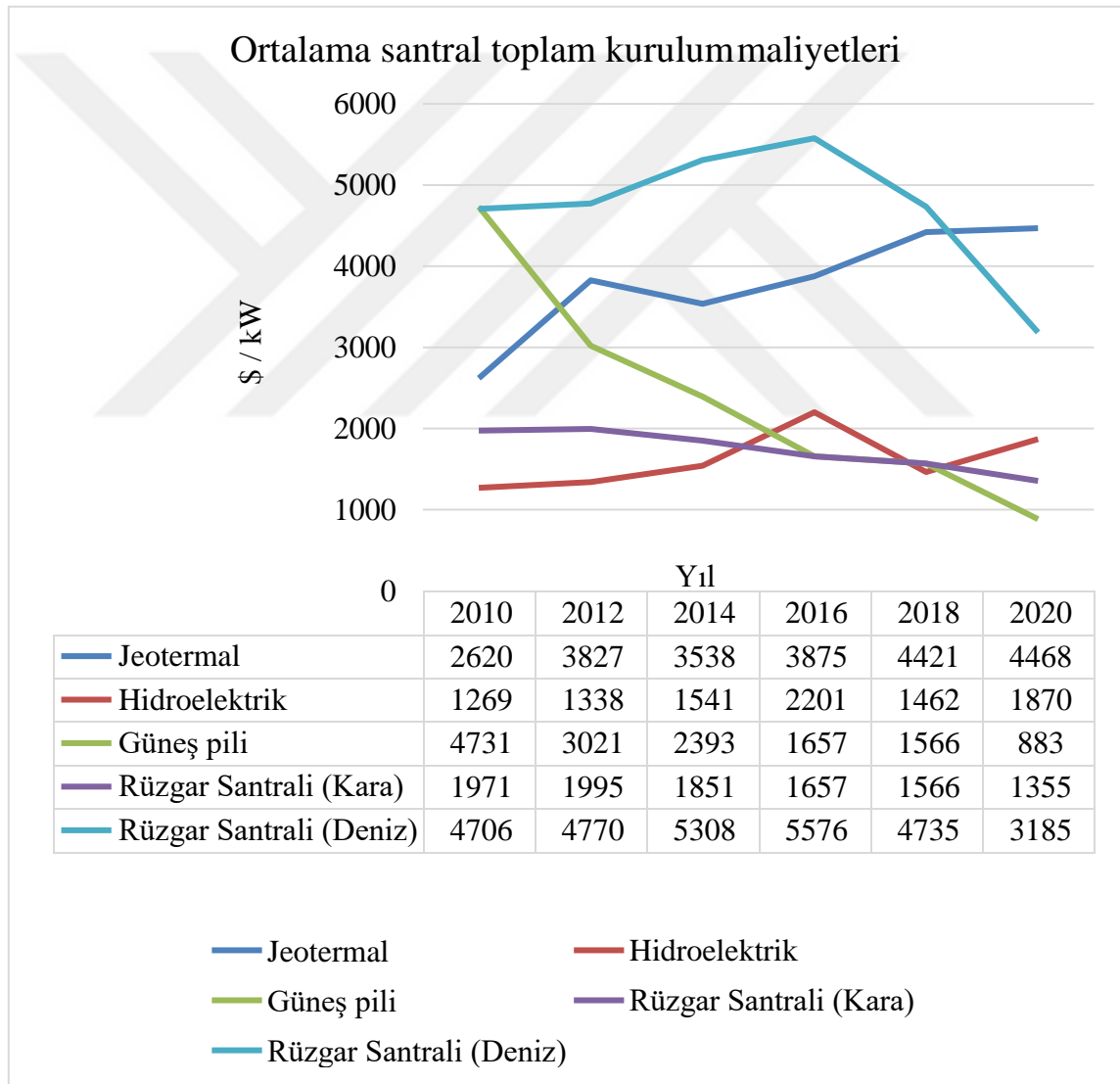
Sonuç olarak fosil yakıtlar yerine hangi türde yenilenebilir enerji kaynağı olursa olsun kullanılmaya geçilmelidir. Doğru şekilde planlanan ve üretime geçirilen bir yenilenebilir enerji santrali, fosil yakıtlı bir santrale göre çevreye verdiği olumsuz etki daha az seviyededir. Üç tarafı denizlerle çevrili ülkemizde dalga enerjisi potansiyeli de araştırılmalıdır. Güneş, rüzgar, hidrojen enerjisi, jeotermal enerji çeşitleri araştırılarak uygun bölgelere santralleri kurulmalıdır. Gelişen dünyada yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yatırım ülkelerin uygarlık seviyelerini belirten önemli bir kriterdir.



5. ELEKTRİK ÜRETİM YÖNTEMLERİNİN KURULUM ve İŞLETME MALİYETLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Enerji santrallerinde maliyet analizi yapılırken iki kriter dikkate alınır. Bunlar santralin ilk yatırım maliyeti ve birim enerji üretim maliyetidir. İlk yatırım maliyeti; santralin proje ve kurulum aşamasından üretime geçilen ana kadar olan harcamaları içerir. Birim enerji üretim maliyeti ise işletme ve bakım harcamaları, yakıt için gerekli harcamalar ve üretim aşamasında iken santral için yapılan harcamaları içerir. Yani santralin üretime devam ettiği ömrü boyunca yapılan harcamalardır.

Tablo 5. 1 Ortalama santral toplam kurulum maliyetleri (IRENA, 2021)

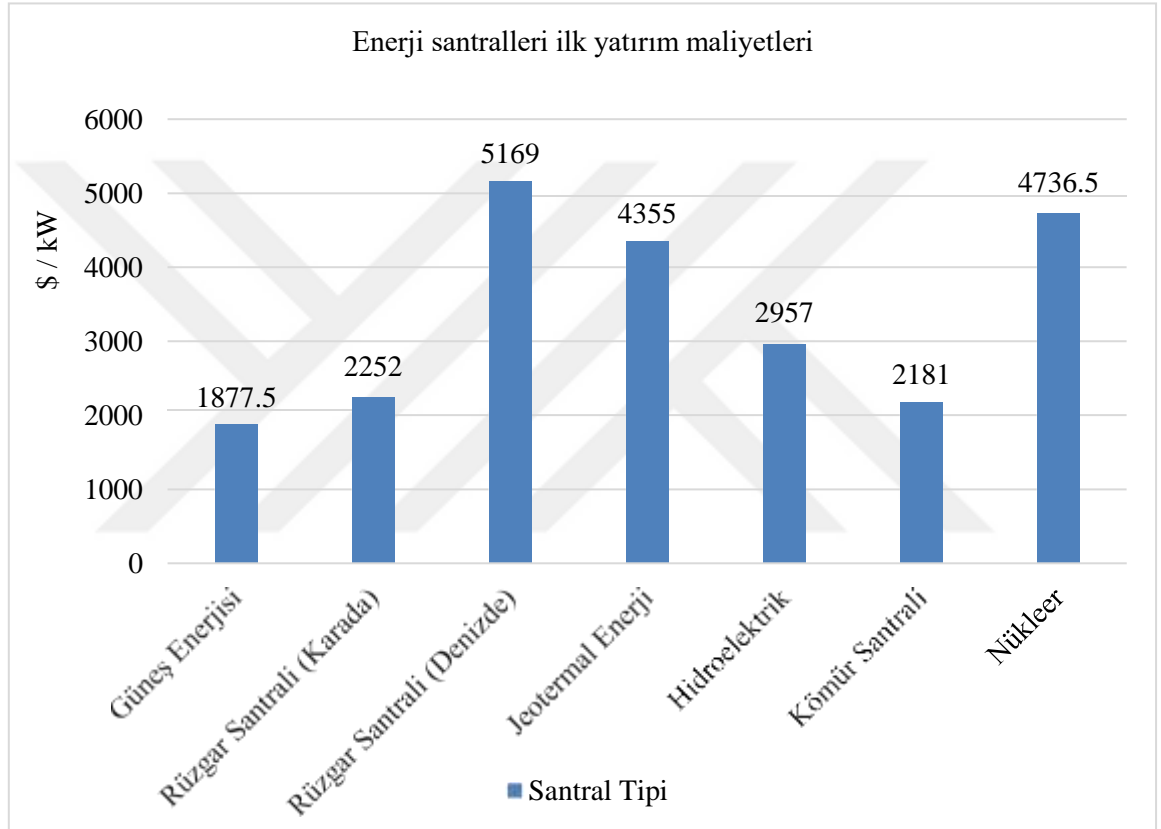


Elektrik üretiminde maliyet karşılaştırmalarını santralin ilk yatırım maliyeti ve işletme-bakım maliyeti olarak iki başlıkta inceleyeceğiz.

5.1. İlk Yatırım Maliyeti

İlk yatırım maliyeti; enerji santrallerinin üretime geçmeden önce ki kurulum aşamasında, makina ve gerekli ekipman, bina, arazi ve benzeri bir santral için gerekli olan temel unsurlar için yapılan harcamalardır. Enerji santrallerinin maliyetinde ki en büyük kısım ilk yatırım maliyetleridir. Aşağıdaki tabloda santrallerin bir birim enerji gücü için harcanan maliyetleri gösterilmiştir.

Tablo 5. 2 Enerji santralleri ilk yatırım maliyetleri (Timilsina, 2020)



Tabloya göre birim enerji güce oranlı ilk yatırım maliyeti en yüksek deniz üstüne kurulan rüzgar türbinleridir. Devamında nükleer santraller ve jeotermal santraller gelmektedir.

Aşağıda ki tabloda ise 2019 ve 2020 yılları baz alınarak ilk yatırım maliyetlerinde ki değişim farkedilmek istenmiştir. Maliyetler bölgesel olarak değişebilmektedir. (Timilsina, 2020)

Tablo 5. 3 Enerji santralleri ilk yatırım maliyetleri değişimi (Timilsina, 2020)

SANTRAL TİPİ	İLK YATIRIM MALİYETİ (\$/kW)		
	2019	2020	Değişim (%)
Nükleer Santral	5400	4736,5	-12,28
Güneş Enerjisi Santrali	1250	1877,5	50,2
Jeotermal Enerji Santrali	4355	4355	0
Biyokütle Enerji Santrali	3750	3750	0
Kömür Yakıtlı Termik Santral	2181	2181	0
Rüzgar Enerjisi Santrali (Kara)	2445	2252	-7,89
Doğalgaz Yakıtlı Termik Santral	1284	1284	0
Rüzgar Enerjisi Santrali (Deniz)	8491	5169	-39,12
Hidroelektrik Santrali	2957	2957	0

Yukarıdaki tabloya göre güneş enerjisi santrallerinin yatırım maliyetleri artış gösterirken, nükleer santral ve rüzgar enerjisi santrallerinde ise düşüş yaşandığı gözlemlenmiştir.

5.2. İşletme-Bakım Maliyeti

Enerji santralının kurulum aşamasından sonra üretime başladığı an ile santral ömrüsüresince yapılan harcamalara işletme-bakım maliyeti denir. İşletme maliyeti; sabit işletme maliyeti ve değişken işletme maliyeti olarak ikiye ayrılır. Santral çalışanlarının maaşları ve primleri, santral için genel ve idari harcamalar, santral ekipmanları için bakım maliyetleri sabit işletme maliyeti sınıfına girer. Üretim amaçlı kullanılan yakıt, enerji, katalizörler, gazlar, yağlar, tüketilebilen malzemeler ve atık maddelerin harcamaları ise değişken işletme maliyetleridir.

Aşağıda ki tabloda \$/kW-yıl biriminden sabit işletme maliyetleri, \$/MWh biriminden değişken işletme maliyetleri gösterilmiştir. Tabloda sabit işletme maliyeti; bir yılda santralden birim güç elde edilmesi için harcanan maliyet, değişken işletme maliyeti ise bir birim enerji elde edilmesi için harcanan maliyet olarak değerlendirilmiştir. (Analysis, 2013)

Tablo 5. 4 Enerji santralleri maliyet sabit ve değişken maliyet tablosu

SANTRAL TİPİ	SABİT İŞLETME MALİYETİ (\$/kW-yıl)	DEĞİŞKEN İŞLETME MALİYETİ (\$/MWh)
Rüzgar Santrali(Deniz Üstü)	74	-
Nükleer Santral	93,28	4,60
Jeotermal Enerji Santrali	100	1,16
Biyokütle Enerji Santrali	105,63	5,26
Güneş Enerjisi Santrali	24,69	-
Kömür Yakıtlı Termik Santrali	37,8	5,42
Hidroelektrik Santrali	14,13	1,39
Rüzgar Santrali (Kara)	39,55	-
Doğalgaz Yakıtlı Termik Santrali	13,17	5,62

Yukarıda ki tablo incelendiğinde rüzgar santralleri ve güneş enerjisi santrallerinin değişken işletme maliyetlerinin olmadığı gözlemlenmektedir. Bu santrallerin yakıt giderleri olmadığı sebebiyle değişken işletme maliyetleri yoktur. Aşağıda ki tabloda ise 2019 ve 2020 yılları esas alınarak birim enerji üretim maliyetlerinde ki değişimler cent/kWh cinsinden verilmiştir. (IRENA, 2021)

Tablo 5. 5 Santrallerin birim enerji üretim maliyeti (IRENA, 2021)

SANTRAL TİPİ	BİRİM ENERJİ ÜRETİM MALİYETİ (cent/kWh)		
	2019	2020	Değişim (%)
Nükleer Santral	7,7 – 11,4	9,2 – 13,2	15,8
Güneş Enerjisi Santrali	22,8 – 21,5	17,8 – 19,5	-9,3
Jeotermal Enerji Santrali	142,2 – 147,6	157,8 – 159,2	7,85
Biyokütle Enerji Santrali	8,7 – 11,6	8,7 – 11,6	0
Kömür Yakıtlı Termik Santral	6,2 – 14,1	6,6 – 15,01	6,9
Rüzgar Enerjisi Santrali (Kara)	72,7 – 70,5	62,4 – 61,2	-13,19
Doğalgaz Yakıtlı Termik Santral	6,1 – 8,9	6,1 – 8,7	-1,3
Hidroelektrik Santral	119,5 – 118,7	114,9 – 116,7	-1,68

Tabloda üretim maliyetleri bölgesel olarak farklılık gösterebileceğinden ötürü fiyatlar belirli aralıklarla verilmiştir. Yıllar arası değişime bakıldığında birim maliyeti en çok artan %15,8 ile nükleer santraldir. Nükleer santralini; 7,85 ile jeotermal santrali ve %6,9 ile kömür yakıtlı termik santral takip etmektedir. Tüm bu tablolar ele alındığında;

- Enerji santrallerinin ilk yatırım maliyetleri değerlendirildiğinde; ilk yatırım maliyetleri yüksek olan santrallerin sırası ile rüzgar santralleri (deniz üstü), nükleer santral ve jeotermal santraller olduğu tespit edilmiştir. İlk yatırım maliyeti düşük olan santraller ise sırası ile; doğalgazlı termik santraller ve hidroelektrik santraller olmuştur.
- Enerji santrallerinin sabit işletme maliyetleri göz önüne alındığında; sabit işletme maliyeti yüksek olan santraller sırası ile; biyokütle santrali, jeotermal enerji santrali ve nükleer santraller olmuştur. Düşük olanlar ise sırasıyla; doğalgazlı termik santraller, hidroelektrik santraller ve güneş santralleridir.
- Enerji santrallerinin değişken işletme maliyetleri göz önüne alındığında; değişken işletme maliyeti yüksek olan santraller sırası ile; biyokütle enerji santrali ve kömür yakıtlı termik santrallerdir. Düşük olanlar ise; nükleer santral ve doğalgaz yakıtlı termik santrallerdir.
- Enerji santrallerini birim enerji üretim maliyetleri açısından değerlendirirsek; birim enerji üretim maliyeti en yüksek olan jeotermal santrallerdir.
- Tabloda ki enerji santrallerinin birim enerji üretim maliyetlerinde ki yüzdesel değişimi göz önüne alındığında %15,8 ile nükleer santraller birinci, %7,85 ile jeotermal santralleri ikinci, %6,9 ile karada ki rüzgar santralleri üçüncüdür.

SONUÇ

Elektrik enerjisi günlük yaşantımızın vazgeçilmezidir. Tüm temel ihtiyaçların kullanımında elektrik gerekmektedir. Telefon, televizyon, çamaşır makinesi, ütü, kombi gibi sayısız birçok makinelerin kullanımında elektrikten yararlanırız. Gelişen teknoloji, artan nüfus, sanayileşme gibi nedenlerden dolayı ise elektriğe olan bağımlılığımızı gün geçtikçe artmaktadır. Elektrik enerjisi üretiminde ağırlıklı olarak petrol, kömür, doğalgaz gibi fosil yakıtlar kullanılmaktaydı. Ancak fosil yakıtların rezerv potansiyelleri de gün geçtikçe azalmaktadır. Elektriğe bu kadar bağımlıyken ve kaynak rezervlerinde ki azalış göz önüne alındığında, elektrik üretiminde yeni kaynakların araştırılması öngörülmüştür. Yapılan araştırmalar sonucunda yenilenebilir enerji kaynakları olan güneş, rüzgâr, hidrolik, biyokütle, dalga, jeotermal enerjilerinden yararlanılarak elektrik üretimi sağlanabileceği anlaşılmıştır. Yenilenebilir enerjiler ile hem tesis üretim verimi arttırılmış hem de çevresel zararlar azaltılmıştır. Fosil yakıtların çevresel zararlarını sıralamak istersek;

- Hava kirliliği
- Küresel ısınma
- Asit yağmurları
- İklim değişikliği
- Oksijen azalması

gibi etkenler sayılabilir. Yenilenebilir enerji kaynakları, fosil yakıtlar ile kıyaslandığında daha maliyetli olarak gözüksede, çevresel etkileri göz önüne alındığında kullanılması gereken kaynağın yenilenebilir enerji olması gerekir. Gelişen ve yenilenen dünyada bir çok ülke de yatırımlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına aktarmaktadır. Yenilenebilir enerji kaynaklarının avantajlarını sıralamak istersek;

- Devamlılık
- Bakım maliyeti düşüklüğü
- Canlı sağlığına ve çevreye zararsızdır

gibi etkenler sayılabilir.

18.05.2005 tarihli ve 25819 sayılı Resmi Gazete’de yayımlanan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ile birlikte ülkemizde de yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik üretiminde kullanılabilmesi amaçlanmış ve sağlanmıştır. Kanunda yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik

retiminde yaygınlaştırılması, bu tür kaynakların güvenilir, ekonomik ve yüksek verim sağlandığı vurgusu yapılmıştır.

Türkiye yenilenebilir enerji kaynakları bakımından zengin bir coğrafyaya sahip konumdadır. Ülkemizde son yıllarda enerji konusunda büyük yatırımlar yapılmaktadır. Dünya enerji sektörünün geleceğinde söz sahibi olabilmek; yenilenebilir enerji kaynaklarını çeşitlendirmek ile sağlanabilir. Enerjiye sahiplik, ülkeler arası gelişmişlik düzeyini belirler ve uluslararası bir güce sahip konuma getirir. Enerjide dışa bağımlılık hiçbir ülkenin istemediği bir politika yöntemidir. Dışa bağımlı olmamak, yenilenen dünyada söz sahibi olabilmek için yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırım kaçınılmazdır.

Ülkemizde elektrik üretimi amaçlı kurulumu yapılan santrallerinde devlet tarafından desteklenmesi gerekmektedir. Gerek kaynak arayışında, gerek kurulum aşamasında teşvikler sağlanması gerekir. Fosil yakıtlar ile elektrik üretiminden vazgeçilip, yenilenebilir enerji kaynaklarına geçilmelidir. Türkiye' de bu değişimin bir parçası olmalıdır.

KAYNAKÇA

- 10 SORUDA HİDROELEKTRİK SANTRALLER. (2013). WWF-TR. içinde World Wide Fund for Nature.
- (2021). Ağustos 2021 tarihinde Fizik Dersi: <https://fizikdersi.gen.tr/enerjinin-korunumu-yasasi-enerji-donusumleri-ornekler/> adresinden alındı
- ADÜTEM. (2015). Jeotermal Enerjinin Çevresel Etkileri. Adnan Menderes Üniversitesi Rektörlüğü Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları.
- Agarwal, S. K. (2003). Nuclear Energy: Principles, Practices and Prospects.
- Akkuyu Nükleer A.Ş. (tarih yok).
- ALTUNTAŞOĞLU, Z. T. (2003). Sürdürülebilir Kalkınma - Yenilenebilir Enerji ve Yenilenebilir Enerji Kaynakları Kanun Tasarısı Taslağı. Türkiye IV. Enerji Sempozyumu Bildirileri.
- Analysis, I. S. (2013). Updated Capital Cost Estimates for Utility Scale Electricity Generating Plants.
- ASHRAE. (1995). Refrigerating and Air Conditioning Engineers.
- Aslan, H. (1996). KÖMÜRE DAYALI TERMİK ELEKTRİK SANTRALLARINDE VERİM VE KAPASİTE KULLANIM ORANI DÜŞÜKLÜĞÜNÜN NEDENLERİ VE BUNLARIN YÜKSELTİLMELERİ İÇİN ALINMASI GEREKLİ TEDBİRLER. Ankara: TMMOB Enerji Sempozyumu .
- Aybers, N., & Şahin, B. (1995). Enerji Maliyeti. İstanbul: İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını.
- Aytaç, O. (2018). Kömür Yakıtlı Termik Santrallerin Baca Gazındaki Kirleticiler, İzin Verilen Salım Sınır Değerleri, Ülkemizdeki Santrallerdeki Baca Gazı Arıtma Tesislerinin Güncel Durumu. Mühendis ve Makina, 36-37.
- Barbier, E. (2002). Geothermal Energy Technology and Current Status: An Overview. Renewable and Sustainable Energy Reviews.
- Beş, E. (2021). Enersi Beş. <https://www.enerjibes.com/enerji> adresinden alındı

- BOTAŞ. (2021). Türkiye’de doğal gaz çıkıyor mu? Çıkarılan miktar ne kadarlık tüketimimizi karşılıyor?
- Cingi, U. (tarih yok). Hidroelektrik Santral Tesisleri ve İşletilmesi.
- CSB. (2018). Nükleer Santraller. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı.
- CSB. (2021). Termik Santraller. Çevre Şehircilik Bakanlığı ÇED Raporu.
- Çengel, Y. A. (2000). The Use of Geothermal, Wind, and Other Renewable Energy in the World and in Turkey.
- Çetin, K. (2018). Enerji Sektöründe Talep Tahminleri ve Türkiye Genel Enerji Değerlerinin İrdelenmesi.
- Çimendağ, A. (2021). Gazeete Duvar. Gazeete Duvar: <https://www.gazeteduvar.com.tr/denizlide-jeotermal-enerji-santralinin-borusu-patladi-sirket-dogal-afet-dedi-haber-1513868> adresinden alındı
- Çokan, M. (2004). (Dalga Enerjisi) Dalga Elektrik Santralleri. İstanbul: V.Ulusal Temiz Enerji Semp.
- Dağıstan, H. (2013). Türkiye’de Jeotermal Kaynak Aramaları, Kullanımı ve Sürdürülebilirliğinin Sağlanması.
- DiPippo, R. (2012). Geothermal Power Plants:Power Plants:Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact.
- Durmuş, T. (2006). SALAVATLI JEOTERMAL SANTRALİNİN EKSERJİ ANALİZİ.
- Dündar, C., & Arıkan, Y. (2003). Enerji, Çevre ve Sürdürülebilirlik. Ankara: TMMOB Türkiye VI. Enerji Sempozyumu Bildiriler Kitabı.
- EİE. (2021). Elektrik İşleri Etüt İdaresi. 2021 tarihinde EİE. adresinden alındı
- EMO. (tarih yok). Nükleer Enerji ve Yenilenebilir Gerçeklik.
- EnerjiAtlası. (2021). Greeneco Jeotermal Enerji Santrali. Enerji Atlası.
- EnerjiPortalı. (2021). Fosil Yakıtlar Nedir? Temmuz 2021 tarihinde Enerji Portalı: www.enerjiportali.com adresinden alındı

- Falcao. (2010). Wave Energy Utilization: A Review Of The Technologies.
- GAZBİR. (tarih yok). Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu.
- Gidropress. (tarih yok). VVER Reaktör Kurulumları. (49).
- H, S. (2011 Ekim). Nükleer Enerjiye Geçişte Türkiye Modeli Ek-1ı Su Soğutmalı Su Moderatörlü Reaktör Ve Evrimsel Tasarımları. İstanbul: Edam.
- H. Christopher, H. A. (1997). Geothermal Energy.
- Helmut Hirsch, A. W. (2010). CONSTRUCTION OF A NPP IN BELARUS. (REP-0291).
- History, D. W. (1999). “Danish Wind Turbine Manufacturers Association Wind Power. Danimarka.
- İ. Güney, Y. K. (2001). Türkiyenin Jeotermal Enerji Potansiyelinin Değerlendirilmesi. Kayseri: Yeni Enerji Kaynakları Sempozyumu.
- IRENA. (2021). Renewable Power Generation Costs in 2020. IRENA.
- KABAHASANOĞLU, H. (2021). DHA. <https://www.dha.com.tr/yurt/hes-kapagi-acildi-dere-de-akintiya-kapilan-4-isciden-1i-oldu/haber-1819506> adresinden alındı
- Kahraman, D. (2010). GÜNEŞ ENERJİSİ KAYNAKLI ELEKTRİK ÜRETİMİNİN TEKNİK - EKONOMİK ANALİZİ ve YÖRESEL UYGULAMASI.
- Karaca, C. (2012). GÜNEŞ VE RÜZGAR ENERJİSİNDEN ELEKTRİK ENERJİSİ ÜRETİMİSİSTEMİ TASARIMI.
- Kola Nükleer Santrali Portalı. (2021).
- Lazard. (2012). Levelized Cost of Energy Analysis, lazard version 6.0.
- Lazard. (2014). Levelized Cost of Energy Analysis, lazard version 8.0.
- Li, W. K. (2009). Advances in Power System Control, Operation and Management.
- M. Kanoğlu, Y. A. (1999). Improving the Efficiency of an Existing Binary Geothermal Power Plant: A Case Study.
- Maabir Portalı. (2020).

- MGM. (2020). Asit Yağmurları ve Etkileri. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü.
- MGM. (2021). Enerji Kaynakları ve Elektrik.
- MTA. (2021). (Maden Tetkit ve Arama Genel Müdürlüğü)
- Mustafa Özyurt, G. D. (2005). ALTERNATİF ENERJİ KAYNAKLARININ ÇEVRESEL ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ. Mersin: III. YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI SEMPOZYUMU BİLDİRİLERİ.
- Mühendisliği, B. (tarih yok). Hidroelektrik Barajı Nasıl Çalışır.
- Nükleer Akademi. (2021). 5 2021 tarihinde alındı
- Nükleer Enerji Dünyası. (2017).
- Odası, F. M. (2006). Nükleer Enerji Raporu.
- Özdamar, A. (2005). Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dalga Enerjisi. (178).
- ÖZTÜRK, H. H. (tarih yok). GÜNEŞ ENERJİSİNDEN FOTOVOLTAİK YÖNTEMLE ELEKTRİK ÜRETİMİNDE GÜÇ DÖNÜŞÜM VERİMİ VE ETKİLİ ETMENLER.
- Öztürk, K. (2006). Türkiye'nin Enerji Ekonomisi ve Petrolün Geleceği, Araştırma Raporları:49.
- Peker, Z. (2001). Wind farms on our landscapes: A new legend in our plans. İzmir: Thermal Energy Congress Proceedings.
- Perdahçı, C. (2005). Güneş Pillerinin Çatı Dizaynında Kullanılması. Mersin: III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu.
- Povarov. (2016). VVER reaktörlerinin perspektif tasarımları. (7).
- ROSATOM. (tarih yok). Rusya Devlet Nükleer Enerji Şirketi.
- S, Ö. (2014).
- S. ERDOĞAN, S. G. (2014). Türkiye'de Enerji Tüketimi Ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Yapısal Kırımlı Zaman Serisi Analizi. (32).
- S., İ. (2005). Türkiye'de ve Dünyada Enerji & Nükleer Enerji Gerçeği. (48-140).

- S.A., A. (2010). VVER-1000 reaktörlü NPP.
- Sağlam, M., & Uyar, T. S. (2005). DALGA ENERJİSİ VE TÜRKİYE’NİN DALGA ENERJİSİ TEKNİK POTANSİYELİ. III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi.
- Sedat Kadioğlu, Z. T. (1996). Enerji Kaynaklarının Kullanımı ve Çevreye Etkileri. Ankara: TMMOB 1. ENERJİ SEMPOZYUMU.
- Semenov, V. V. (1979). VVER reaktörlerinin temel fiziksel ve teknik özellikleri.
- Shah, A. (tarih yok). Dünyanın En Büyük Hidroelektrik Santralleri ve Ülkeleri Listesi - Çin Hidroelektrik İstasyonlarının İnşasında Lider.
- SolarEvi. (2021). Regülatör nedir ve ne işe yarar ? Temmuz 2021 tarihinde Solar Evi: <https://solarevi.com/> adresinden alındı
- Şenpınar, A., & Gençoğlu, M. T. (2006). Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkileri Açısından Karşılaştırılması.
- TÇSV. (2020). Türkiye Çevre Sorunları Vakfı.
- TDK. (2019). TDK. 2021 tarihinde Türk Dil Kurumu. adresinden alındı
- Thorpe, T. W. (2001). Current Status and Developments in Wave Energy.
- Timilsina, G. R. (2020). Demystifying the Costs of Electricity Generation Technologies. World Bank Group.
- Turhan, E., Çağatay, H., & Keçeci, A. (2015). Hidroelektrik Santrallerin (HES) Çevresel ve Sosyal Etkileri:Alakır Vadisi Örneği.
- ÜN, T. (2003). Dalga Enerjisi: Teknolojisi, Ekonomisi, Çevresel Etkisi ve Dünyadaki Durumu.
- Yaman, M., & Haşıl, F. (2017). ÇEVRE SORUNLARI AÇISINDAN HİDROELEKTRİK SANTRALLERİ (HES) ÜZERİNE. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi.
- Yıldız, D. (2016). Termik Santrallerin Su İhtiyacı.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Ad Soyad Batuhan ERCAN

Doğum Tarihi

Doğum Yeri

E-posta Adresi

Eğitim Bilgileri

Lisans Düzce Üniversitesi & Mühendislik Fakültesi & Makine Mühendisliği

Yüksek Lisans Sinop Üniversitesi & Fen Bilimleri Enstitüsü & Disiplinler Arası Nükleer Enerji ve Enerji Sistemleri

İş Deneyimi

Eylül 2017 - halen Turkuaz Doğalgaz Isı Sistemleri