

**TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ VE  
EKONOMİK ANALİZİ**

**Emir Cihan ALPER**



T.C.  
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE'NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ VE EKONOMİK**

**Emir Cihan ALPER**

Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ  
(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2019

## TEZ ONAYI

Emir Cihan ALPER tarafından hazırlanan “TÜRKİYE’NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ VE EKONOMİK ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Bursa Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS/DOKTORA TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

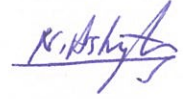
**Başkan** : Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
0000-0003-1657-2604

İmza



**Üye** : Doç. Dr. Nurullah ARSLANOĞLU  
Bursa Uludağ Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı  
0000-0003-4970-4490

İmza



**Üye** : Öğr. Üyesi Dr. K. Furkan SÖKMEN  
Bursa Teknik Üniversitesi,  
Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

İmza



Yukarıdaki sonucu onaylarım

**Prof. Dr. Hüseyin AKSEL EREN**  
Enstitü Müdürü

.././....

**U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında;**

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

**beyan ederim.**

.../.../.....

**Emir Cihan ALPER**

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRKİYE’NİN JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ VE EKONOMİK ANALİZİ

**Emir Cihan ALPER**

Bursa Uludağ Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makina Mühendisliği Anabilim Dalı

**Danışman:** Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

İnsanoğlu var olduğundan beri yaşamını devam ettirebilmek için sadece üç temel ihtiyaca gerek duymuştur; yemek, giysi ve barınak. İlk çağlardan günümüze kadar bu üç ihtiyaç değişiklik göstermemiştir. Ancak günümüzde gelişen teknolojiyle birlikte bu üç ihtiyacı temin edebilmek için gerekli olan tek şey ENERJİ’dir. Enerji yaşantılarımızda o kadar vazgeçilemez konuma gelmiştir ki; ikinci dünya savaşından sonra çıkan tüm savaşların temel sebebinin enerji olduğu (kesin olmamakla beraber) düşünülmektedir ve bazı bilim adamları enerji ihtiyacını karşılayamadığımız takdirde gelecekte çıkabilecek savaşların temel sebebinin enerji olacağını belirtmektedir.

Yakın geçmişe kadar tüm dünya fosil yakıtları kullanarak her türlü enerji ihtiyacını giderilmekteydi ve gelecek için planlarını fosil yakıtlar üzerine planlamaktaydı. Ancak bilim adamlarının yapmış olduğu çalışmalar fosil yakıtların hem sınırlı olduğunu tespit etmiş hem de aşırı kullanımının çevreye ciddi zararlar verdiğini ispatlamıştır. Bu çalışmalar neticesinde ülkeler fosil yakıtlarından farklı enerji çeşitlerini bulmak için çalışmalarına başlamış ve alternatifleri ilk olarak nükleer enerjide bulmuşlardır. Yine nükleer enerjinin verebileceği zararlar neticesinde zararsız ve uzun ömürlü enerji kaynağı arayışına devam etmişlerdir. Bugün “yenilenebilir enerji” olarak adlandırdığımız enerji kaynakları bu arayışın cevabı olmuştur.

Yenilenebilir enerji kaynaklarını; hidroelektrik, güneş, rüzgâr, jeotermal başta olmak üzere kaynağına göre sınıflandırabiliriz. Yenilenebilir enerji kaynaklarından dünyada en çok hidroelektrik enerji kullanılmaktadır. Jeolojik konuma göre ülkeler diğer enerji kaynaklarından çeşitli şekilde faydalanmaktadırlar.

Türkiye bulunduğu jeolojik konum dolayısıyla tektonik bölgede yer almaktadır ve dünya üzerinde jeotermal enerjiden faydalanabilecek kadar büyük potansiyele sahip sayılı ülkeler arasında bulunmaktadır. Bu büyük potansiyele rağmen günümüzde Türkiye sadece kendi enerjisinin %2’sini Jeotermal Enerjiden temin etmektedir.

Bu tez çalışmasında jeotermal enerjinin Türkiye’deki potansiyeli ve ekonomik analizi yapılmıştır. Ekonomik analizi için örnek bir santral tasarımı hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal Enerji, Jeotermal, Yenilenebilir Enerji, Enerji Ekonomisi  
**2019, xiii + 112 sayfa.**

## **ABSTRACT**

MSc Thesis

### **GEOTHERMAL ENERGY POTENTIAL OF TURKEY AND ECONOMICAL ANALYSIS**

**Emir Cihan ALPER**

Bursa Uludağ University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Mechanical Engineering

**Supervisor:** Assoc. Prof. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ

Since human beings, only three basic needs have been needed to survive; food, clothes and shelter. These three needs have not changed since the early ages. However, with the developing technology nowadays, the only thing necessary to meet these three needs is ENERGY. Energy has become so indispensable in our lives; It is thought that the main reason of all wars that came after the second world war was (although not certain) energy, and some scientists say that if we cannot meet the energy need, the main reason for future wars will be energy.

Until recently, the whole world was using fossil fuels to meet all kinds of energy needs and plans for the future on fossil fuels. However, scientists' studies have shown that fossil fuels are both limited and that excessive use causes serious harm to the environment. As a result of these studies, countries have started to work to find different types of energy rather than fossil fuels and found the alternative first in nuclear energy. They continued their search for a harmless and long lasting energy source as a result of the damages that nuclear energy could cause. Energy sources, which we call “renewable energy” today, have been the answer to this quest.

Renewable energy sources; hydroelectric, solar, wind, geothermal resources. Among the renewable energy sources, hydroelectric energy is used most in the world. According to geological location, countries benefit from other energy sources in various ways.

Hence geological location where Turkey is located on tectonic zone and is among the major countries with great potential enough to take advantage of geothermal energy in the world. Despite this great potential in Turkey is currently only 2% of their energy is supplied by geothermal energy.

In this study; geothermal energy potential in Turkey and economic analysis was conducted. A sample plant design was calculated for economic analysis.

**Key words:** Geothermal Energy, Geothermal, Renewable Energy, Energy Economics  
**2019, xiii + 112 pages.**

## ÖNSÖZ VE/VEYA TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında özellikle uygulama alanındaki yardımlarını, desteğini ve bilgisini esirgemeyen ve beni yönlendiren danışmanım Doç. Dr. Nurettin YAMANKARADENİZ'e, bana yol gösteren ve kaynak sağlayan Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ'e bana desteğini ve sabrını esirgemeyen babam Prof. Dr. Yusuf ALPER'e ve desteğini benden hiç eksik etmeyen eşim Bahar ALPER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Emir Cihan ALPER

.../.../.....

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	v
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
1. GİRİŞ.....	1
2. ENERJİ KAYNAKLARI.....	3
2.1. Dünyanın Gidişatı.....	3
2.2. Enerji Kaynakları.....	7
2.2.1. Kömür.....	8
2.2.2. Petrol.....	12
2.2.3. Doğal Gaz.....	14
2.2.4. Uranyum ve Nükleer.....	15
2.2.5. Hidrolik.....	18
2.2.6. Biokütle.....	21
2.2.7. Atıktan Enerji.....	22
2.2.8. Güneş (Solar).....	24
2.2.9. Jeotermal.....	26
2.2.10. Rüzgar.....	28
2.2.11. Dalga (Marine).....	31
2.2.12. Karbon Yakalama ve Depolama (CSS).....	32
2.2.13. E-Depolama.....	33
2.3. GENEL ENERJİ DURUMU.....	35
3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE.....	38
3.1. Jeotermal Enerji.....	38
3.1.1. Jeotermal Tanımı.....	38
3.1.2. Jeotermal Enerjinin Tanımı.....	39
3.1.3. Jeotermal Enerjinin Sınıflandırılması.....	41
3.2. Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları.....	44
3.3. Jeotermal Enerjinin Doğrudan (Direkt) Kullanımı.....	47
3.4. Jeotermal Enerji Santralleri.....	48
3.4.1. Kuru Buhar Enerji Santralleri.....	49
3.4.2. Flaşlı (Tek/Çift) Buhar Enerji Santralleri.....	50
3.4.2.1. Tek Flaşlı Buhar Enerji Santralleri.....	50
3.4.2.2. Çift Flaşlı Buhar Enerji Santralleri.....	51
3.4.3. Binary Enerji Santralleri.....	51
3.4.3.1. ORC (Organik Rankine Çevrimi).....	52
3.4.3.2. Kalina Çevrimi.....	53
3.4.4. Diğerleri: Birleştirilmiş (Kombine Edilmiş) ve Hibrit Enerji Santralleri.....	52
3.5. Jeotermal Santrallerin Termodinamik Formülleri.....	54
3.5.1. Organik Rankine Çevriminin Termodinamik Analizi.....	55
3.5.2. Organik Rankine Çevriminin Ekserji Analizi.....	58
4. JEOTERMAL ENERJİNİN POTANSİYELİ.....	61



4.1. Jeotermal Enerjinin Kısa Tarihçesi .....	61
4.2. Dünyada Jeotermal Enerji Potansiyeli .....	62
4.2.1. Genel Durum .....	63
4.2.2. Jeotermal Enerji Piyasası .....	68
4.3. Türkiye’de Jeotermal Enerji Potansiyeli .....	72
4.3.1. Türkiye’deki Jeotermal Enerji Santralleri .....	76
5. EKONOMİK ANALİZ .....	79
5.1. Enerji Ekonomisi .....	79
5.1.1. Enerji Ekonomisi Tanımı .....	79
5.1.2. Enerji Piyasaları .....	81
5.1.3. Enerji Talebi Analizi ve Yönetimi .....	81
5.1.4. Enerji Arzı Ekonomisi.....	81
5.1.5. Enerji Yatırımları ve Maliyetleri .....	82
5.2. Türkiye’de Enerji Ekonomisi ve Büyüme .....	82
5.2.1. Planlı Kalkınmaya Geçiş .....	82
5.2.2. Kalkınma Planlarında Türkiye’nin Enerji Politikası .....	83
5.3. Jeotermal Enerjinin Ekonomik Analizi .....	94
5.3.1. Jeotermal Enerji Piyasası .....	95
5.3.2. Jeotermal Enerji Yatırımları ve Maliyetleri .....	95
5.3.3. Örnek ORC Santrali Maliyet Hesabı .....	99
6. SONUÇ .....	106
KAYNAKLAR .....	108
ÖZGEÇMİŞ .....	112

## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Kısaltmalar Açıklama

ABD	Amerika Birleşik Devletleri
TDK	Türk Dil Kurumu
IRENA	Uluslararası Yenilenebilir Enerji Ajansı (International Renewable Energy Agency)
WEC	Dünya Enerji Konseyi (World Energy Council)
TMMOB	Türkiye Makine Mühendisleri Odalar Birliği
UEA	Uluslararası Enerji Ajansı (International Energy Agency – IEA)
DSİ	Devlet Su İşletmeleri
HES	Hidro Elektrik Santral
Tkm	Trilyon kübik metre

### Simgeler Açıklama

$C_p$	Özgül Isı (kJ/kg K)
$h$	Özgül Entalpi (kJ/kg)
$\dot{m}$	Soğutucu Akışkan Debisi (lt/s)
$\dot{Q}$	Isı Transfer Miktarı (kW)
$P$	Basınç (kPa)
$T$	Sıcaklık (°C)
$v$	Özgül Hacim (m <sup>3</sup> /kg)
$\dot{W}$	İş (kW)
$\eta$	verim

### Alt İndisler Açıklama

buh	Buharlaştırıcı
ç	Çıkış
g	Giriş
izen	İzentropik
P	Pompa
T	Türbin
yoğ	Yoğuşturucu

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Son 15 Yıl İçinde Dünyada Öncelikli Tercih Edilen Enerji Kaynaklarının Karşılaştırması.....	4
Şekil 2.2. Toplam Enerji Tüketiminin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Oranı, 2017 ..	4
Şekil 2.3. Dünya Birincil Enerji Arzının Tahmini Gelişimi, UEA Projeksiyonu, Mevcut Politikalar Senaryosu .....	5
Şekil 2.4. Türkiye Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Dağılımı, 2016 .....	6
Şekil 2.5. Ülkelere Göre 2016 Yılı Kömür Üretimleri (milyon ton) .....	9
Şekil 2.6. Kömür Bazlı Güç Üretimi (TWH) 2014 Yılı Ülke Sıralaması.....	10
Şekil 2.7. Türkiye Taşkömürü Üretimleri .....	11
Şekil 2.8. Türkiye Linyit Üretimleri .....	11
Şekil 2.9. Kullanım Yerlerine Göre Ülkemiz Taşkömürü Tüketimi.....	12
Şekil 2.10. Türkiye Kömür İthalatı .....	12
Şekil 2.11. Petrol İçin Pazar Tüketim Eğilimi .....	13
Şekil 2.12. Türkiye Kömür İthalatı .....	14
Şekil 2.13. Yeni Tedarik Haritası (Teknik Olarak Çıkarılabilir Rezerv).....	15
Şekil 2.14. Dünya Nükleer Elektrik Üretimi, TWH.....	17
Şekil 2.15. Hidro Enerjinin Düşük Karbon Geleceğine Katkısı .....	19
Şekil 2.16. Hidrolik Güç Küresel Kapasite İçinde Dünyadaki En İyi 10 Ülke ve Diğerleri, 2018 .....	20
Şekil 2.17. Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Toplam Birincil Enerji Kaynakları İçindeki Payları .....	22
Şekil 2.18. Gayri Safi Milli Gelire Göre Kapasite (Kg/Gün) Başı Atık Üretimi.....	22
Şekil 2.19. 2012 Yılında Tekniğine Göre Atık Miktarlarının Bertarafı.....	23
Şekil 2.20. 2014 Yılında En İyi Solar PV Kapasiteleri ve 2015 Eklentileri.....	24
Şekil 2.21. 2014 Yılındaki Solar PV ve CSP İçin Ortalama Sınıflandırılmış Elektrik Ücretleri.....	25
Şekil 2.22. Küresel Güneş PV Kapasite Eklentileri İçinde İlk 10 Ülke ve Diğerleri, 2018 .....	26
Şekil 2.23. Ülkeler Bazında Gelişmekte Olan Kapasite (MW) .....	27
Şekil 2.24. 2014 Yılında Jeotermal İçin Bölgelere Göre Ortalama Sınıflandırılmış Elektrik Ücretleri.....	28
Şekil 2.25. 2015 Yılında Doğudan Jeotermal Isı Kullanan Ülkeler (En İyileri).....	28
Şekil 2.26. Yıllık Net Küresel Rüzgâr Kapasitesi.....	29
Şekil 2.27. En İyi 10 Rüzgâr Türbini Üreticileri, 2018.....	30
Şekil 2.28. Türkiye Rüzgar Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA).....	30
Şekil 2.29. Türkiye Rüzgâr Santralleri Kurulu Gücünün ve Üretim Yıllara Göre Gelişimi .....	31
Şekil 2.30. Ulusal Değerlendirmeye Göre Bölgesel Depolama Kaynakları .....	33
Şekil 2.31. 2015 – 2030 Çalışma Periyodunda Seviyelendirilmiş Depolama Ücretleri ..	34
Şekil 2.32. Enerji Türüne Göre (Yenilenebilir / Fosil Yakıt / Nükleer) Yeni Güç (Enerji) Kapasitelerine Yapılan Tahmini Küresel Yatırımlar, 2018 .....	35
Şekil 2.33. Yenilenebilir Enerji Sektörlerindeki İstihdam, 2018.....	36
Şekil 2.34. 2018’de Yıllık Yatırım / Net Kapasite İlavesi / Üretime Göre Yenilenebilir Enerjide En İyi Ülkeler .....	37
Şekil 3.1. Dünyanın Katmanları (Tabakaları) .....	39
Şekil 3.2. Yerküre Dinamiği .....	40

Şekil 3.3. Dünyanın Ana Litosfer Tabakaları Ve Bazı Aktif Volkanlar (Kırmızı Üçgenler).....	41
Şekil 3.4. Konvektif (Hidrotermal) ve Kondaktif (İletken) Sistem Gösterimi .....	43
Şekil 3.5. Entegre Jeotermal Değerlendirme.....	45
Şekil 3.6. İki Ana Tip Bölge Isıtma Sistemi: Üst, Açık Döngü (Tek Boru Sistemi), Alt, Kapalı Döngü (Çift Boru Sistemi) .....	47
Şekil 3.7. Jeotermal Isı Pompasının Soğutma ve Isıtma Amaçlı Kullanımı ve Çeşitli Tesisat Konfigürasyonları .....	48
Şekil 3.8. Kuru Buhar Enerji Santrali .....	49
Şekil 3.9. Flaşlı Buhar Enerji Santrali.....	50
Şekil 3.10. Tek Flaşlı Buhar Enerji Santrali Çalışma Şeması.....	51
Şekil 3.11. Çift Flaşlı Buhar Enerji Santrali Çalışma Şeması.....	51
Şekil 3.12. Binary Enerji Santrali .....	52
Şekil 3.13. Binary ORC Enerji Santrali Çalışma Şeması.....	53
Şekil 3.14. Binary Kalina Enerji Santrali Çalışma Şeması .....	53
Şekil 3.15. Birleştirilmiş (Kombine Edilmiş) ve Hibrit Enerji Santralleri Çalışma Şeması .....	54
Şekil 3.16. Örnek Binary ORC Enerji Santrali Çalışma Şeması .....	55
Şekil 4.1. İlk Jeotermal Güç Santrali, 1904, Larderello, İtalya. Jeotermal Buhardan Elektrik Enerjisi Üretme Denemesinde Kullanılan Motor, Mucit Prens Piero Ginori Conti İle Birlikte .....	62
Şekil 4.2. Jeotermal Enerji Kullanımı (Milyon ABD \$).....	64
Şekil 4.3. Bölgelere Göre Jeotermal Kapasite (Yüzde Olarak) .....	64
Şekil 4.4. Bölgelere Göre Jeotermal Kapasite .....	65
Şekil 4.5. Ülkelere Göre Jeotermal Enerjiyi Direk Kullanan Ülkeler ve Jeotermalden Güç (Elektrik) Üreten Ülkelerin Gösterimi.....	65
Şekil 4.6. Jeotermal Enerji Kapasitesi ve İlaveleri, İlk 10 Ülke ve Dünyanın Geri Kalanı, 2018.....	66
Şekil 4.7. Jeotermal Enerji Kapasitesi ve İlaveleri, İlk 10 Ülke ve Dünyanın Geri Kalanı, 2018.....	67
Şekil 4.8. Jeotermal Enerji Elektrik Üretimi, Maliyetler ve Kapasite Faktörü, 2018.....	72
Şekil 4.9. Türkiye Jeotermal Enerji Haritası .....	74
Şekil 4.10. Türkiye'deki Jeotermal Kaynakların Kullanılma Durumları.....	75
Şekil 4.11. Türkiye'deki Jeotermal Kaynak Kullanımı Dağılımı .....	76
Şekil 5.1. Jeotermal Enerjinin Dünyada ve Türkiye'de Değerlendirilmesi .....	91
Şekil 5.2. Örnek Binary ORC Enerji Santrali Çalışma Şeması .....	100

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Artış Oranları (%).....	6
Çizelge 2.2. 2014 ve 2015 Yıllarında En Çok Kömür Üretimi Gerçekleştiren Ülkeler ...	8
Çizelge 2.3. 2007 – 2016 Yılları Arasında Yerli Doğal Gaz Üretim Miktarları (Milyon m <sup>3</sup> ).....	15
Çizelge 2.4. Uranyum Üretimi Ve Kaynakları .....	16
Çizelge 2.5. En İyi Hidroelektrik Kapasiteleri, 2015 .....	18
Çizelge 2.6. Hidroelektrik Potansiyelin Proje Aşamalarına Göre Dağılımı (2016 Sonu) .....	20
Çizelge 2.7. Bölgesel Bio Yakıt Üretim Oranları .....	21
Çizelge 2.8. Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası .....	24
Çizelge 2.9. REPA'ya göre Türkiye Rüzgâr Potansiyeli .....	31
Çizelge 2.10. Dalga Enerjisinin Bölgesel Teorik Potansiyeli .....	32
Çizelge 3.1. Jeotermal Akışkanın Sıcaklıklarına Göre Kullanım Alanları .....	46
Çizelge 4.1. Küresel Jeotermal Güç Kapasitesi ve Eklentileri, En iyi 10 Ülke, 2018 ...	68
Çizelge 4.2. En Büyük Jeotermal Saha/Tesis Üreticileri .....	70
Çizelge 4.3. Jeotermal Kurulan Kapasite ve/veya Üretim İçin Özel Hedefler .....	71
Çizelge 4.4. Türkiye'de Üretim Lisansı Alan Jeotermal Enerji Santralleri .....	77
Çizelge 4.5. Türkiye'de Ön Lisans Alan Jeotermal Enerji Santralleri.....	77
Çizelge 4.6. Türkiye'de Devrede Olan Jeotermal Santraller .....	78
Çizelge 5.1. Planlı Kalkınma Döneminde Birinci Enerji Tüketiminin Enerji Maliyeti Kaynaklarına Göre Dağılımı (Yüzde).....	85
Çizelge 5.2. Birincil Enerji Kullanımında Dördüncü Plan Gerçekleşmeleri ve Beşinci Plan Hedefleri.....	88
Çizelge 5.3. Türkiye'nin Enerjide Kurulu Gücünün Yıllar İtibarıyla Gelişimi (MW) ...	90
Çizelge 5.4. Plan Döneminde Ödemeler Dengesi Gelişmeler ve Enerji İthalatı .....	92
Çizelge 5.5. Plan Dönemi Sonunda Jeotermal Hedefleri ve Yatırım İhtiyacı .....	93
Çizelge 5.6. On Birinci Plan Dönemi Enerji Sektörü Hedefleri .....	94
Çizelge 5.7. Enerji Santrallerinin İşletme-Bakım ve Yakıt Maliyeti .....	96
Çizelge 5.8. Enerji Santrallerinin Kapasite Faktörü, İlk Yatırım Ve Birim Enerji Üretim Maliyeti .....	96
Çizelge 5.9. Jeotermal Enerji Üretim Santrali Yatırım Maliyeti Kalemleri .....	97
Çizelge 5.10. Jeotermal Proje Gelişim Aşamaları .....	98
Çizelge 5.11. Santral Maliyet Hesabı için Kabul Edilen Parametreler .....	99
Çizelge 5.12. Örnek Çalışmadan Elde Edilen Veriler.....	103
Çizelge 5.13. Çevrim Elemanlarının Satınalma Maliyet Denklemleri .....	103
Çizelge 5.14. Farklı Durumlar için Ortalama U Değerleri.....	104

## 1. GİRİŞ

Gün geçtikçe artan dünya nüfusu ve gelişen teknoloji ile hayatın idame ettirilebilmesi için enerji insanlığın temel ihtiyacı haline gelmiştir. Bu anlamda dünyada ve Türkiye'de enerjiye duyulan ihtiyaç her geçen gün artmaktadır.

Dünya özellikle teknolojik bakımından üretimle ilgili "miktar problemini" çözmüş, ancak üretimi gerçekleştirmek için ihtiyaç duyulan enerji problemi darboğazına girmiştir. Artık dünyanın temel problemi ve çatışma alanı enerji üzerinden yürütülmektedir. Fosil yakıtların yakın gelecekte tükenecek olması ve çevreye verdikleri zararlar yüzünden alternatif ve yenilenebilir enerji kaynaklarının aktif kullanılması için tüm dünyada: yeni bir enerji kaynağı bulmaktan; var olan enerji kaynağını verimli kullanmaya, meteor madenciliğinden; yaşamı sürdürebilecek yeni bir gezegen bulmaya, yüzlerce araştırma yapılmaktadır.

Söz konusu var olan enerji türlerinin daha verimli kullanılmak istenmesi bu araştırmaların başında gelmektedir. Güneş, rüzgâr, dalga vb. alternatif enerji türleri üzerinde araştırmalar yapılmaktadır. Bu alternatif enerji türlerinden biri de Jeotermal enerjidir. Jeotermal enerji çevre dostu, sürdürülebilir, tükenmez, ekonomik ve en önemlisi yenilenebilir bir enerji kaynağıdır. Kısaca jeotermal enerjinin tanımı; yer kabuğunun derinliklerinde ısının oluşturduğu birikmiş sıcak su, buhar ve gazların oluşturduğu enerjinin doğrudan ve dolaylı olarak kullanılmasıdır. Jeotermal enerji ile elektrik üretimi başta olmak üzere ısıtma, endüstriyel kullanım, termal turizm, kimyasal madde üretimi ve maden/içme suyu üretimi gibi kullanım alanlarına sahiptir.

Türkiye coğrafik konumu bakımından aktif tektonik kuşak üzerinde bulunduğundan, jeotermal enerji açısından dünya ülkeleri arasında zengin bir konumdadır. Ancak bu zengin kaynaklara rağmen Türkiye'de kullanılan toplam enerjide, jeotermal enerjinin payı sadece % 2 dolaylarındadır.

Bu tezde; yenilenebilir enerji türlerinden biri olan Jeotermal enerjinin, diğer enerji kaynaklarıyla kıyaslanması ve ekonomik analizi ile etkinliğinin ölçülmesi

hedeflenmekle birlikte Türkiye'de mevcut jeotermal enerji kullanımı araştırılması ve bugüne kadar yapılan araştırmaların güncellenmesi amaçlanmaktadır. Ekonomik analiz kısmında ise Türkiye'de bulunan jeotermal kaynaklara göre örnek bir jeotermal tesis termodinamik hesapları ve maliyeti hesaplanmaktadır.

Bu araştırmanın başlamasında birkaç temel soru bulunmaktadır:

- Jeotermal enerjinin üretimi ve kullanımı, petrol ve kömür gibi fosil enerji kaynakları ile diğer yenilenemeyen enerji tiplerine göre niçin daha kolay ve ekonomiktir?
- Jeotermal enerjinin diğer alternatif enerji türlerine göre üstünlüğü/eksikliği nedir?
- Jeotermal enerjinin kullanımının yaygınlaşması Türkiye'nin enerjide dışa bağımlılığını ne ölçüde azaltır?
- Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli nedir?
- Türkiye'nin jeotermal enerji kullanımı bakımından dünyadaki yeri nerededir?
- Türkiye'de jeotermal enerji kullanımı yeterli seviyede midir?
- Türkiye'de jeotermal enerji kullanımı yeterli değilse, sebepleri nedir?

## **2. ENERJİ KAYNAKLARI**

### **2.1. DÜNYANIN GİDİŞATI**

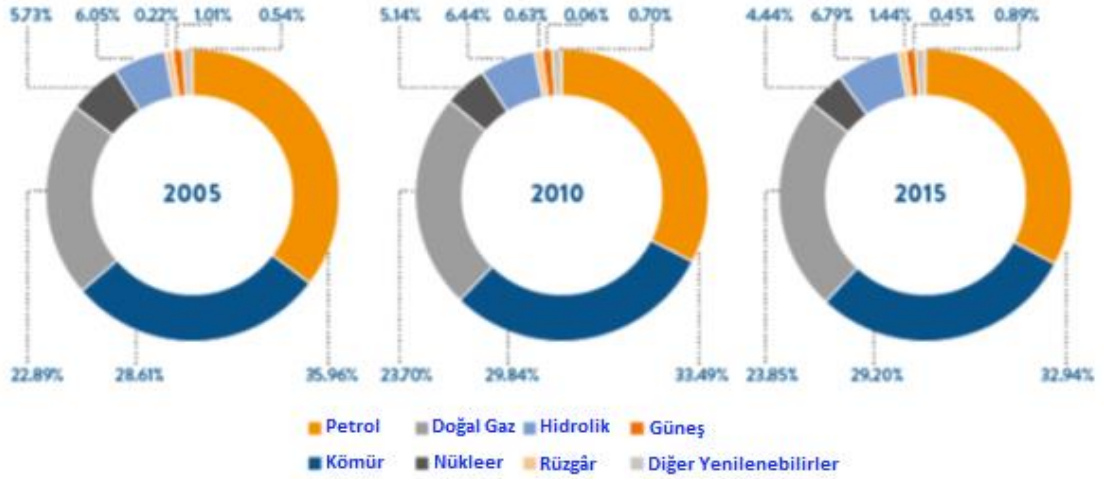
Modern çağın yaşama koşullarında insanlar hayatlarını idame ettirebilmek için birçok enerji kaynağını kullanmaktadırlar. Başta petrol, kömür ve gaz olmak üzere birçok enerji kaynağı tüm dünyada kullanılmaktadır. Yaşanılan coğrafik konuma göre insanların ürettikleri ve tükettikleri enerji kaynağı farklılık göstermektedir. Örneğin; petrolde Suudi Arabistan birinci sıradayken, Kömürde Çin, doğalgazda ise ABD birinci sıradadır.

Bu üç enerji kaynağının tüketimi tüm dünya tüketiminin neredeyse tamamını (% 80-85) kapsamaktadır. Geri kalan küçük kısmında Nükleer, Güneş, Rüzgâr, Jeotermal vb. enerji kaynakları tüketilmektedir. Nükleer enerji haricinde geri kalan enerji kaynaklarının neredeyse hepsi yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

Her ne kadar yüzde olarak petrol, kömür ve doğalgaz tüketimi diğerlerinden kat ve kat fazla tüketilse bile, son 15 yılda enerji kaynaklarının tercihinde beklenmedik değişimler olmuştur. Gelişmekte olan ülkelerin birçoğu yatırımlarını ve planlamalarını yenilenebilir enerji kaynakları üzerine yapmaktadır. Bu sebeple kömür, petrol, doğalgaz gibi gelenekselmiş enerji türleri haricinde geleneksel olmayan kaynakların büyümesi ve tüm enerji kaynakları için teknolojik gelişmeler gözlenmiştir.

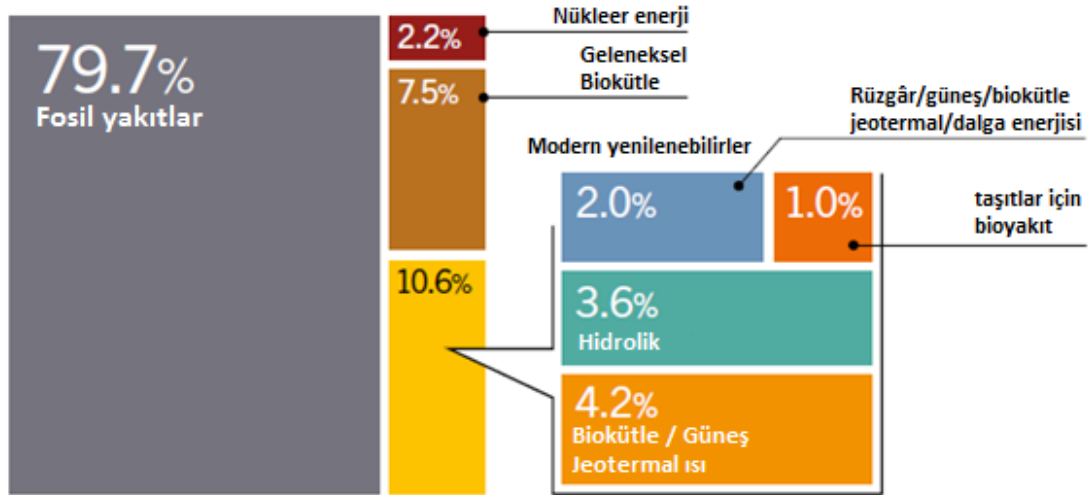
Dünya enerji konseyinin 2016 yılında çıkarttığı “Dünya Enerji Kaynakları Raporu 2016”da başlıca enerji kaynaklarının tüketiminde son 15 yıllık süreç gözlemlenmiş ve dünya enerji tüketiminin değişimini karşılaştırmalı olarak sunmuştur (WEC, 2016).





**Şekil 2.1:** Son 15 Yıl İçinde Dünyada Öncelikli Tercih Edilen Enerji Kaynaklarının Karşılaştırması (WEC, 2016)

Şekil 2.1'deki grafiklerden de görüleceği gibi; petrol, doğal gaz ve kömür tüketiminin toplamı çok büyüktür. Bu grafiklerden görüleceği gibi nükleer enerji tüketimi %5,73'ten %4,44'lere düşmüş, rüzgâr enerjisi %0,22'den %1'44'e yükselmiş ve diğer enerji türleri kullanımı %0,54'ten %0,89'a yükselmiştir.

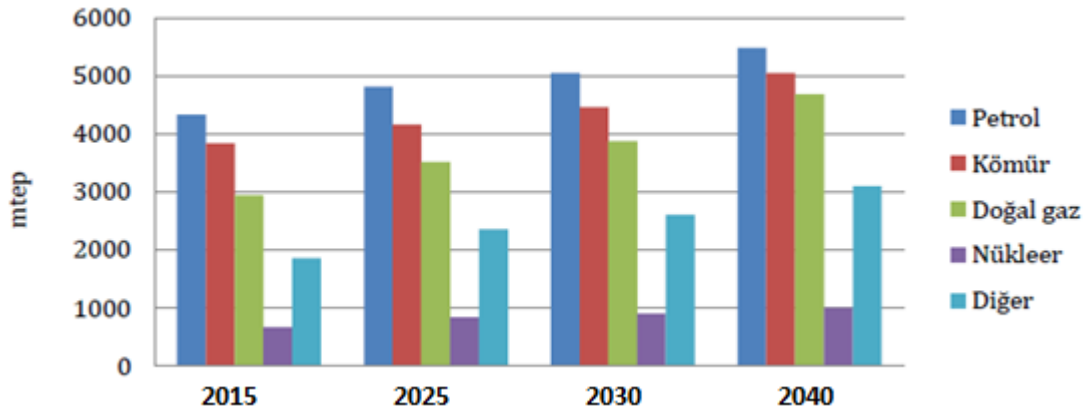


**Şekil 2.2:** Toplam Enerji Tüketiminin Yenilenebilir Enerji Kaynaklarına Oranı, 2017 (REN21, 2019)

Şekil 2.2'de görüldüğü gibi global olarak 2017 yılında ki toplam enerji üretim yerine tüketim parametrelerine bakacak olursak; %79,7'lik oranla fosil yakıtlar (kömür, doğal

gaz ve petrol) tüketimin başında gelmektedir. %2,2'lik kısımda nükleer enerji, %7,5'lik kısımda geleneksel biokütle (atıktan enerji) ve %10,6'lık kısımda ise yenilenebilir enerji kaynakları bulunmaktadır. Bu oranın %1,0'i taşıtlar için kullanılan biyoyakıtlar, %2,0'sini rüzgâr/güneş/biokütle/jeotermal/dalga enerjisinden elde edilen elektrik enerji, %3,6'sını hidro elektrik enerjisi, %4,2'lik kısmını da biokütle/güneş/jeotermal enerjiden elde edilen ısı enerjisi oluşturmaktadır.

Gelecek tahminlerine bakıldığında Uluslararası Enerji Ajansı'nın (UEA) yaptığı çalışmalara göre; gelecek ile yapılan tahminlerde enerji politikalarının çok değişmeden devam edeceği yönündedir. Yani 2015 yılı enerji talebinin 2040 yılında %42 artış göstereceği öngörülmekte ve bu enerji miktarının kaynaklara dağılımında büyük farklılıklar olmayacağı yönündedir. Bu tahminlere göre lider yine ortalama %28 ile petrol olacağı düşünülmekte iken sırasıyla %26 ile kömür, %24 ile doğal gaz ve %5 ile nükleer olacağı düşünülmektedir. Diğer enerji türleri için ise toplam %17 olacağı öngörülmektedir. Her ne kadar alternatif/yenilenebilir enerji kaynaklarına yatırımlar ve çalışmalar artsa da %22'nin üstüne çıkamayacağı öngörülmektedir. Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanım oranı her ne kadar yüzde olarak düşük kalsa da bu tahmin de şiddetli artan nüfusta öngörülmektedir. (Tamzok, 2018: 241)



**Şekil 2.3:** Dünya Birincil Enerji Arzının Tahmini Gelişimi, UEA Projeksiyonu, Mevcut Politikalar Senaryosu (Tamzok, 2018)

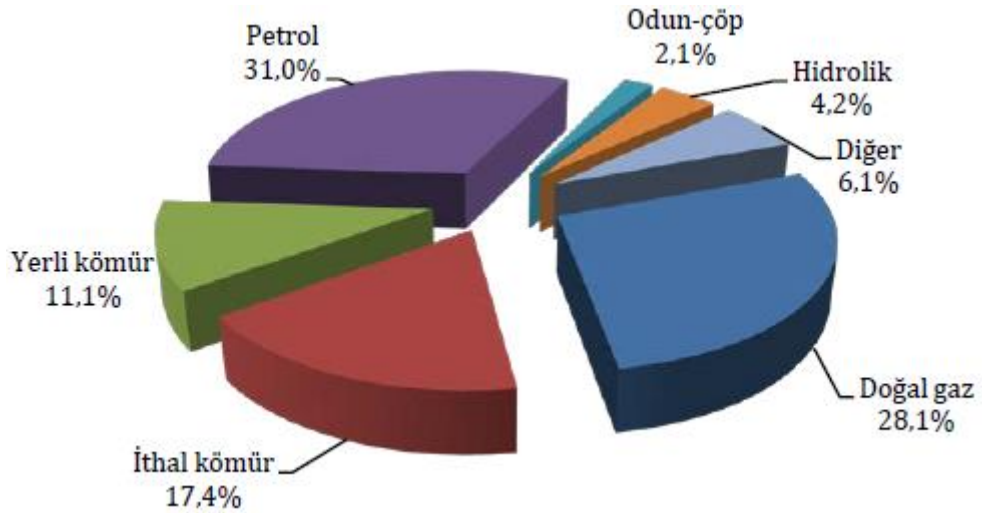
Yine UEA'nın tahminlerine göre; 2015-2040 yılları arasındaki süreçte enerji kaynaklarındaki artış oranlarının petrolde %26,6, kömürde %31,5, nükleerde %48,6,

doğalgazda %59,4 ve diğerlerinde (yenilenebilir/alternatif) ise %66,5 olacağı tahmin edilmektedir (Tamzok, 2018: 241).

**Çizelge 2.1:** Dünya Birincil Enerji Arzında Kaynakların Artış Oranları (%) (Tamzok, 2018)

Dönem	Petrol	Kömür	Doğal gaz	Nükleer	Diğer
2015-2025	11,3	8,5	19,6	25,0	26,7
2025-2030	4,8	7,2	10,4	7,3	10,4
2030-2040	8,5	13,0	20,7	10,8	19,0
2015-2040	26,6	31,5	59,4	48,6	66,5

Türkiye'nin durumuna (Şekil 2.4) kısaca bakacak olursak; Türkiye birincil enerji ihtiyacını tüm dünya ile benzer şekilde öncelikli olarak kömür, petrol ve doğal gaz gibi fosil kaynaklı enerji türlerinden elde etmektedir. 2016 yılının durumuna bakacak olursak %31,0'ı petrol, %28,1'i doğal gaz, %28,5'i kömür (%17,4 ithal - %11,1 yerli), %6,1'i yenilenebilir kaynaklar, %4,2'si hidro elektrik, %2,1'i ise bio kütle enerjisi ile gerçekleştirmiştir.



**Şekil 2.4:** Türkiye Birincil Enerji Arzının Kaynaklara Dağılımı, 2016 (Tamzok, 2018)

## 2.2. ENERJİ KAYNAKLARI

Tüm insanların hayatlarını idame ettirebilmesi için kullandıkları başlıca enerji kaynaklarını (fosil kaynak, yenilenebilir vd.) aşağıdaki gibi sıralanabilmektedir;

- 1- Kömür
- 2- Petrol
- 3- Doğal Gaz
- 4- Uranyum Ve Nükleer
- 5- Hidrolik
- 6- Biokütle
- 7- Atıktan Enerji
- 8- Güneş (Solar)
- 9- Jeotermal
- 10- Rüzgâr
- 11- Dalga (Marine)
- 12- Karbon Yakalama Ve Depolama
- 13- E-Depolama

Bu enerji kaynakları daha cinslerine bağlı olarak sınıflandırılmak istenirse;

- 1- Fosil Yakıtlar (Kömür, Petrol, Doğal Gaz)
- 2- Nükleer Enerji
- 3- Yenilenebilir Kaynaklar (Hidrolik, Biokütle, Rüzgâr, Dalga, Güneş, Jeotermal)
- 4- Geleneksel Biokütle

Şeklinde sınıflandırılabilmektedir. “Atıktan Enerji” olarak bahsedilen kaynak birçok farklı kaynaktan (geleneksel) biokütle enerjisi altında geçmektedir. Ayrıca “Karbon Yakalama ve Depolama” yeni bir alan olmaktadır ve klasiğin biraz dışındadır, “E-Depolama” ise adı üstünde olduğu gibi mevcut kaynakların (fosil / yenilenebilir) saklanarak sonra ve/veya başka alanlarda/işlerde kullanılmak üzere ifade edilmektedir.

### 2.2.1. Kömür

Dünyanın tamamı enerji üretimi için demir çelik üretimi, sıvı yakıt olarak çimento üretimi gibi çeşitli sektörler tarafından 7700 Mt kömürü tüketmektedir. Kömürün günümüzde dünyadaki tüm elektriğin %40'ını karşıladığı ve gelecek otuz yıl içinde önemli bir oran pay vermeye devam edeceği ön görülmektedir (WEC, 2016).

Aşağıdaki tabloda 2014 ve 2015 yılları arasında en çok kömür üretimi gerçekleştiren ülkeler yer almaktadır:

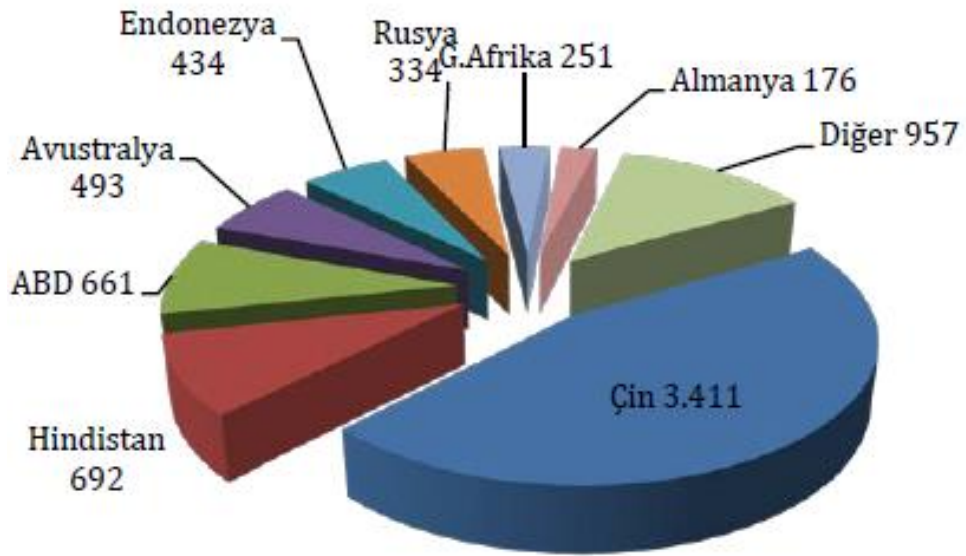
**Çizelge 2.2:** 2014 ve 2015 Yıllarında En Çok Kömür Üretimi Gerçekleştiren Ülkeler (WEC, 2016)

Ülke	2014 Toplam Üretimi (milyon ton)	2015 Toplam Üretimi (milyon ton)
Avustralya	503,3	485
Çin	4000	3747
Almanya	186,5	184
Hindistan	659,6	677
Endonezya	470,8	392
Kazakistan	115,6	106
Polonya	136,9	136
Rusya	357	373
Güney Afrika	253,2	252
ABD	906,9	813

Tabloda görüldüğü gibi 2014 yılında 4000 milyon ton ile en çok kömür üretimi gerçekleştiren ülke üretim yapan ülkeler arasında üretimin yaklaşık %53'ünü

karşulamakta olan Çin iken, 2015 yılında Çin'in üretimi 3747 milyon tona gerilese de dünya kömür üretiminde yine ilk sırada yer almaktadır. Her iki yılda da ABD en çok kömür üretimi gerçekleştiren ikinci ülke sıralamasında yer alırken Hindistan üçüncü sırada yer almaktadır.

Dünya enerji konseyinin hazırlamış olduğu UEA'nın 2017 verilerine göre 2016 yılındaki kömür üretimi göstermektedir ki; dünya pazarında oranlar büyük farklılıklar göstermemektedir. Çin lider durumda iken ABD üçüncü sıraya gerilerken ikinciliği Hindistan'a bırakmıştır.



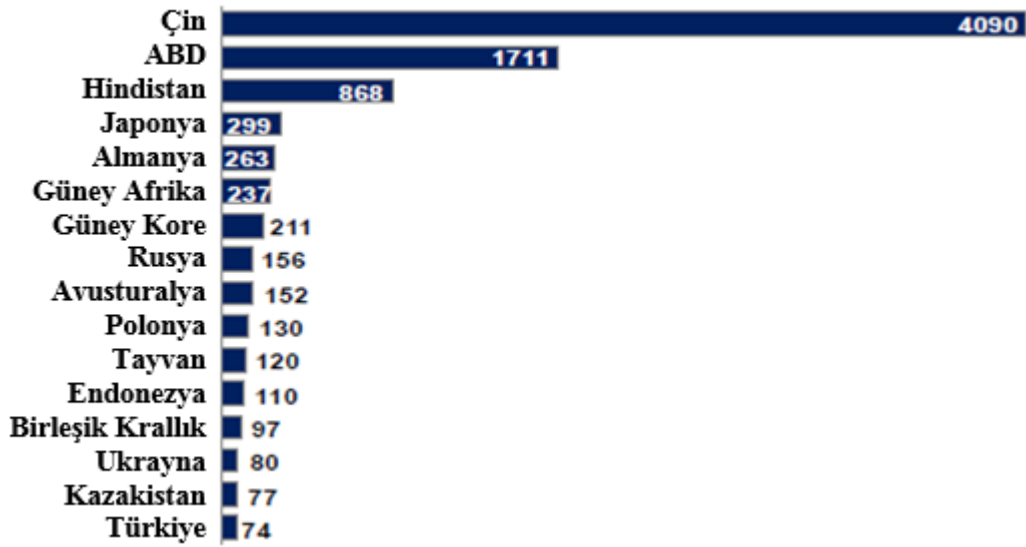
**Şekil 2.5:** Ülkelere Göre 2016 Yılı Kömür Üretimleri (milyon ton) (Tamzok, 2018)

Kömür, küresel olarak birincil enerji arzının (tüketiminin) %30'unu içine alan en önemli ikinci enerji kaynağıdır. Sert kömür ve linyit (kahverengi kömür), kömüre dayalı enerji üretiminin küresel olarak %40'ı ile lider enerji kaynağıdır (WEC, 2016).

Küresel kömür tesislerinin %75'i alt kritik (eski) teknolojiyi kullanıyor. Tüm dünyada, kömür yakıtlı enerji santrallerinin verimliliğindeki günümüzün ortalama %33'ten %40'ına çıkarılması, küresel karbondioksit emisyonlarını (salınımlarını) her yıl 1,7 milyar ton azaltabilir (WEC, 2016).

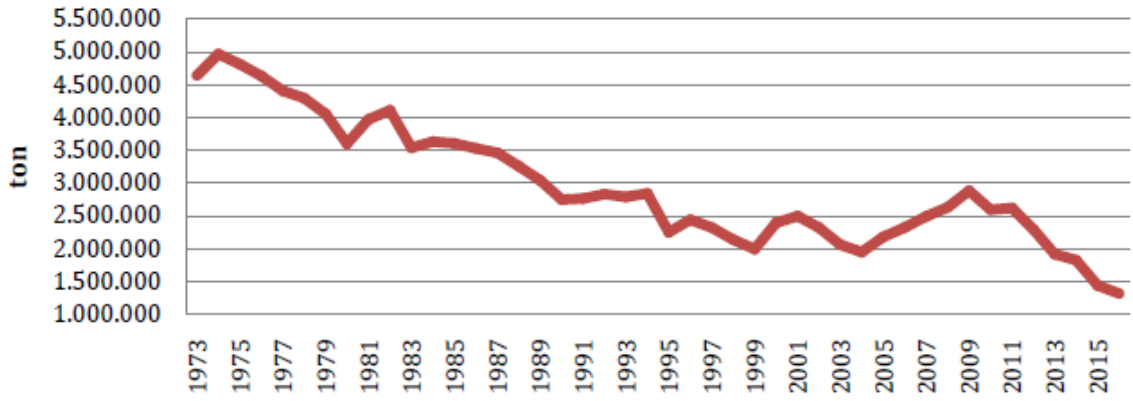
Küresel kömür tüketimi, 2000'den 2014'e kadar %64 arttı. Bu, kömürü belirtilen dönemde en hızlı büyüyen yakıt olarak sınıflandırmaktadır. 2014 ve 2015 yıllarında, sırasıyla %0,7 ve %2,8 oranında küresel termal kömür üretiminde düşüş göstermiştir bu da 1999 yılından beri gözlenen ilk düşüştür (WEC, 2016).

Çin, küresel kömür talebinin %50'sini karşılamaktayken teknolojisini temiz kömür için değiştiriyor. Hindistan'ın kömür tüketiminin artması beklenirken, ABD kömür ile çalışan enerji santrallerini ya kapatıyor ya da doğal gaz ile çalışması için dönüştürüyor (WEC, 2016).

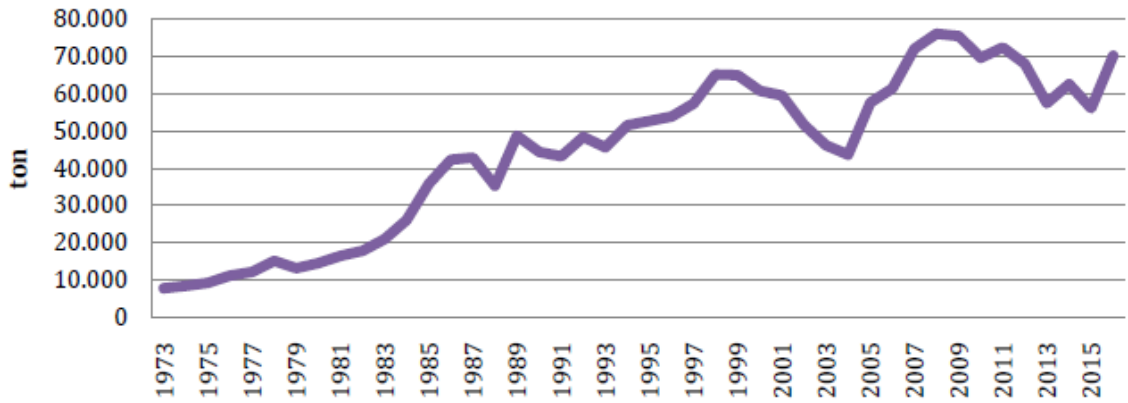


**Şekil 2.6:** Kömür Bazlı Güç Üretimi (TWH) 2014 Yılı Ülke Sıralaması (WEC, 2016)

Türkiye'nin durumuna bakıldığında ise 70'li yıllarda 5 milyon ton olan kömür (taş kömürü + linyit) üretimi 2015 yılında toplam 1,5 milyon tona kadar gerilemiştir. 2016 yılındaki toplam taş kömürü üretimi 1,3 milyon ton civarında olmuştur. Linyit kömür üretiminde ciddi artış oranları gözükse de henüz 100 milyon tonu aşamamıştır. 2016 yılındaki linyit kömürü üretimi 70,2 milyon ton civarında olmuştur.



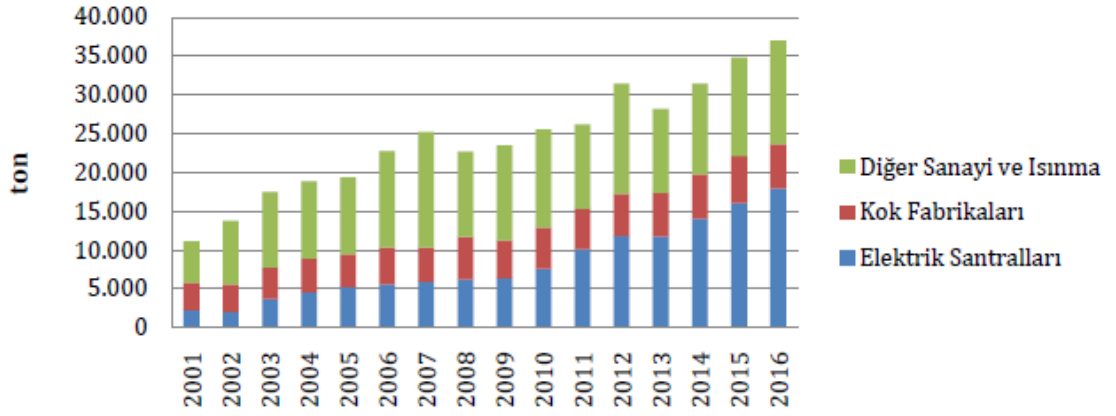
Şekil 2.7: Türkiye Taşkömürü Üretimleri (Tamzok, 2018)



Şekil 2.8: Türkiye Linyit Üretimleri (Tamzok, 2018)

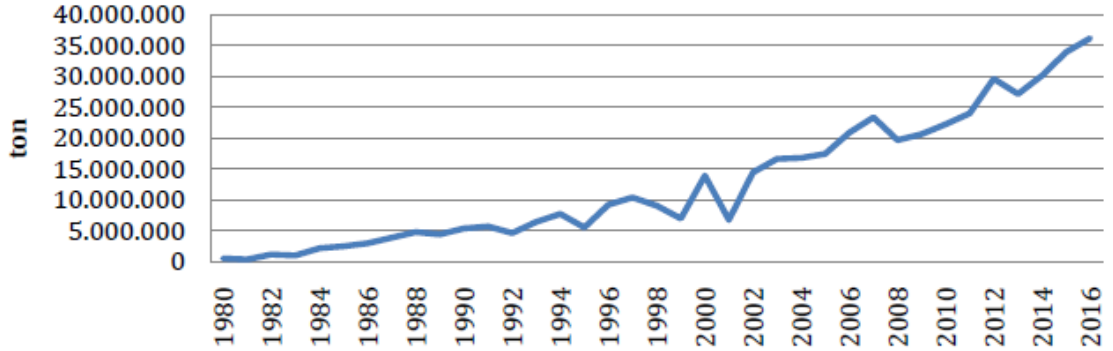
Türkiye'nin kömür üretimindeki durumu düşüş göstermekte iken kurulu enerji santrallerinin kömür artan enerji ihtiyacını sağlayabilmek için kömür ithalatı 2000'li yıllardan sonra ciddi artış göstererek 2016 yılındaki kömür ithalatı 36,2 milyon tona ulaşmıştır. Bu artışın en büyük sebebi elektrik üretimi için gerekli buhar kömürlerine olan ihtiyacın artışıdır.





**Şekil 2.9:** Kullanım Yerlerine Göre Ülkemiz Taşkömürü Tüketimi (Tamzok, 2018)

Türkiye'nin artan nüfusu, enerji ihtiyacı göz önünde bulundurulduğunda, kömür ithalatının önümüzdeki yıllarda giderek artacağı gözükmemektedir ve bu ithalat faturasının mevcut doğal gaz faturasına yakın seviyeye çıkacağı tahmin edilmektedir.



**Şekil 2.10:** Türkiye Kömür İthalatı (Tamzok, 2018)

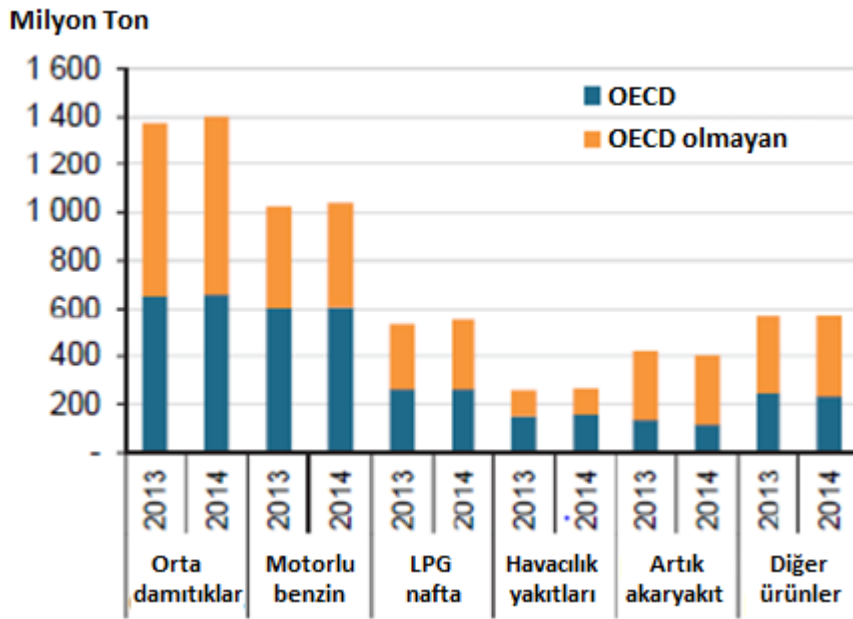
### 2.2.2. Petrol

Petrol, toplam küresel enerji tüketiminin %32,9'unu kapsayarak dünyanın en önemli enerji kaynağı olmayı sürdürmektedir. Gelişmekte olan ekonomiler, küresel enerji tüketimindeki büyümeye hâkim olmaya devam etmelerine rağmen, bu ülkelerdeki büyüme (+% 1.6) on yıllık ortalama %3.8'in oldukça altında kalmıştır (WEC, 2016).

Gelişmekte olan ekonomiler artık küresel enerji tüketiminin %58,1'ini oluşturuyor ve sıvı hidrokarbonlara olan küresel talep artmaya devam edecek. Çin'in tüketim artışı %

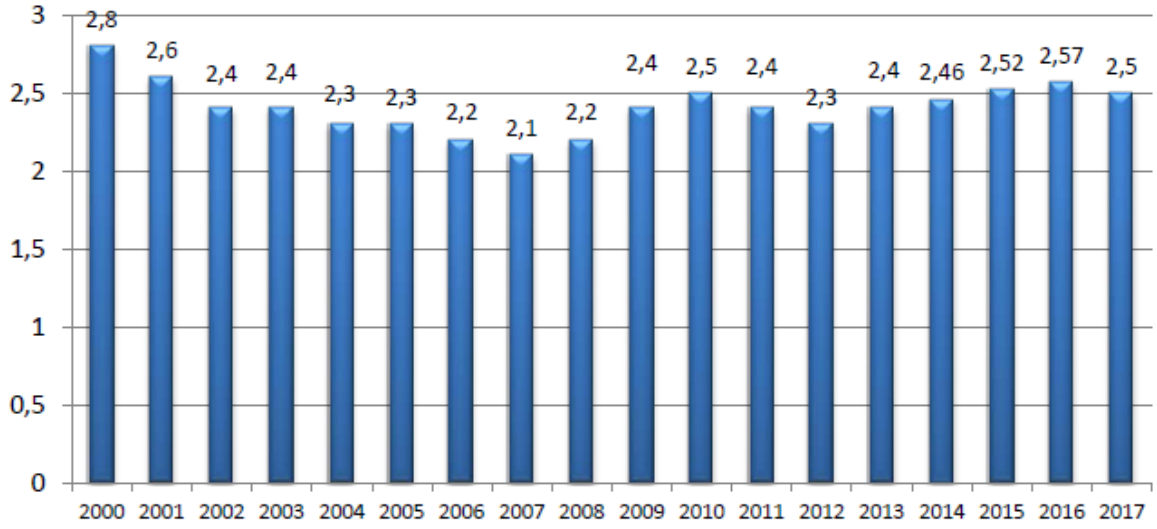
1,5'e gerilerken, Hindistan (+%5.2) tüketimde güçlü bir artış kaydetti. OECD tüketimi %0.1 oranında düşük artış (son on yılda ortalama %0.3 düşüşle karşılaştırıldığında) gösterdi. 2015 yılında, AB tüketiminde nadir bir artış (+%1.6), tüketimin 1991'den bu yana en düşük seviyeye düştüğü ABD'de (-%0.9) ve Japonya'da (-% 1.2) tüketim azaldı (WEC, 2016).

Asya'da tüketici sınıfının ve nüfusun büyümesi, petrol talebindeki artışı destekleyecek ve tüketimdeki temel artış ulaştırma sektörlerinden gelecektir. Taşımacılık (otomotiv) sektöründe ise petrol kullanımının yerine alternatiflerinin kullanımı yakın gelecekte mümkün değildir ve önümüzdeki beş yıl için bu değişimin %5'ten daha fazla olması beklenmemektedir (WEC, 2016).



**Şekil 2.11:** Petrol İçin Pazar Tüketim Eğilimi (WEC, 2016)

Türkiye'nin durumuna bakıldığında ise 90'lı yıllarda 3,5 milyon ton civarında olan ham petrol üretimi 2000'li yıllarda ortalama 2,5 milyon tona gerilemiştir. Ancak 2015 sonlarına kadar bu eğilimi bozmamış ve günümüzde ortalama 2,5 milyon tona hala ulaşmaktadır. 2016 sonu itibari ile ham petrol üretimi 2,571 milyon ton olarak elde edilmiştir.

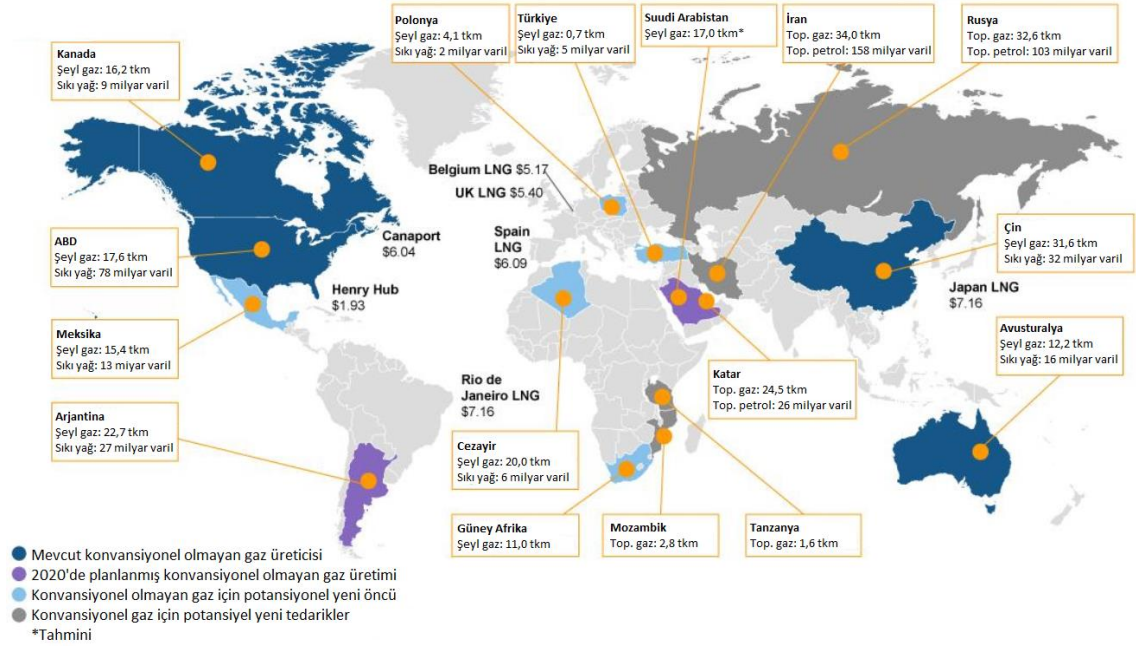


**Şekil 2.12:** Türkiye’de Ham Petrol Üretimi: 2000-2017 Dönemi (Milyon Ton) (Aydın, 2018)

### 2.2.3. Doğal Gaz

Doğal gaz, birincil enerji karışımındaki payının artması beklenen ve dünyanın daha temiz, daha uygun fiyatlı ve güvenli bir enerji geleceğine geçişinde önemli bir rol oynama potansiyeline sahip olan tek fosil yakıttır. Üç numaralı fosil yakıt olmakla beraber, elektrik üretiminde %22’lik payı temsil eden ikinci enerji kaynağıdır (WEC, 2016).

Şu anda, Asya’da talepte görülen düşüş ve Asya ve Kuzey Amerika’da artan ihracat kapasitesi, dünya genelinde bir aşırı arz yarattı. Arz piyasaya girerken, mevcut piyasadaki aşırı arzın ve düşük fiyat ortamının kısa ve orta vadede devam etmesi muhtemel görünmektedir (WEC, 2016).



**Şekil 2.13:** Yeni Tedarik Haritası (Teknik Olarak Çıkarılabilir Rezerv) (WEC, 2016)

Türkiye'nin durumuna bakıldığında ise 2010'dan sonra Doğal gaz üretiminde ciddi düşüş gözlenmektedir. 2016 yılı sonunda sadece 367 milyon metreküp yerli doğal gaz üretimi gerçekleştirilebilmiştir. Ancak WEC'e göre Türkiye'de bulunan doğal gaz potansiyeli sayesinde ilerleyen zamanlarda yerli doğal gaz üretimini artırabilme kapasitesine sahiptir.

**Çizelge 2.3:** 2007 – 2016 Yılları Arasında Yerli Doğal Gaz Üretim Miktarları (Milyon m<sup>3</sup>) (Özen, 2018)

Yıllar	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Miktar	874	969	684	682	759	632	537	479	381	367

#### 2.2.4. Uranyum ve Nükleer

Küresel olarak uranyum kaynaklarının değerlendirmesi yapıldığında, tespit edilen toplam kaynakların son on yılda yaklaşık %70 oranında arttığı gözlenmektedir. Ocak 2015 itibariyle, mevcut ihtiyaçlara göre tanımlanmış toplam uranyum kaynaklarının 100 yıldan fazla tedarik için yeterli olduğu düşünülmektedir (WEC, 2016).

Nükleer güç geliştirilmesine bugün oldukça küçük bir grup ülkeler tarafından yoğunlaşmıştır. Çin, Kore, Hindistan ve Rusya, IAEA'nın Aralık 2015'teki kayıtlarına göre yapım aşamasındaki 65 reaktörden 40 tanesini bulundurmaktadır. Nükleer gelişime daha önce önem veren ülkeler ise yeni yapılanmalara daha az önem vermektedir. Yakın zamanda 45'ten fazla küçük modüler reaktör tasarımı geliştirme aşamasında ve 4 reaktör yapım aşamasındadır (WEC, 2016).

**Çizelge 2.4:** Uranyum Üretimi Ve Kaynakları (WEC, 2016)

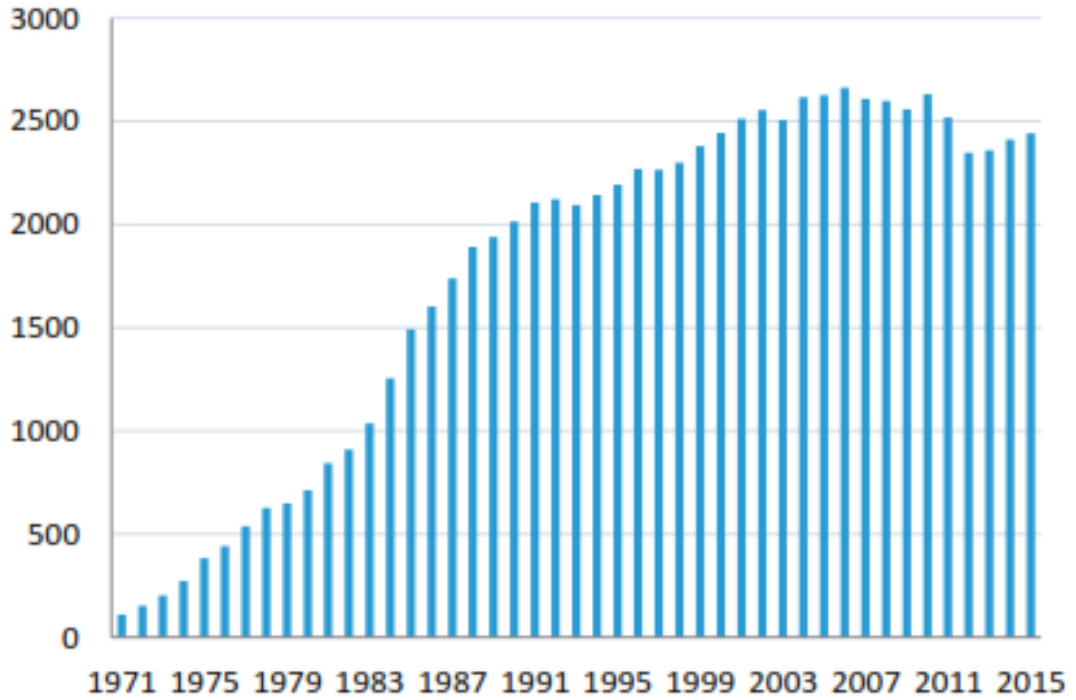
Ülkeler	2014 Üretimi tU	Uranyum Kaynakları (tU)<USD\$130/kg
Avustralya	5001	1174000
Kanada	9134	357500
Çin	1500	120000
Kazakistan	23127	285600
Nambiya	3255	248200
Nijerya	4057	325000
Rusya	2990	216500
ABD	1919	207400
Özbekistan	2400	59400
Toplan	56252	3698900

Küresel nükleer güç üretim kapasitesi 2015 yılı sonunda 390 Gw<sub>e</sub>'ye (dünya elektriğinin yaklaşık %11'ine) ulaştı. Yakıt maliyetinin toplam üretim maliyetindeki düşük payı, nükleer maddeyi birçok pazarda en düşük maliyetli temel elektrik kaynağı seçeneği haline getirmektedir. Uranyum maliyetleri, toplam üretim maliyetlerinin yalnızca% 5'ini oluşturur ve bu nedenle fabrika operatörlerini kaynak fiyatlarındaki dalgalanmaya karşı

korur. Jenerasyon IV reaktörler, yüzlerce yıl boyunca yakıt tedarikinde gelecekteki herhangi bir kısıtlamayı kaldıracığına söz veriyor (WEC, 2016).

Nükleer tuzdan arınmanın, tüm dünyada içme suyuna olan artan talebi karşılamak için akut su kıtlığıyla karşı karşıya kalan kurak ve yarı kurak bölgelerdeki alanlara umut veren uygun bir seçenek olduğu gösterilmiştir (WEC, 2016).

Nükleer enerjinin geleceğini tanımlayan kilit faktörler 20-30 yıl öncesinden farklı olmakla beraber OECD üyesi olmayan ülkelerin (özellikle Çin ve Hindistan) gelecekte pazara hükmedeceği öngörülmektedir. Sera gazları salınımlarının sınırlandırılması ve fosil yakıt kullanımından oluşan çevresel kirliliği azaltma ihtiyacının artması, nükleerin temel yükü üstlenmesine neden olacaktır (WEC, 2016).



**Şekil 2.14:** Dünya Nükleer Elektrik Üretimi, TWH (WEC, 2016)

Türkiye'nin durumuna bakıldığında ise Türkiye'de henüz aktif çalışan nükleer santral bulunmamaktadır. 1970'li yıllarda petrol krizi ile başlayan nükleer santral yarışına Türkiye ancak yarım asır sonra katılabiştir. Yapımı devam eden Akkuyu Nükleer santrali; "Türkiye Cumhuriyeti Hükümeti ile Rusya Federasyonu Arasında Akkuyu

Sahasında Bir Nükleer Güç Santralının Tesisine ve İşletimine Dair İşbirliğine İlişkin Anlaşma”nın 12 Mayıs 2010 tarihinde imzalanmasıyla gerçekleşmiştir. Ayrıca Fransız-Japon konsorsiyumu ile ikinci nükleer santral Sinop'ta inşa edilecektir.

### 2.2.5. Hidrolik

Toplam kurulu güç, 2005'ten 2015'e kadar %39 oranında artmış ve yıllık ortalama %4'lük bir büyüme gerçekleşmiştir. Bu artış, hidroelektrik enerjisinin sadece temiz enerji sağlayan değil aynı zamanda su hizmetleri, enerji güvenliği sağladığı ve bölgesel işbirliğini ve ekonomik kalkınmayı kolaylaştırdığı gelişmekte olan pazarlara da yoğunlaşmıştır (WEC, 2016).

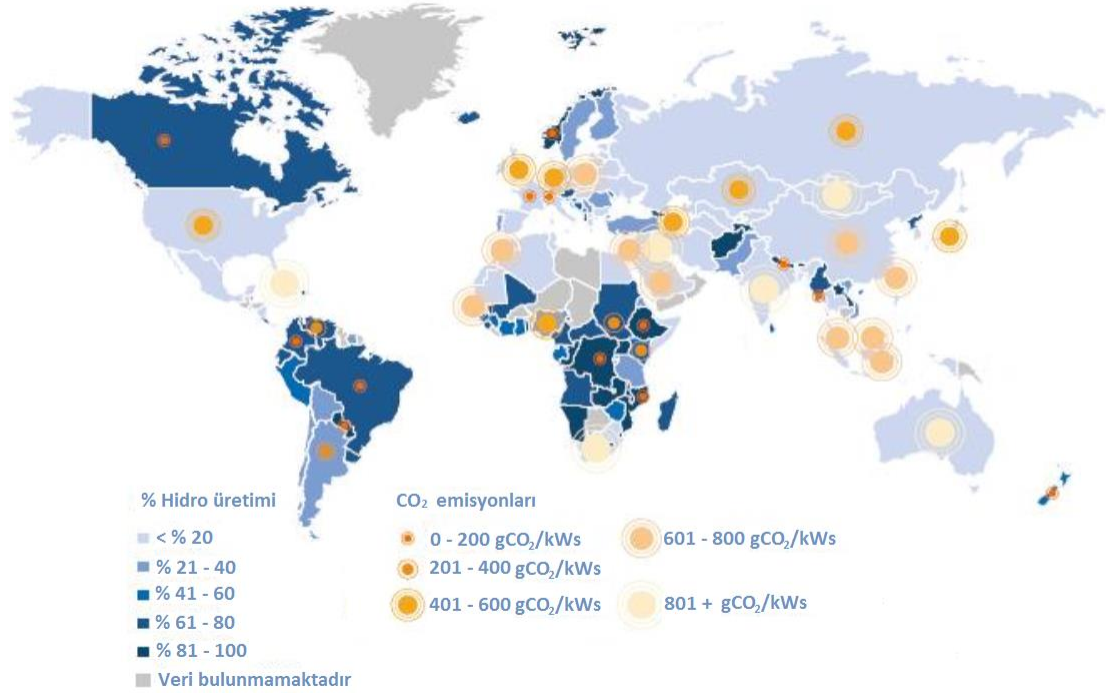
Dünyadaki elektrik depolama kapasitesinin %99'unun, pompalı depolama dâhil olmak üzere hidroelektrik formunda olduğu tahmin edilmektedir (WEC, 2016).

**Çizelge 2.5:** En İyi Hidroelektrik Kapasiteleri, 2015 (WEC, 2016)

Ülkeler	2015 Sonu Toplam Kapasite (GW)	2015'te Eklenmiş Kapasite (GW)	Üretim (Twh)
Çin	319	19	1126
ABD	102	0,1	250
Brezilya	92	2,5	382
Kanada	79	0,7	276
Hindistan	52	1,9	120
Rusya	51	0,2	160

Hidro elektrik, dünya genelinde elektrik üretimi içinde lider yenilenebilir kaynak olup, yenilenebilir elektriğin %71'ini sağlar. 2016 yılında 1064 GW kurulu kapasiteye ulaşmış, dünya elektriğinin %16,4'ünü tüm kaynaklardan üretilmiştir (WEC, 2016).

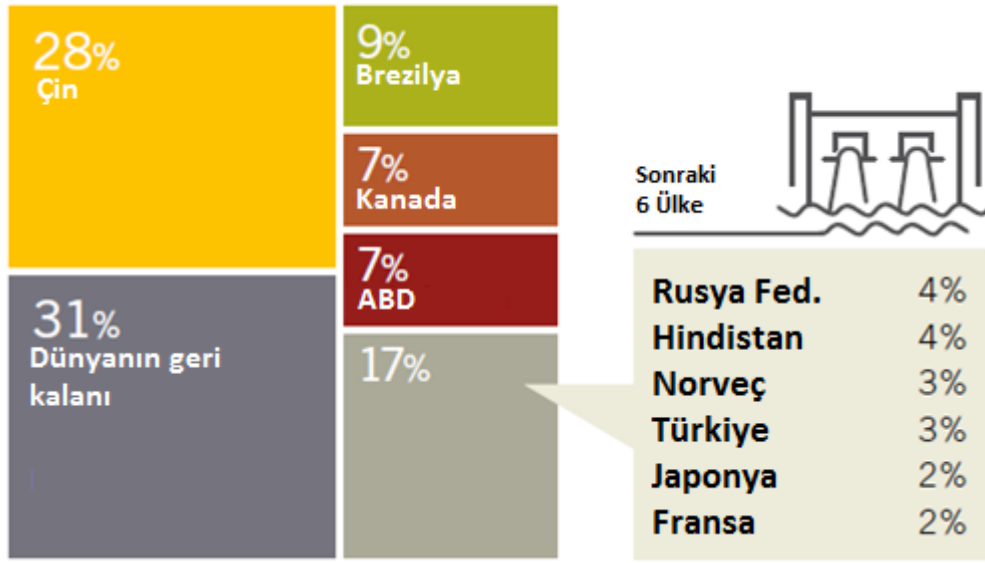
Önemli yeni gelişmeler Çin, Latin Amerika ve Afrika'da yoğunlaşmıştır. Asya, 7195 TWh/y olarak tahmin edilen en büyük atıl potansiyeline sahiptir ve gelecekteki gelişim için muhtemel bir pazar olma özelliğini taşımaktadır. Çin, ABD'nin (%8,4), Brezilya'nın (%7,6) ve Kanada'nın (%6,5) çok ötesinde, 2015 yılında küresel kurulu kapasitenin %26'sını oluşturmaktadır (WEC, 2016).



**Şekil 2.15:** Hidro Enerjinin Düşük Karbon Geleceğine Katkısı (WEC, 2016)

Ülkelerin 2018 yılındaki genel olarak hidrolik güç kapasitelerine bakacak olursak; %28 ile Çin lider konumdadır. Sonrasında sırasıyla Brezilya (%9), Kanada (%7), ABD (%7), Rusya (%4), Hindistan (%4), Norveç (%3), Türkiye (%3), Japonya (%2) ve Fransa (%2) gelmektedir. Dünyanın geri kalanı ise %31'lik kısmı oluşturmaktadır.





**Şekil 2.16:** Hidrolik Güç Küresel Kapasite İçinde Dünyadaki En İyi 10 Ülke ve Diğerleri, 2018 (REN21, 2019)

Türkiye'nin durumuna bakıldığında hidro elektrik potansiyelinin elektrik enerjisine dönüştürülmesinde 26,8 MW'lık kurulu gücün %46,2'si (12,3 MW) DSİ'nin kurmuş olduğu (ve inşası devam eden) HES'ler tarafından gerçekleştirilmektedir. Toplam geliştirilmiş potansiyel göz önüne alındığında 47,5 MW'lık kurulu gücün 1150 adeti (29,6 MW) özel sektör tarafından sağlanmakta olup, 454 adedi (12,1 MW) DSİ'de bulunmaktadır. 83 adedi (3,5 MW) inşa halinde bulunmaktadır (Yılmaz, 2018).

**Çizelge 2.6:** Hidroelektrik Potansiyelin Proje Aşamalarına Göre Dağılımı (2016 Sonu) (Yılmaz, 2018)

HES Aşaması	HES Adedi	Toplam Kurulu Kapasite (MW)	Ortalama Yıllık Üretim (GWh/yıl)	Toplamdaki Payı (%)
İşletmede	596	26 819	93 653	59
İnşa Halinde	83	5 424	16 508	10
İnş. Henüz Başlamayan	639	15 330	48 383	31
<b>Toplam</b>	<b>1 318</b>	<b>47 573</b>	<b>158 544</b>	<b>100</b>

### 2.2.6. Biokütle

Dünya Enerji Konseyi, geleneksel bio kütle (örneğin ormancılık ve tarımsal kalıntılar), modern biokütle ve biyoyakıtları dâhil etmek için biokütle enerjisini tanımlamaktadır. Organik maddenin, doğal ortamdan toplanmış veya özel bir amaç için yetiştirilmiş, enerji kaynağına dönüştürülmesini temsil etmektedir (WEC, 2016).

Gelişmiş ülkelerde, biyoenerji hidrokarbonlara yerine, özellikle bioetanol ve biodizel gibi ulaştırma yakıtları, kombine ısı ve elektrik üretiminde ve konut ısıtmasında odun kullanımına alternatif veya daha sürdürülebilir bir kaynak olarak teşvik edilmektedir. Gelişmekte olan ülkelerde ise biyoenerji, iç sanayi gelişimi ve ekonomik büyüme için fırsatları temsil edebilir (WEC, 2016).

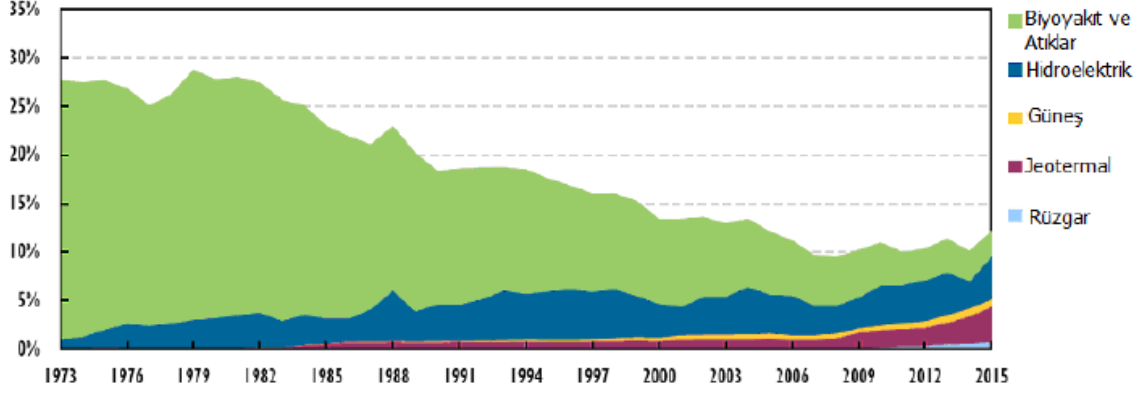
**Çizelge 2.7:** Bölgesel Bio Yakıt Üretim Oranları (WEC, 2016)

Bölge	1993	2003	2013	2014
Asya Pasifik		%3,3	%9,5	%10,5
Afrika				%1,0
Orta Doğu				
Avrupa	%1,1	%11,1	%17,1	%16,5
G. ve M. Amerika	%71,4	%49,2	%28,5	%28,7
Kuzet Amerika	%27,4	%36,4	%44,8	%44,1

Biokütle enerjisi, %18'lik yenilenebilir enerjinin içinde %14'lük pay ile en büyük yenilenebilir enerji kaynağıdır ve küresel enerji arzının %10'unu sağlayabilmektedir. Diğer enerji kaynaklarının aksine, biokütle katı, sıvı ve gaz halindeki yakıtlara dönüştürülebilir (WEC, 2016).

Türkiye'nin durumuna bakıldığında biokütle enerji 1970 yıllara göre büyük düşüş göstererek toplam birincil enerji arzının sadece %2,5'ini oluşturmaktadır. Bu düşüşün temel sebebi ise, biyoyakıtların ve atıkların aynı dönem içinde %39,3 oranında düşüş

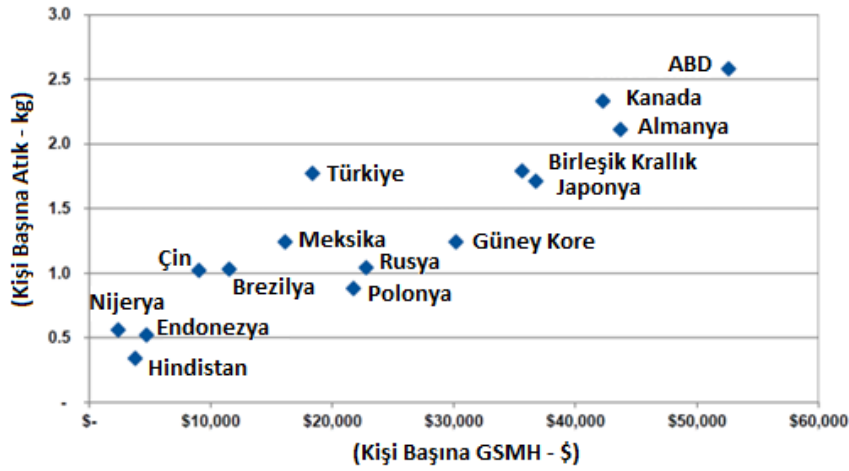
göstermesine ilave olarak kömür ve doğal gaz kullanımında ciddi bir artışın olması olarak gösterilmektedir (İlleez, 2018).



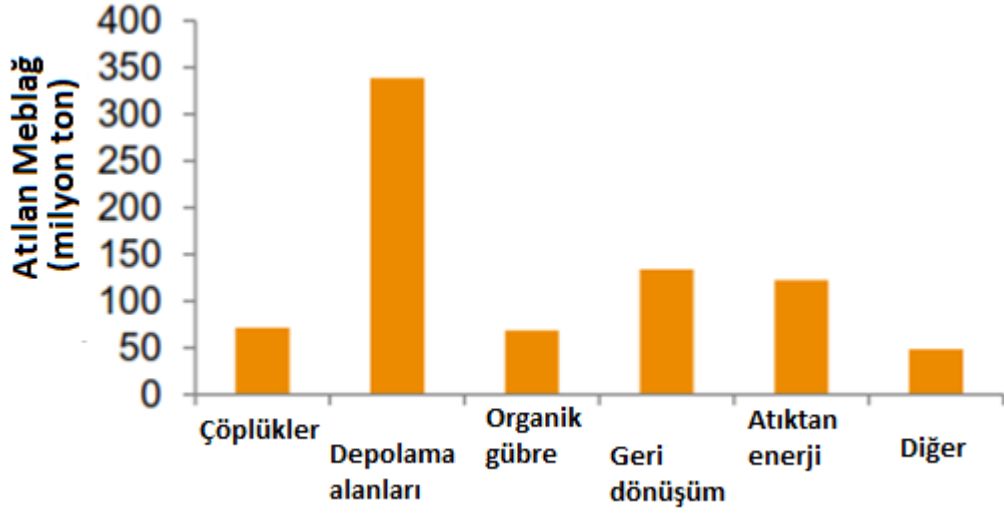
Şekil 2.17: Türkiye Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Toplam Birincil Enerji Kaynakları İçindeki Payları (İlleez, 2018)

### 2.2.7. Atıktan Enerji

Küresel atıktan enerji pazarı, 2013 yılında bir önceki yıla göre %5,5 artarak 25.32 milyar ABD doları olarak değerlendirilmiştir. Isıl enerji dönüşümüne dayanan atıktan enerji teknolojileri pazarı yönlendirmektedir ve 2013 yılında toplam pazar gelirinin % 88,2'sini oluşturmaktadır. Küresel pazarın, istikrarlı büyümesinin 2023'e kadar sürdürmesi beklenmektedir (WEC, 2016).



Şekil 2.18: Gayri Safi Milli Gelire Göre Kapasite (Kg/Gün) Başı Atık Üretimi (WEC, 2016)



**Şekil 2.19:** 2012 Yılında Tekniğine Göre Atık Miktarlarının Bertarafı (WEC, 2016)

Avrupa, atıktan enerji teknolojileri içinde en büyük ve en sofistike pazara sahip olup, 2013 yılında toplam pazar gelirinin %47,6'sını oluşturmaktadır. Asya-Pasifik pazarına, yakma için katı atıklarının %60'ını kullanan Japonya hâkim olmaktadır. Ancak, 2011-2015 döneminde atıktan enerji üretim kapasitesini iki katından fazla arttıran Çin'de en hızlı pazar büyümesine tanık olunmuştur (WEC, 2016).

Küresel atık üretiminin 2025 yılına kadar iki katına çıkarak günde 6 milyon ton olacağı ve oranların bu yüzyılın sonundan önce en yüksek seviyeye çıkmayacağı tahmin ediliyor. OECD ülkeleri 2050'de 'zirve atığa', 2075'tee ise Doğu Asya ve Pasifik ülkelerine ulaşacağı öngörülmektedir. 2100 itibariyle, küresel atık üretimi günde 11 milyon tona ulaşabileceği ön görülmektedir (WEC, 2016).

Türkiye'nin durumuna bakıldığında atıktan enerji üretimini bio kütle olarak değerlendirmekle beraber, Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası'na (BEPA) göre (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü'nün bir uygulaması) atık miktarları ve atıkların toplam enerji miktarı potansiyeli aşağıdaki tabloda gösterilmektedir.

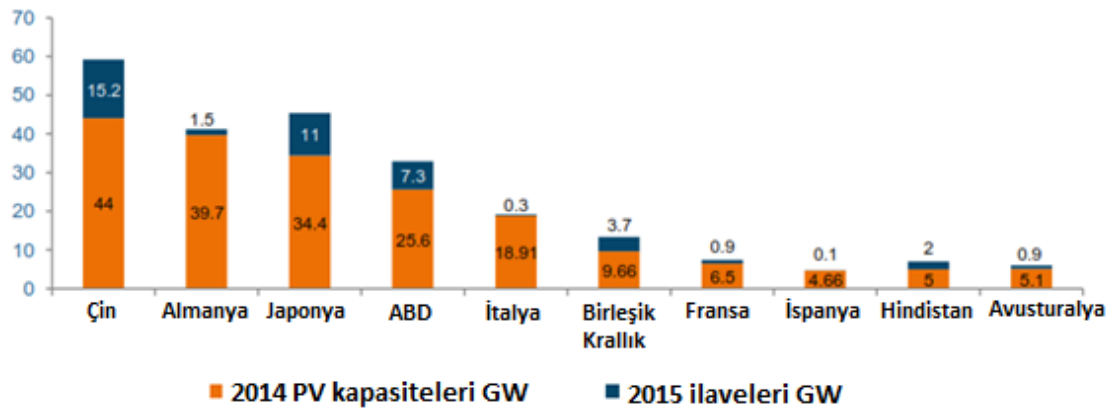
**Çizelge 2.8:** Türkiye Biyokütle Enerjisi Potansiyeli Atlası (İlleez, 2018)

Toplam Hayvan Sayısı	389 405 328,00	Adet
Hayvansal Atık Miktarı	163 297 307,93	Ton/yıl
Hayvansal Atıkların Enerji Değeri	1 176 197,91	TEP/yıl
Bitkisel Üretim Miktarı	176 313 300,75	Ton/yıl
Bitkisel Atık Miktarı	96 451 594,18	Ton/yıl
Bitkisel Atıkların Enerji Eşdeğeri	39 877 284,54	TEP/yıl
Kentsel Katı Atık Miktarı	31 331 836,24	Ton/yıl
Kentsel Organik Atıkların Enerji Değerleri	2 315 413,90	TEP/yıl
Orman Atıklarının Enerji Değeri	859 899,00	TEP/yıl
Atıkların Toplam Enerji Eşdeğeri	44 228 795,34	TEP/yıl

### 2.2.8. Güneş (Solar)

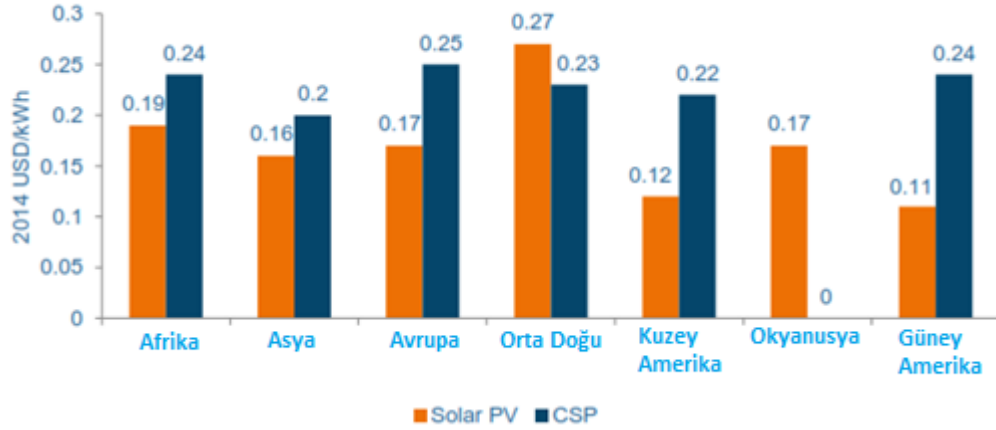
Güneş enerjisiyle çalışan elektrik üretimi için küresel kurulu güç, 2015 sonunda yaklaşık 227 GW<sub>e</sub>'a ulaşarak bir büyüme kaydetmiştir. Küresel olarak kullanılan tüm elektriğin %1'i güneş enerjisi ile üretilmektedir (WEC, 2016).

Büyük güneş enerjisi kurulumları nispeten daha az güneş kaynağına sahip bölgelerde (Avrupa ve Çin) olmakta iken, yüksek kaynak bulunan bölgelerde (Afrika ve Orta Doğu) potansiyel henüz kullanılmamaktadır. Almanya, son on yılda PV kapasite kurulumları ile pazara liderlik etmekte ve liderliğini sürdürmektedir; bunu Çin, Japonya, İtalya ve ABD izlemektedir (WEC, 2016).



**Şekil 2.20:** 2014 Yılıının En İyi Solar PV Kapasiteleri ve 2015 Eklentileri (WEC, 2016)

Güneş enerjisi maliyetleri hızla düşmektedir ve birçok ülkede “şebeke paritesi” elde edilirken, gelişmekte olan ülkelerde güneş enerjisi endüstrisi için yeni pazarlar açılmaktadır. Politika ve düzenleyici teşvikler, kurulum bileşenlerinin fazlalığı ve teknolojiadaki gelişmeler maliyette düşüşe neden olmaktadır (WEC, 2016).

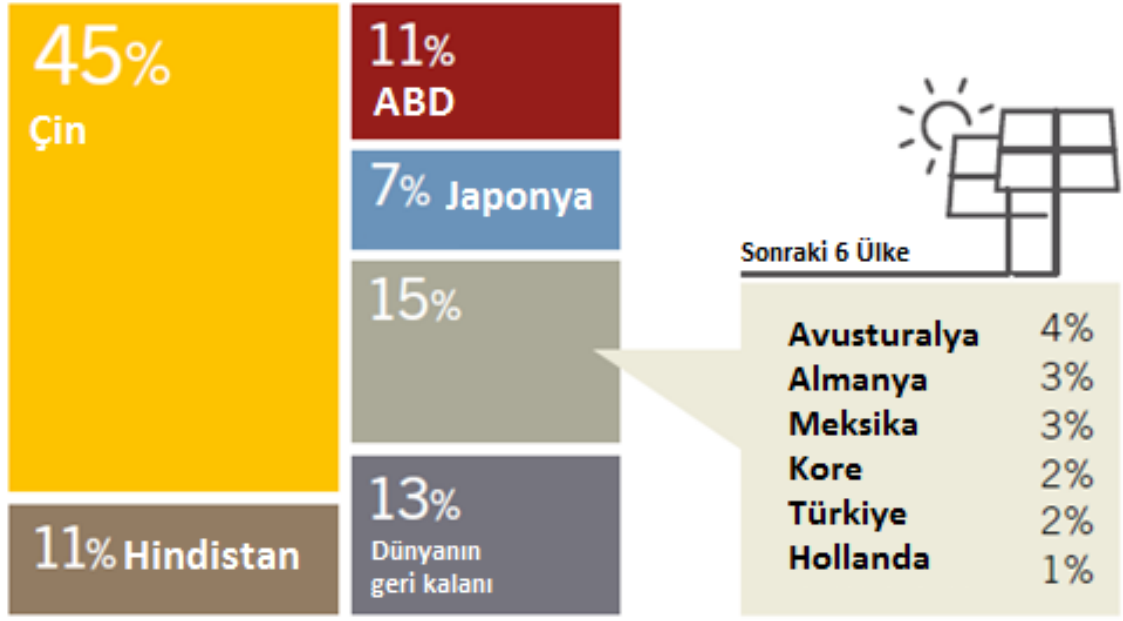


**Şekil 2.21:** 2014 Yılındaki Solar PV ve CSP İçin Ortalama Sınıflandırılmış Elektrik Ücretleri (WEC, 2016)

Şekil 2.22’de gösterildiği gibi; küresel olarak ülkelerin güneş (solar) PV kapasitelerine göre %45’lik oran ile Çin lider konumdadır. Sonrasında sırasıyla Hindistan (%11), ABD (%11), Japonya (%7), Avustralya (%4), Almanya (%3), Meksika (%3), Kore (%2) ve Türkiye (%2) gelmektedir. Kalan %13’lük kısmı dünyanın geri kalanı oluşturmaktadır.

Türkiye’nin durumuna bakıldığında ise en yaygın enerjiyi kullanım şekilleri; sıcak su elde etmek ve kurutmaktır. Bu işlemlerde sadece konutlarda ve sanayide kullanılmaktadır. 2014 yılından sonra güneş enerjisinden elektrik üretilmeye başlanmıştır. Bu üretimin çoğu (%99,5) lisansız santraller tarafından yapılmaktadır. 2018 yılı itibari ile elektrik üretimi 7.447,3 GWh’ya (%2,5) yükselmiştir (Özgür, 2018).

2017 yılı itibari ile de Konya-Karapınar’da dünyanın en büyük (1.000 MWe kapasiteli) güneş santrali kurulması planlanmaktadır ve çalışmaları devam etmektedir.

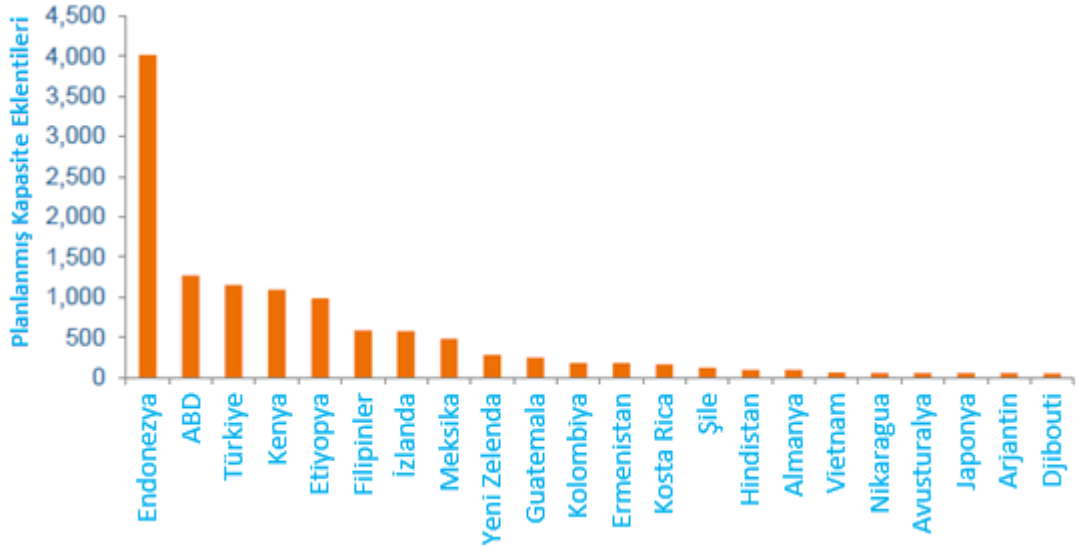


**Şekil 2.22:** Küresel Güneş PV Kapasite Eklentileri İçinde İlk 10 Ülke ve Diğerleri, 2018 (REN21, 2019)

### 2.2.9. Jeotermal

Jeotermal enerji, dünyanın birincil enerji tüketiminin küçük bir oranına katkıda bulunmaktadır. Elektrik üretiminde jeotermal, dünya üretiminin %1'inden daha azını üretmektedir. 2015 yılında kurulan 315 MW yeni jeotermal enerji kapasitesi mevcut olup, toplam kapasiteyi 13.2 GW'a çıkarmıştır (WEC, 2016).

Türkiye, yeni küresel kapasite eklerinin yarısını oluşturmaktadır; bunu ABD, Meksika, Kenya, Japonya ve Almanya izlemektedir. Jeotermal ısının doğrudan kullanımı açısından, 2015 yılında doğrudan jeotermalin yaklaşık %70'ini oluşturan en büyük kullanımı olan ülkeler Çin, Türkiye, İzlanda, Japonya, Macaristan, ABD ve Yeni Zelanda'dır (WEC, 2016).



**Şekil 2.23:** Ülkeler Bazında Gelişmekte Olan Kapasite (MW) (WEC, 2016)

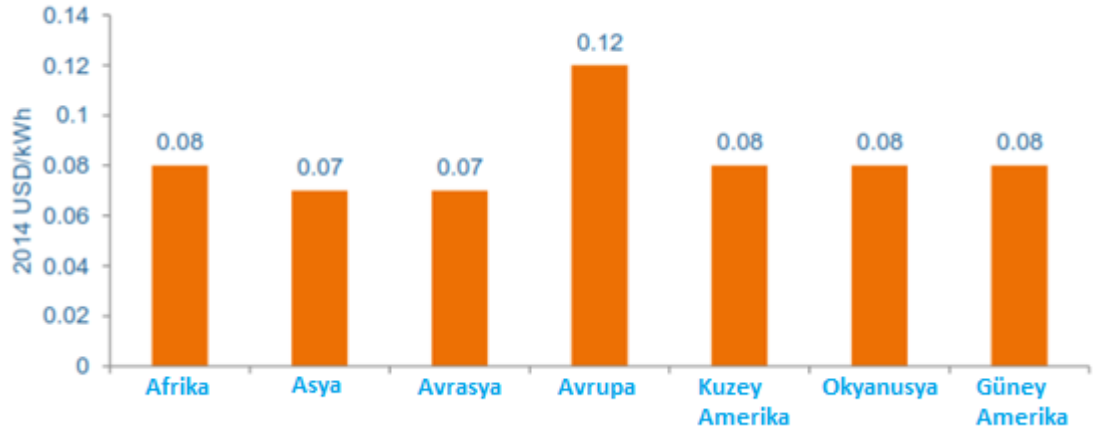
2015 yılında, toplam güç çıkışı 75 TWh olarak gerçekleşmiştir; aynı sayı jeotermal enerjiden alınan toplam ısı çıkışı için de geçerlidir (yeraltı ısı pompaları hariç). Dünya jeotermal ısı kullanımı (doğrudan ve depolama olarak) 2014 yılında 563 PJ'e ulaşmıştır (WEC, 2016).

2015 yılında küresel yatırım, 2014 yılına göre %23 gerileme göstererek 2 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir. 2010-2014 döneminde, 49 ülke tarafından doğrudan kullanım ve elektrik enerjisi için jeotermal enerjiye yaklaşık 20 milyar ABD doları yatırım yapılmıştır (WEC, 2016).

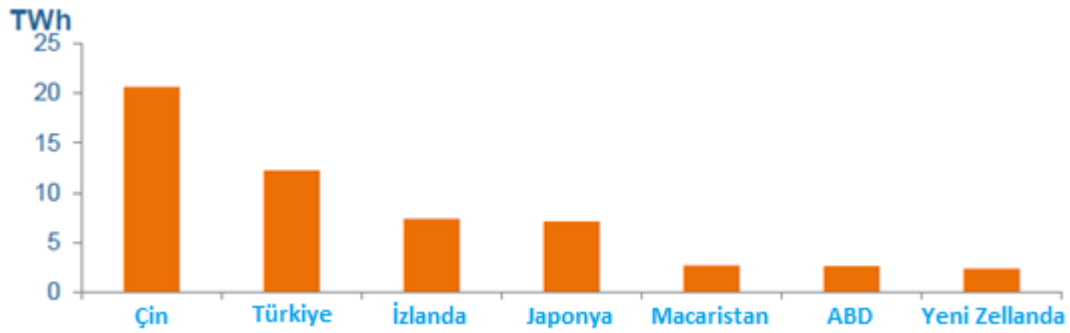
Jeotermal enerji şu anda kendisini güneşe ve rüzgâra göre daha yüksek kurulum maliyetleri ve daha uzun geliştirme süreleriyle karşı karşıya buluyor. Sonuç olarak, birçok ülkede, jeotermal enerji projeleri hem doğal gaz hem de diğer yenilenebilir jenerasyona karşı rekabet edebilmek için devlet teşvikleri güveniyor (WEC, 2016).

Jeotermal enerji gelişimin hızı, yasal çerçevelerle ve özellikle de koruma mevzuatıyla şartlandırılmıştır. Bununla birlikte, iklim değişikliği endişeleri ve enerji sektörünün karbonu gidermek için artan ihtiyacı nedeniyle geliştirme hızı hızlanabilir (WEC, 2016).





**Şekil 2.24:** 2014 Yılında Jeotermal İçin Bölgelere Göre Ortalama Sınıflandırılmış Elektrik Ücretleri (WEC, 2016)



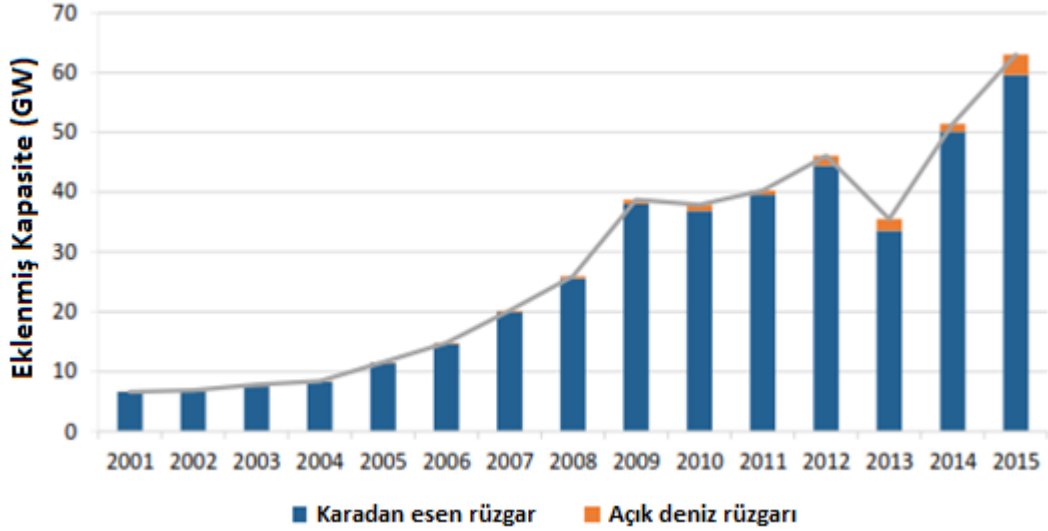
**Şekil 2.25:** 2015 Yılında Doğudan Jeotermal Isı Kullanan Ülkeler (En İyileri) (WEC, 2016)

Türkiye'nin ve dünyanın durumuna daha detaylı olarak tezin ilerleyen bölümlerinde ayrıntılı olarak verilecektir.

### 2.2.10. Rüzgâr

Dünya rüzgâr enerjisi üretim kapasitesi, 2015 sonunda toplam küresel enerji üretim kapasitesinin yaklaşık %7'sini oluşturarak 435 GW'a ulaştı. 2015 yılında 64 GW'lık bir rekor eklendi. %17,2'lik küresel büyüme oranı ile 2014'tekinden yüksekti (%16,4) (WEC, 2016).

Danimarka, elektrik ihtiyacının %42'sini rüzgâr türbinlerinden üretti ve bu rakam dünya çapında kaydedilen en yüksek rakamdı. Almanya'da 2015 yılında yeni bir rekor ile rüzgâr enerjisi ülkenin %13'lük güç tüketimini karşılamıştır (WEC, 2016).

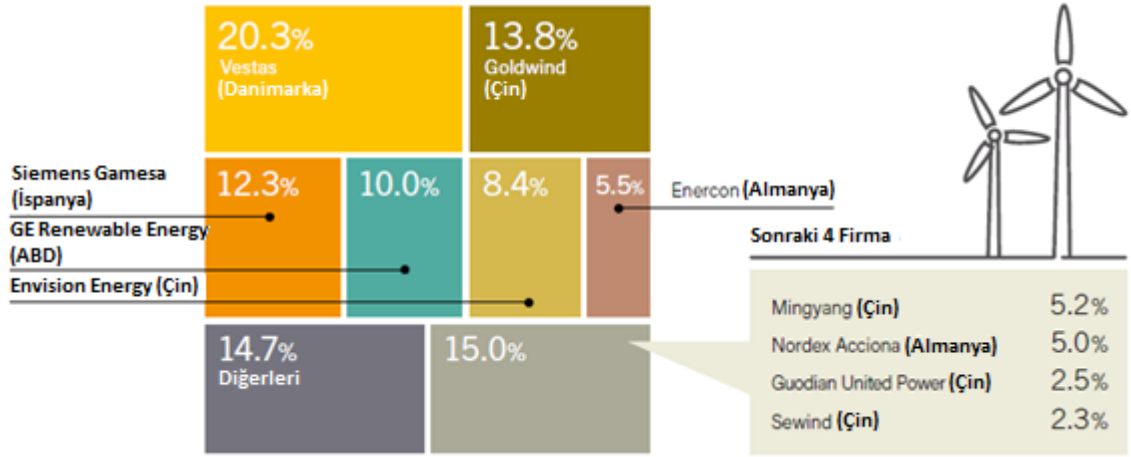


Şekil 2.26: Yıllık Net Küresel Rüzgâr Kapasitesi (WEC, 2016)

Mevcut politika planlarıyla birlikte, küresel rüzgâr kapasitesi, 2015 yılında 435 GW'den 2030'da 977 GW'ye (karada 905 GW ve denizde 72 GW deniz rüzgârına) kadar yükselebilir. 2015 sonunda rüzgâr gücünde küresel liderleri Çin, ABD, Almanya, Hindistan ve İspanya'dır (WEC, 2016).

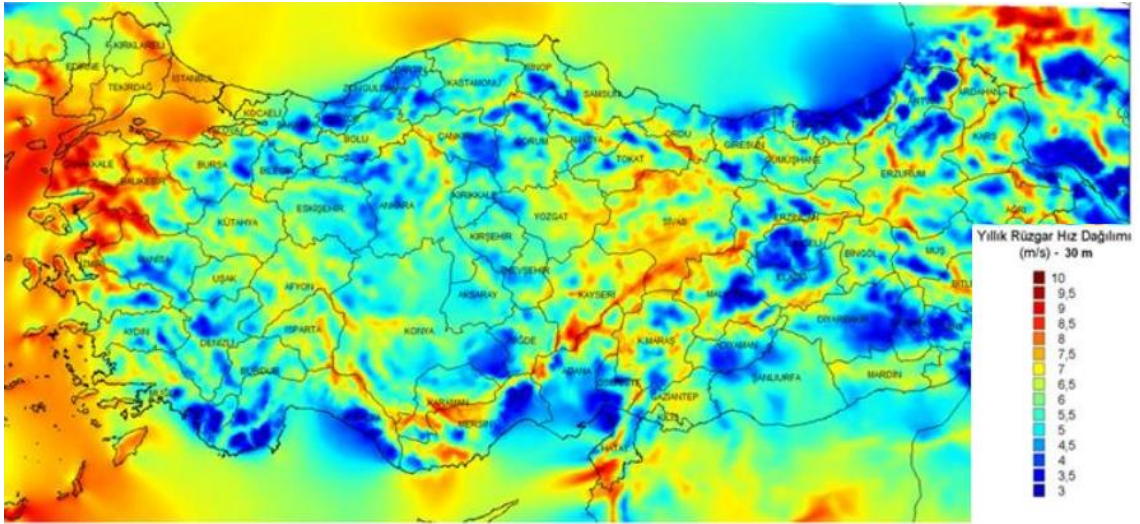
Küresel rüzgâr sektöründeki toplam yatırımlar 2015 yılı boyunca 109,6 milyar ABD doları ile rekor seviyeye ulaşmıştır. Son yıllarda ki tedarikçi endüstrisindeki eğilimler, büyük şirketlerin güçlü bir şekilde konsolidasyonunu ve küresel rüzgâr pazarının doğuya doğru Çin ve Hindistan'a geçişini göstermektedir (WEC, 2016).

Rüzgâr enerjisi söz konusu olduğunda ülkelerin kapasitelerinin/potansiyellerinin yanında rüzgâr türbini üreticileri ciddi bir Pazar oluşturmaktadır. 2018 yılında %20,3'lük pay ile Danimarkalı Vestas firması lider iken onu takip eden firmalar arasında çok sayıda Çinli, ABD'li, İspanyol ve alman firmaları takip etmektedir.



Şekil 2.27: En İyi 10 Rüzgâr Türbini Üreticileri, 2018 (REN21, 2019)

Türkiye'nin durumuna bakıldığında potansiyel rüzgâr enerjisinden yararlanılabilecek bölgeler sadece Türkiye'nin batı kıyıları, Marmara Denizi ve çevresi ve Antakya bölgesindedir. REPA'nın çalışması baz alınarak Türkiye rüzgâr enerji potansiyeli rüzgâr sınıfı "iyi" ile "sıra dışı" arasında bulunmaktadır ve potansiyeli 47.849,44 MW hesaplanmıştır (Altuntaşoğlu, 2018).

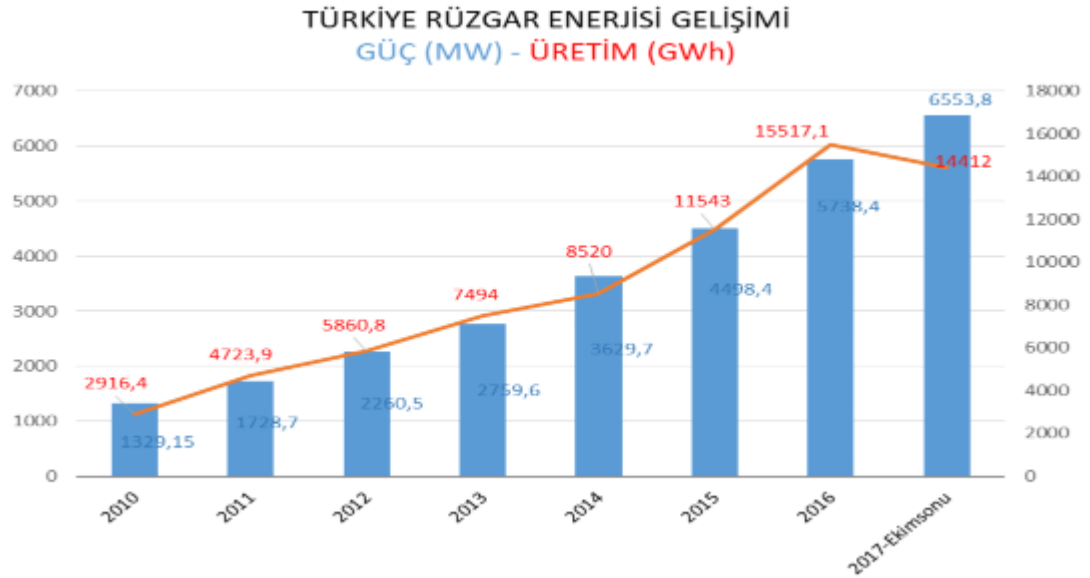


Şekil 2.28: Türkiye Rüzgâr Enerjisi Potansiyel Atlası (REPA) (YEGM, 2019)

**Çizelge 2.9:** REPA 'ya göre Türkiye Rüzgâr Potansiyeli (Altuntaşoğlu, 2018)

Rüzgâr Kaynak Derecesi	Rüzgâr Sınıfı	50 m'de Rüzgâr Gücü Yoğ. (W/m <sup>2</sup> )	50 m'de Rüzgâr Hızı (m/s)	Toplam Alan (km <sup>2</sup> )	Rüzgârlı Arazi Yüzdesi	Toplam Kurulu Güç (MW)
Orta	3	300 – 400	6,5 – 7,0	16.781,39	2,27	83.906,00
İyi	4	400 – 500	7,0 – 7,5	5.851,87	0,79	29.259,36
Harika	5	500 – 600	7,5 – 8,0	2.598,86	0,35	12.994,32
Mükemmel	6	600 – 800	8,0 – 8,5	1.079,98	0,15	5.399,92
Sıradışı	7	> 800	> 9,0	39,17	0,01	195,84
<b>Toplam</b>				<b>26 351,28</b>	<b>3,57</b>	<b>131.756,40</b>

Türkiye'nin rüzgâr enerjisi kurulu gücünü ve bunlara bağlı enerji üretimine bakarsak; 2017 iti bari ile toplam 160 aktif rüzgâr santrali bulunmaktadır ve 6.353,8 MW'lık güce ulaşmıştır. Rüzgâr santrallerinin yoğun bulunduğu iller (REPA haritası ile uyumlu olarak); Balıkesir, Hatay, Osmaniye, Afyon, Aydın, Kırklareli, İzmir, Manisa, Çanakkale, Kayseri, İstanbul.



**Şekil 2.29:** Türkiye Rüzgâr Santralleri Kurulu Gücünün ve Üretiminin Yillara Göre Gelişimi (Altuntaşoğlu, 2018)

### 2.2.11. Dalga (Marine)

2016 yılında mevcut 0,5 GW ticari okyanus enerjisi üretme kapasitesi aktif olarak çalışmaktadır ve 1,7 GW'lık kapasite yapım aşamasında bulunmaktadır ki bu enerjinin

%99'u gelgit aralığında hesaplanmaktadır. 17 MW'lık kapasiteye sahip üç gelgit akışlı ticari proje kısa bir süre içinde (ikisi İskoçya'da ve biri Fransa'da) devreye alındı ve İsveç'te 1 MW'lık bir ticari dalga enerjisi dizisi olarak devreye alındı (WEC, 2016).

İsveç, Sotenas'daki dünyanın en büyük ticari dalga enerjisi dizisinin yapımına başladı. 42 cihaz içerecek ve 1,05 MW kapasite sağlayacak. Kısa süre önce Gana'da 6 cihazdan oluşan ve 400 kW kapasite sağlayan ikinci bir proje kurdular (WEC, 2016).

**Çizelge 2.10:** Dalga Enerjisinin Bölgesel Teorik Potansiyeli (WEC, 2016)

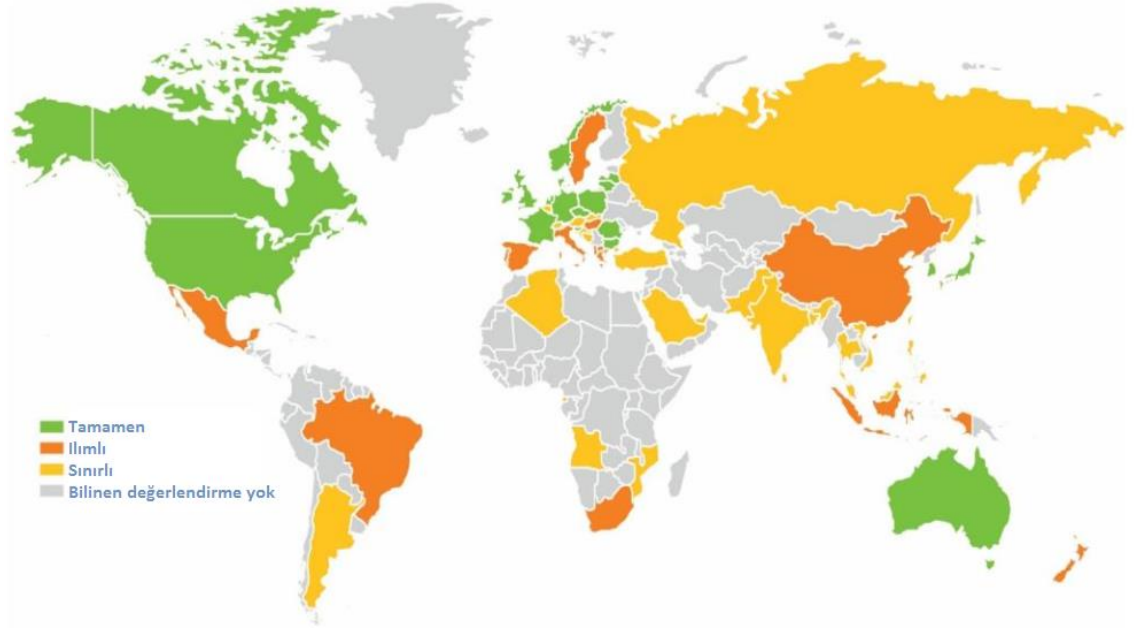
<b>Bölge</b>	<b>Dalga Enerjisi (TWh/yıl)</b>
Batı ve Kuzey Avrupa	2.800
Akdeniz ve Atlantik adalar (Azores, Cape Verde, Kanaryalar)	1.300
Kuzey Amerika ve Grönland	4.000
Merkez Amerika	1.500
Güney Amerika	4.600
Afrika	3.500
Asya	6.200
Avustralya, Yeni Zelanda ve Pasifik adaları	5.600
TOPLAM	29.500

Geliştirilmekte olan çeşitli aşamalarda 15 GW'lık okyanus enerjisi projesi bulunmaktadır; bunların çoğu gelgit aralığındadır (11.5 GW), bunu gelgit akışı (2.6 GW), dalga (0.8 GW) ve OTEC (0.04 GW) izlemektedir (WEC, 2016).

### **2.2.12. Karbon Yakalama Ve Depolama (CCS)**

Dünyanın elektrik sektöründeki ilk büyük CO yakalama teknolojisi uygulaması Ekim 2014'te Kanada'daki Saskatchewan'daki Boundary Barajı elektrik santralinde faaliyete geçmiştir. ABD'de, enerji sektöründe, Mississippi'deki Kemper İlçesi Enerji Tesisinde ve Teksas'taki Petra Nova Karbon Yakalama Projesinin 2017 yılında faaliyete geçmesi için iki büyük ölçekli CO yakalama gösterisi gösterilmesi planlanmaktaydı ancak Kemper projesi başarılı olamamıştır (WEC, 2016).

Faaliyet halindeki veya yapım aşamasında olan projelerin toplam küresel CO yakalama kapasitesi 40 Mtpa civarındadır. Bu da dünyada yürütülen büyük ölçekli projeler CCS teknolojisinin uygulanabilirliğini göstermektedir (WEC, 2016).



**Şekil 2.30:** Ulusal Değerlendirmeye Göre Bölgesel Depolama Kaynakları (WEC, 2016)

Japon Hükümeti, uygun depolama alanlarını ve CCS dağıtımının ekonomik uygulanabilirliğini incelemek için sektördeki teknoloji sağlayıcılarıyla işbirliği yapmaktadır (WEC, 2016).

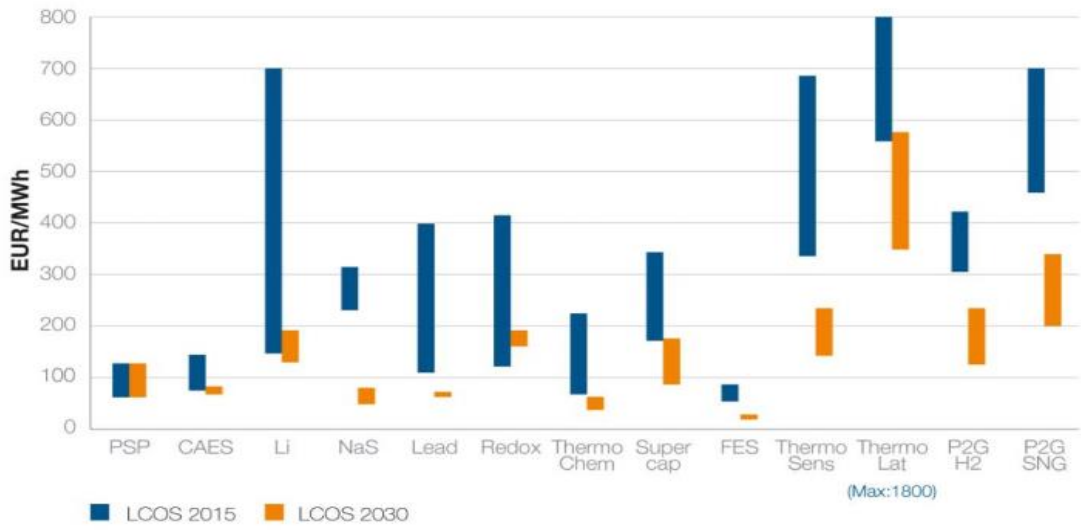
Güney Kore Hükümeti CCS Ana Planı, 2020 yılına kadar belirli maliyet parametreleri dâhilinde çalışan büyük ölçekli bir CCS demo projesi ve bundan sonra ticari CCS dağıtımını içermektedir (WEC, 2016).

### 2.2.13. E-Depolama

Enerji depolaması kavramı yeni değildir, ancak geliştirme esas olarak yakın zamana kadar bir teknolojiyle sınırlandırılmıştır. Pompalanan hidro depolama, küresel kurulu

enerji depolama kapasitesinin% 95'inden fazlasını oluşturur. Basınçlı hava enerji depoları şu anda yalnızca iki ticari tesise (Almanya ve ABD'de), toplam 400 MW'a sahip olup, üçüncüsü İngiltere'de geliştirilme aşamasındadır (WEC, 2016).

Akü depolama kapasitesi artıyor: örneğin, yalnızca Almanya'da güneş enerjisi kurulumlarıyla birlikte toplam kapasitesi 160 MWh olan yaklaşık 25.000 evsel kurulum var. Elektrikli taşıtlardaki toplam akü kapasitesi de hızla artmaktadır (WEC, 2016).



**Şekil 2.31:** 2015 – 2030 Çalışma Periyodunda Seviyelendirilmiş Depolama Ücretleri (WEC, 2016)

Önümüzdeki yıllarda, temel büyüme alanlarının sıralamadaki gibi olması beklenmektedir:

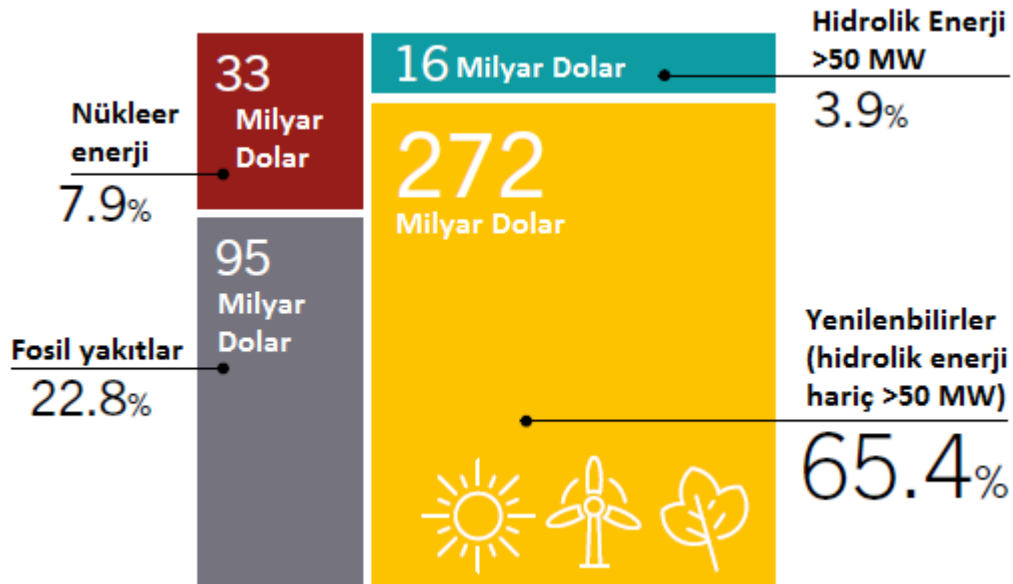
- Solar PV ile birlikte küçük ölçekli akü depolaması. Sadece Almanya'da yaklaşık 25.000 konut birimi var ve bu 2020 yılına kadar 150 000'e kadar yükselebilir.
- Hizmet ölçekli elektrik depolaması.
- Elektrikli araçlar.
- Pompalanan hidro depolama, özellikle güneydoğu Asya, Afrika ve Latin Amerika'da.

- e) Yakıt maliyetlerinden tasarruf etmek amacıyla yenilenebilir enerji kaynaklarının entegrasyonuna yardımcı olmak için adalar gibi izole edilmiş elektrik sistemleri (WEC, 2016).

### 2.3. GENEL ENERJİ DURUMU

Dünya Enerji Konseyinin hazırlamış olduğu “2016 Dünya Enerji Kaynakları” raporunda da görüldüğü gibi tüm dünya ülkeleri kendi geleceklerini şekillendirebilmek için bir ve birden çok enerji türüne yatırım yapmakta, var olan enerji türlerinin potansiyelini artırmaya çalışmakta veya yeni bir enerji türü bulmaya çalışmaktadır.

2018 yılındaki tahmin edilen yatırım maliyetleri her ne kadar fosil yakıt tüketimi önümüzdeki süreçte büyük değişim göstermeyecek olsa bile ülkelerin (devlet ve şirketler) yatırımları özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarına olduğunu göstermektedir. 272 milyar dolar (%65,4) ile yenilenebilir enerji kaynakları (bu kısımda hidrolik enerji hariç) en çok ilgi gören, yatırım yapılan alan olmaktadır. Fosil yakıtlara 95 milyar dolar (%22,8), nükleer enerjiye 33 milyar dolar (%7,9) ve hidrolik enerjiye 16 milyar dolar (%3,9) yatırım 2018 yılında (tüm dünya tahmini toplam) yapılmıştır.



Şekil 2.32: Enerji Türüne Göre (Yenilenebilir / Fosil Yakıt / Nükleer) Yeni Güç (Enerji) Kapasitelerine Yapılan Tahmini Küresel Yatırımlar, 2018 (REN21, 2019)



Yapılan bu yatırımlar dünya genelinde 11 milyon kişilik istihdamı sağlamaktadır. En çok istihdam 2018 yılında güneş enerjisi sektöründe toplanmaktadır. Sonrasında biokütle (bioatık, biogaz, biyoküt) sektörü, hidrolik enerji sektörü, rüzgâr enerjisi sektörü ve jeotermal enerji sektörü olarak sıralanmıştır.



Şekil 2.33: Yenilenebilir Enerji Sektörlerindeki İstihdam, 2018 (REN21, 2019)

Tüm enerji türlerine bakıldığında en çok ismi geçen ülkeler; Çin, ABD, Hindistan, Almanya ve Rusya'dır. Sadece bir enerji türünde Türkiye'nin mevcut potansiyeli bariz bir şekilde gözükmemektedir. Bu enerji türü *Jeotermal Enerjidir*.

Yenilenebilirler 2019 Global Durum Raporuna göre de tüm enerji türleri arasında jeotermal enerji ile büyük bir potansiyele sahip olmakta ve ön plana çıkmaktadır (REN21, 2019).

Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli jeotermal enerji potansiyeli kadar güçlü ve verimli gözükmemektedir. Ancak altyapı çalışmaları, yatırım maliyetleri ve lisans alma zorluğu ve güneş enerjisinden elektrik üretimi yarışına geç başlanmış olması; henüz bu enerji türünden için Türkiye'nin iyi faydalanması zor gözükmemektedir.

	1	2	3	4	5
Yenilenebilir Enerji ve Yakıtlara Yapılan Yatırımlar (50 MW üzeri hidroelektrik enerji hariç)	Çin	ABD	Japonya	Hindistan	Brezilya
Yenilenebilir Enerji ve Yakıtlara Yapılan Yatırımlar (GSYH bazında)	Palau	Djibouti	Fas	İzlanda / Sırbistan	
Jeotermal Enerji Kapasitesi	Türkiye	Endonezya	ABD	İzlanda	Yeni Zelanda
Hidro Enerji Kapasitesi	Çin	Brezilya	Pakistan	Türkiye	Angola
Güneş (PV) Enerji Kapasitesi	Çin	Hindistan / ABD		Japonya	Avustralya
Yoğunlaştırılmış Güneş Termal (CSP) Enerji Kapasitesi	Çin / Fas		Güney Afrika	Suudi Arabistan	-
Rüzgâr Enerji Kapasitesi	Çin	ABD	Almanya	Hindistan	Brezilya
Güneş ile Su Isıtma Kapasitesi	Çin	Türkiye	Hindistan	Brezilya	ABD
Bio-dizel Üretimi	ABD	Brezilya	Endonezya	Almanya	Arjantin
Ethanol Üretimi	ABD	Brezilya	Çin	Kanada	Tayland

**Şekil 2.32:** 2018’de Yıllık Yatırım / Net Kapasite İlavesi / Üretime Göre Yenilenebilir Enerjide En İyi Ülkeler (REN21, 2019)

Ancak Türkiye’nin, dünya üzerinde, jeotermal enerji üretimi/kullanımı konusunda ciddi bir potansiyele sahip olduğu gözükmemektedir. Üstelik Türkiye kaplıca, hamam vb. sıcak su kullanım deneyimine sahiptir. Her ne kadar jeotermal enerjiden elde edilebilecek/üretilebilecek enerji ile Türkiye enerji ihraç edebilecek duruma gelemese bile, ithal edeceği enerjiden tasarruf edebilecek ve dışa bağımlılığı bir nebze engelleyebilecek potansiyele sahiptir. Bu tez çalışmasında Türkiye için jeotermal enerji temel alınarak ekonomik analizi yapılacaktır.

### 3. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

#### 3.1. JEOTERMAL ENERJİ

##### 3.1.1. Jeotermalin Tanımı

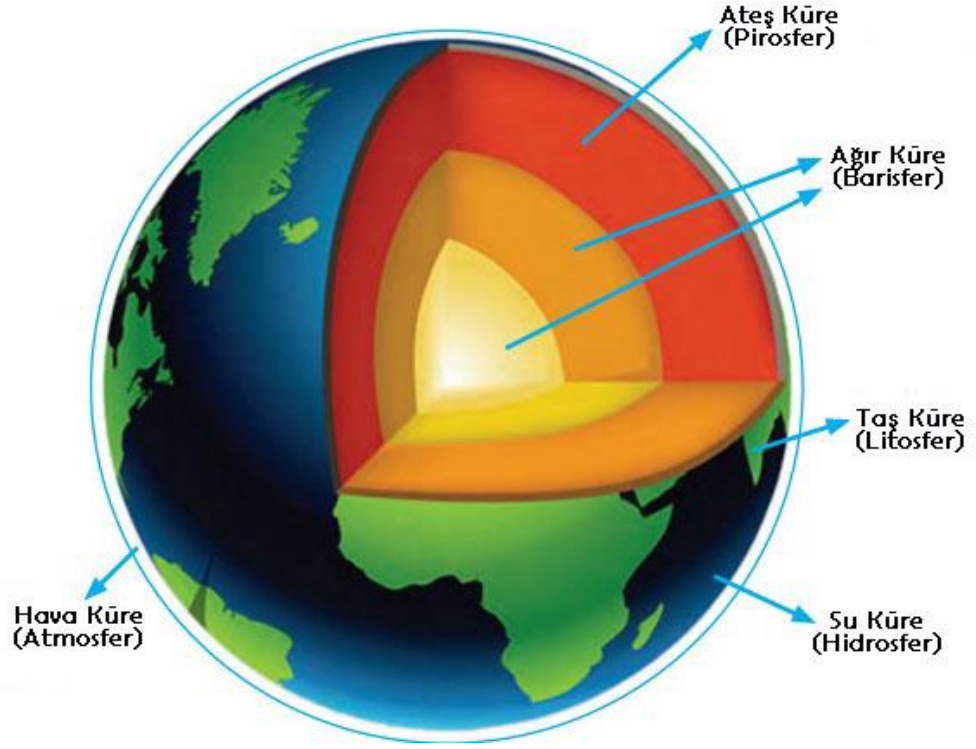
Jeotermal enerjinin açıklamasını tam yapabilmek için öncelikle “jeotermal nedir?” sorusunu yanıtlamamız gerekmektedir. İngilizcesi “Geothermal” olan jeotermal kelimesinin Türkçe karşılığı: “Geo” kelimesi “Yeryüzü, Yer, Dünya” anlamına, “thermal” kelimesi ise “ısı, sıcaklık” anlamına gelmekte ve ikisinin birleşimi; “Yeryüzü ısı, yer sıcaklığı” gibi anlamlarına gelmektedir. Kısaca jeotermal enerji; Yerkürenin (dünyanın) kendi doğal ısı enerjisidir. Türk Dil Kurumu ise kısaca; *Yer altında bulunduğu veya yer altından geçtiği için sıcaklığı yüksek olan*, olarak tanımlamıştır.

Teknik olarak anlamı; yerkürenin derinliklerindeki kayalar içinde birikmiş olan ısı enerjisinin akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması ile oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhara jeotermal kaynak denilmektedir (Küçükaya, 2017).

Yerkürenin beş katmandan (tabakadan) oluşmaktadır. Çekirdekte uzaya doğru sıralayacak olursak

- 1- Barisfer (Ağır Küre)
- 2- Piroster (Ateş Küre)
- 3- Litosfer (Taş Küre)
- 4- Hidrosfer (Su Küre)
- 5- Atmosfer (Hava Küre)

Atmosfer ve hidrosfer katmanları yerkürenin tamamlayıcı katmanlarıdır. Tüm canlıların (insan, hayvan, bitki örtüsü vb.) yaşamlarını devam ettirebilmeleri bu iki katmana bağlıdır. Barisfer ve pirosfer canlıların yaşayamayacağı kadar sıcaklıktaki iç mantonun alt kısmını oluşturan katmanlardır. Litosfer ise tüm canlıların üstünde yaşadığı ve tüm jeolojik aktivitelerin gerçekleştiği katmandır.



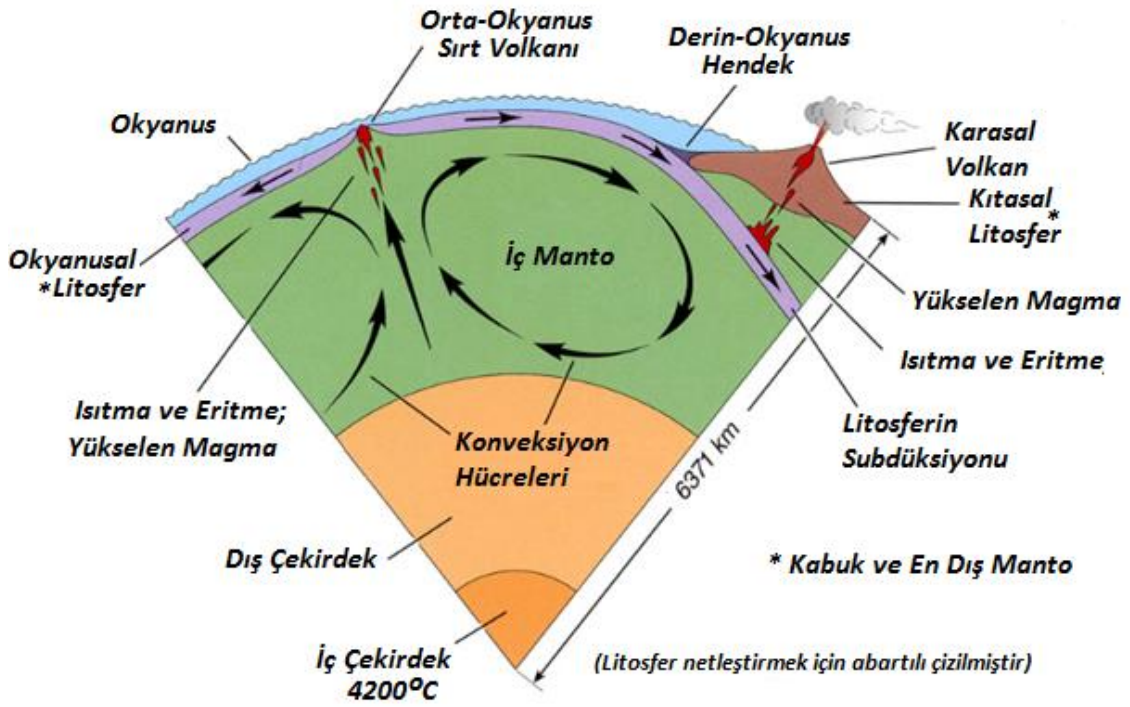
**Şekil 3.1:** Dünyanın Katmanları (Tabakaları) (Küçükkaya, 2017)

### 3.1.2. Jeotermal Enerjinin Tanımı

Jeotermal enerji ise TDK'ya göre kısaca; *yer altından çıkan sıcak su veya sıcak su buharından elde edilen enerji* olarak tanımlanmıştır. Ansiklopedik tanım olarak jeotermal enerji, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan birikmiş ısının oluşturduğu sıcaklıkların, bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığının üzerinde olan ve çevresindeki normal yeraltı ve yerüstü sularına göre daha fazla çözülmüş mineral, çeşitli tuzlar ve gaz içerebilen basınç altındaki sıcak su ve buhar (akışkan) yolu ile yüzeye taşınan ısı olarak tanımlanabilmektedir (Küçükkaya, 2017).

Dünyanın (Yerkürenin) ısısı derinlere gittikçe kademeli olarak artış gösterir ve merkezinde (çekirdeğinde) 4200°C'den fazla sıcaklığa ulaşır. Bu sıcaklığın bir kısmı yerkürenin 4,5 milyar yıl önceki ateşli oluşumunun kalıntısıdır, ama çoğunluğu radyoaktif izotopların bozulması ile türetilmiştir. Termodinamik yasalarına göre sıcaklık doğal olarak sıcak bölgeden soğuk bölgeye doğru hareket ettiğinden, doğal olarak yerkürenin ısısı çekirdekte yeryüzüne doğru jeotermal gradyan doğrultusunda

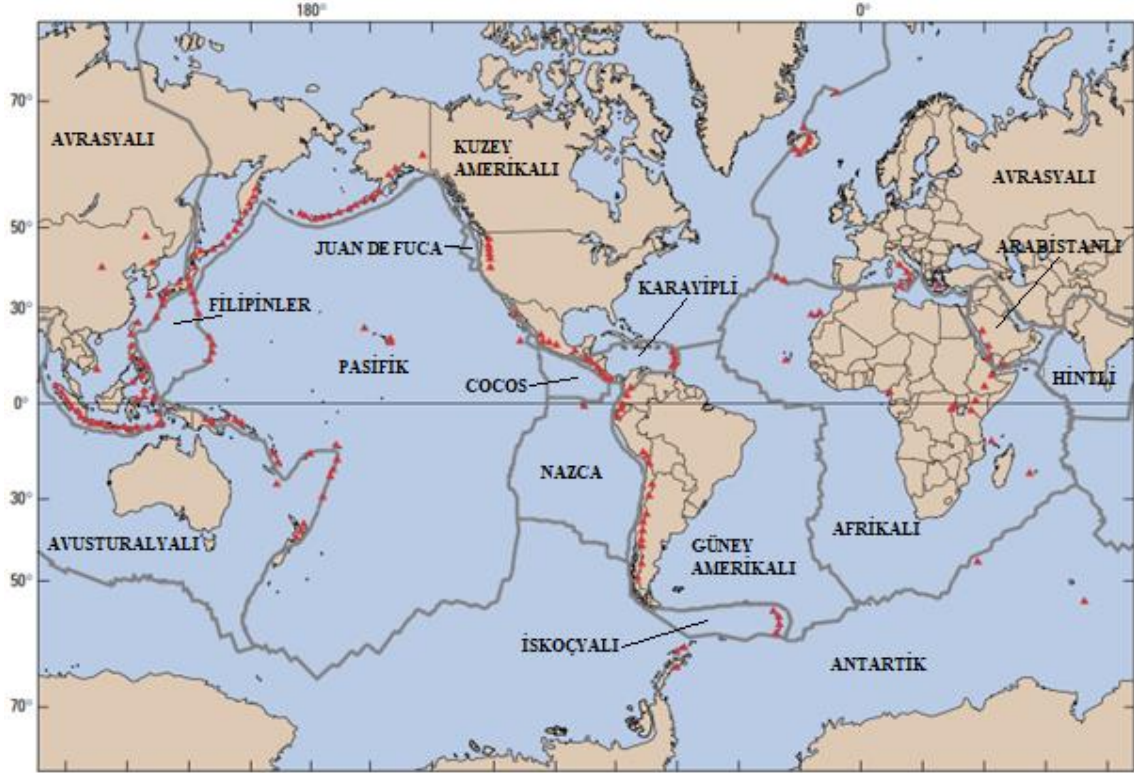
akmaktadır ki tahminen 42 milyon termal megawatt (42 x 10<sup>12</sup> watt) sürekli uzaya yayılır. Bu büyük ısı kaynağının büyük kısmı pratikte depolanamaz, çünkü ancak çok düşük bir sıcaklıkta yüzeye ulaşmaktadır. Plaka tektoniği (sismik hareketler, dağ inşası ve volkanizmanın temel nedeni) olarak bilinen temel jeolojik süreç, bu ısının bir kısmının, ticari çıkarımı için uygun sıcaklıklarda ve derinliklerde konsantre olmasını sağlamaktadır (Hulen, 2001).



**Şekil 3.2:** Yerküre Dinamiği (Hulen 2001)

Yerkürenin ince litosfer tabakası (sert kabuk ve en dış manto) yıl içinde milimetre ile ölçülebilecek oranda termal (aynı anda yer çekimsel) olarak hareket eden 12 büyük ve birkaç küçük tabakaya bölünmüştür. Dünyanın jeotermal şehirleri (bölgeleri) bu titreyen levhaların kenarlarında belirgin bir şekilde yoğunlaşmıştır. Plakaların birbirinden uzaklaştığı yerlerde, dünyayı saran orta okyanus sırtları boyunca, bazaltik magma genişlikte denizaltı volkanları oluşturmak için çatlaklarda yükselmektedir. İki plakanın çarpıştığı yerlerde, biri diğeri altında genellikle itiş yapar (derin basar), derin bir okyanus açmasının oluşmasına ve bazen de güçlü depremlere neden olmaktadır. Düşen levhanın hemen üzerindeki derinlikte, sıcaklıklar kayayı eritecek kadar yüksek hale

gelmektedir. Elde edilen magma gövdeleri, çevredeki kayalardan daha az yoğundur ve bazen üst kısımdaki mantodan kabuğa doğru yükselir, burada bazen patlayıcı volkanlara yol açarlar ve her zaman derin olan sıg ısı havuzlarıdır. Doğru koşullar altında, bu yüzeye yakın ısı anomalileri, jeotermal enerjinin ticari üretimi için kullanılabilir (Hulen, 2001).



**Şekil 3.3:** Dünyanın Ana Litosfer Tabakaları Ve Bazı Aktif Volkanlar (Kırmızı Üçgenler) (Duffield, 2003)

### 3.1.3. Jeotermal Enerjinin Sınıflandırılması

Jeotermal enerjinin sınıflandırılması iki farklı şekilde yapılabilmektedir. İlki ve en genel olarak bilineni jeotermal enerji sahasının sıcaklığına göre sınıflandırılmasıdır. Sıcaklıklarına göre jeotermal enerji sahaslarını üçe ayırabiliriz. Bunlar sırasıyla:

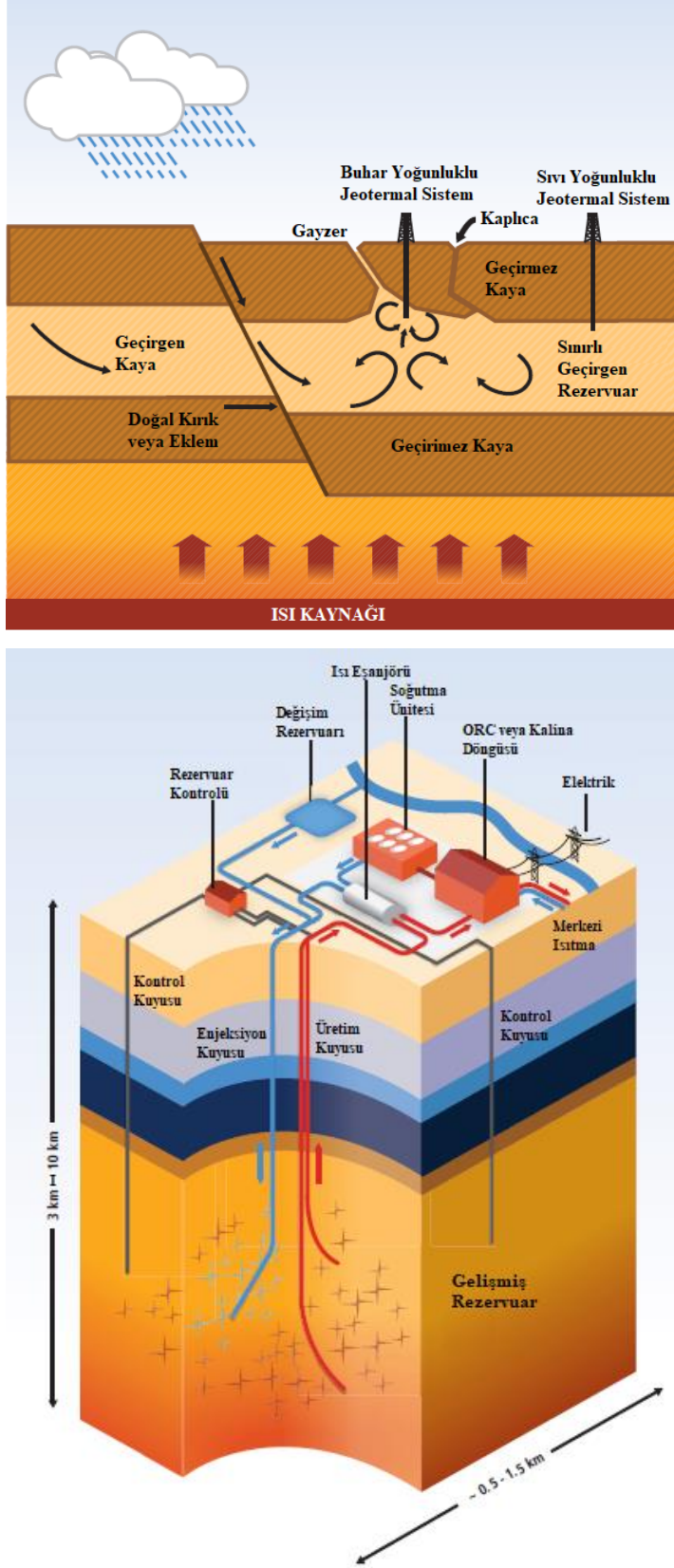
1. Yüksek Sıcaklıklı Bölgeler/Sahalar (180°C'den fazla)
2. Orta Sıcaklıklı Bölgeler/Sahalar (100 – 180°C arasında)
3. Düşük Sıcaklıklı Bölgeler/Sahalar (100°C'den düşük)

Yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalar daha çok volkanik aktiviteler ile ilişkilendirilmektedir ve genellikle tektonik plaka sınırlarında veya kabuklu ve manto sıcak nokta anomalilerinde bulunmaktadır. Orta ve düşük sıcaklıklı jeotermal sahalar ise genellikle radyoaktif izotop çürümesi yoluyla normalin üstünde ısı üretiminin karasal ısı akışını arttırdığı veya akiferlerin içinden ısıtılan su ile yüklendiği kıta ortamlarında bulunmaktadır (Goldstein, 2012).

Kaynaklarına göre yapılan sınıflandırma daha sık kullanılan bir sınıflandırma biçimidir. Jeotermal enerjiyi, jeotermal kaynaklara göre üç farklı şekilde sınıflandırabilmektedir. Bunlar sırasıyla:

1. Konvektif (hidrotermal) Sistemler
2. Kondaktif (iletken) Sistemler
3. Derin Akiferler

Konvektif (hidrotermal) sistemler içinde ağırlıklı olarak sıvı ve buhar bulunduran kaynak tipidir. İletken sistemlerin içinde çok çeşitli sıcaklıklarda sıcak kaya ve magma bulunur. Derin akiferlerde ise gözenekli ortamlarda veya kırılma bölgelerinden tipik olarak 3 km'den daha fazla derinliklerde bulunmaktadır ve dolaşım yapan akışkanlar içermektedirler, ancak lokalize bir magmatik ısı kaynağından yoksundurlar (Goldstein, 2012).



**Şekil 3.4:** Konvektif (Hidrotermal) (üst şekil) ve Kondaktif (İletken) (alt şekil) Sistem Gösterimi (Goldstein, 2012)



### 3.2. JEOTERMAL ENERJİNİN KULLANIM ALANLARI

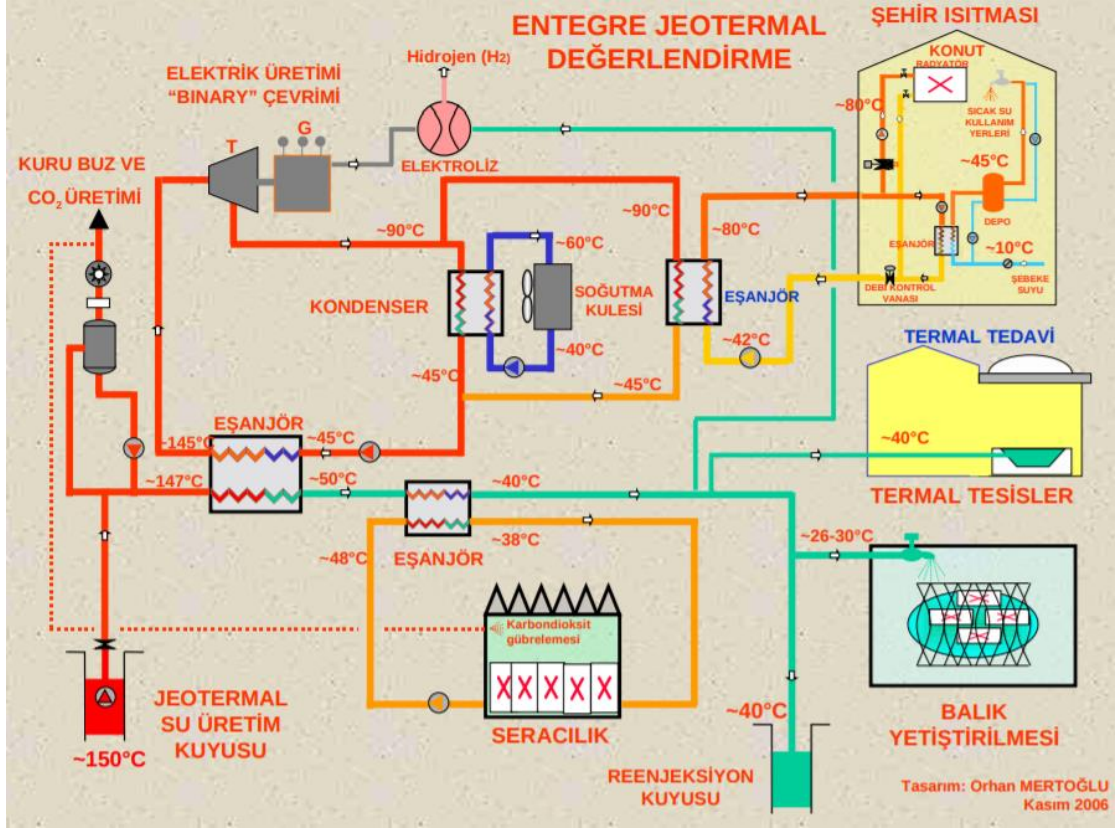
Genel olarak jeotermal kaynaklar içlerinde bulunan ısının ve kimyasal maddelerin oranlarına göre değerlendirilmektedirler. Akışkan sıcaklığına göre en çok karşılaşılan uygulama şekilleri ise;

1. Elektrik üretimi (ısı enerjisinden)
2. İklimlendirme (ısıtma / soğutma) (konut, işyeri, sera vb.)
3. Kimyasal madde üretimi (mineral, kimyasal tuz vb.)
4. Endüstriyel amaçlı ısıtma / kurutma (tekstil, kağıt, şeker, balık vb.)
5. Kaplıca ve havuz kullanımı (turistik ve tedavi amaçlı) (Etemoğlu, 2012)

Çizelge 3.1’de jeotermal akışkanın sıcaklığa göre kullanım alanı ve/veya uygulaması daha ayrıntılı olarak gösterilmiştir (Çetin, 2014).

Yukarıda bahsedilen uygulama şekillerinin kimyasal ve fiziksel özelliklerine göre (elektrik üretimi, iklimlendirme, endüstriyel uygulama, kimyasal madde üretimi CO<sub>2</sub>, seracılık, termal turizm vb.) bir arada aynı anda uygulanmasına entegre uygulamalar denilmektedir. Entegre jeotermal tesisleri, enerji verimliliği açısından en uygun kullanım şeklidir (Küçükkaya, 2017).

Jeotermal entegre tesisine örnek gösterecek çalışma şeması şekil 3.5’te gösterilmiştir. Tek bir jeotermal kaynaktan faydalanarak; konut ısıtması, termal tesis kullanımı, balık yetiştirilmesi, seracılık, kuru buz ve CO<sub>2</sub> üretimi ve elektrik üretimi sağlanmaktadır. Çeşitli safhalarda eşanjör, yoğuşturucu, motor, türbini pompa vb. ekipmanlar aracılığı ile jeotermal kaynaktan çıkan sıcak su/buhar karışımı kullanım yerine göre farklı sıcaklıklara getirilebilmektedir.



Şekil 3.5: Entegre Jeotermal Değerlendirme (Küçükkaya, 2017)

Jeotermal enerjinin potansiyeli deniz seviyesinden çekirdeğe doğru gittikçe artar. Kısaca jeotermal radyan; kabuktaki iletken ısı aktarımı nedeniyle derinlikteki  $[K / m]$  sıcaklık artış oranı olarak tanımlanmaktadır. Derinlik arttıkça potansiyel de artacaktır.

- 0 – 500 m: Jeotermal Isı Pompaları (10 – 20 °C); 1940'lı yıllarda geliştirilen bu yöntem ile iklimlendirme, ısıtma ve direkt soğutma için çok etkili bir yöntemdir. Yazın depolana bilinen ısı kışın tekrar kullanılabilir. Yazın depolana bilinen ısı kışın tekrar kullanılabilir.
- 1 – 4 km: Direkt Kullanım; Düşük entalpili uygulamalar (sera, küçük sanayi vb.) için genellikle tercih edilmektedir.
- 4 – 10 km: Elektrik Üretimi ve Kojenerasyon; Yüksek entalpili uygulamalar ve elektrik üretimi için tercih edilmektedir (Moret, 2015)

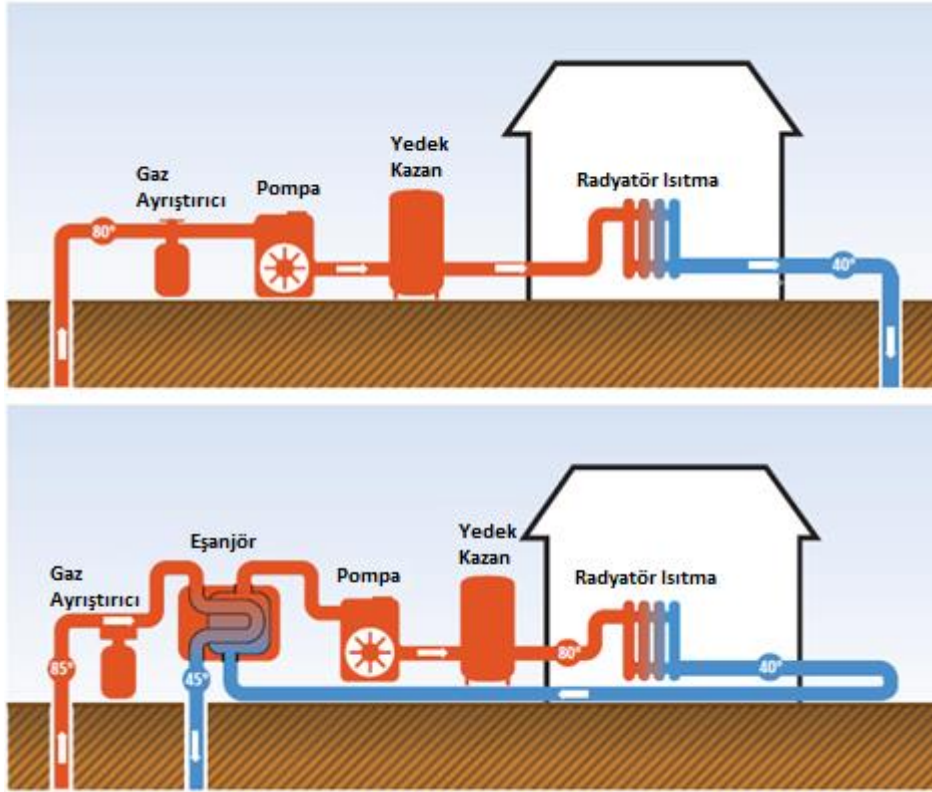
**Çizelge 3.1:** Jeotermal Akışkanın Sıcaklıklarına Göre Kullanım Alanları (Lindal Diyagram) (Çetin, 2014)

Sıcaklık (°C)	Kullanım Yeri
180	Yüksek Konsantrasyonlu solüsyonun buharlaşması, Amonyum absorpsiyonu ile soğutma
170	Hidrojen sülfid yolu ile ağırsu eldesi, diyatomitlerin kurutulması
160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması
150	Bayer's yolu ile alüminyum eldesi
140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (Konservecilikte)
130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi
120	Temiz su eldesi, tuzluluk oranının artırılması
110	Çimento kurutulması
100	Organik madde kurutma (Yosun, et, sebze vb.), yün yıkama
90	Balık kurutma
80	Ev ve sera ısıtma
70	Soğutma
60	Kümes ve ahır ısıtma
50	Mantar yetiştirme, Balneolojik banyolar (Kaplıca Tedavisi)
40	Toprak ısıtma, kent ısıtması (Alt sınır) sağlık tesisleri
30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri
20	Balık çiftlikleri

### 3.3. JEOTERMAL ENERJİNİN DOĞRUDAN (DİREKT) KULLANIMI

Jeotermal enerjinin direkt olarak genellikle bölgesel ısıtma, balık havuzları, seralar, banyo, sağlık ve yüzme havuzları, su arıtma / tuzdan arındırma ve tarım ürünleri ve mineral çıkarımı ve kurutması için endüstriyel ve proses ısısı gibi binalarda ısıtma ve soğutma uygulamaları için kullanılmaktadır (Goldstein, 2012).

Alan (konut vb.) ısıtılması için iki temel sistem tipi kullanılmaktadır: açık veya kapalı döngü sistemleri. Açık döngü (tek boru) sistemleri, radyatörler arasında dolaşmak için doğrudan bir kuyudan çıkarılan jeotermal suyu kullanmaktadır. Kapalı döngü (çift borulu) sistemler, ısıyı jeotermal sudan radyatörlerden ısıtılmış tatlı suyu dolaştıran kapalı bir döngüye aktarmak için ısı eşanjörleri kullanmaktadır. Bu sistem jeotermal suyun kimyasal bileşimi nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Her iki durumda da, harcanan jeotermal su enjeksiyon kuyularında bertaraf edilir ve en yüksek talebi karşılamak için geleneksel bir yedek kazan sağlanabilmektedir (Goldstein 2012).



**Şekil 3.6:** İki Ana Tip Bölge Isıtma Sistemi: Üst, Açık Döngü (Tek Boru Sistemi), Alt, Kapalı Döngü (Çift Boru Sistemi) (Goldstein, 2012)

Jeotermal enerjinin direkt kullanımına bir diğerk örnek ise jeotermal ısı pompalarıdır (aynı zamanda “Yer Tabanlı Isı Pompası - GSHP” olarak da tanımlanmaktadır). Jeotermal ısı pompaları iklimlendirme (hem ısıtma hem soğutma) ve kullanım amaçlı sıcak su elde etmek için kullanılmaktadırlar. Yeraltından temin edilen -5 ve 10 °C sıcaklığı, 35-55 °C ye kadar ısı sağlayabilmektedirler. Yazın soğutma, kışın ısıtma amaçlı olarak kullanılabilirler (Çetin, 2014).



**Şekil 3.7:** Jeotermal Isı Pompasının Soğutma ve Isıtma Amaçlı Kullanımı ve Çeşitli Tesisat Konfigürasyonları (Duffield, 2003)

### 3.4. JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİ

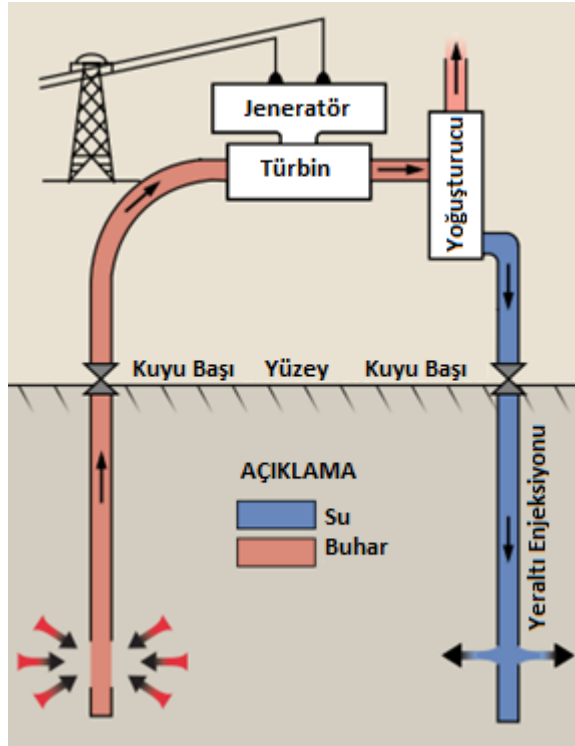
Jeotermal enerji kullanarak elektrik üretmek, jeotermal enerjinin doğrudan kullanımından biraz daha karışık sistem gerektirmektedir. Basit mantıkta jeotermal kaynağı (sıcak sıvı ve/veya buhar) kullanarak türbini hareket ettirerek elektrik üretilmektedir.

Jeotermal enerjiden elektrik üretebilen santralleri sınıflandırılabilir için çevrimde kullanılan akışkana göre dört başlık altında yapabiliriz:

1. Kuru buhar enerji santralleri
2. Flaşlı (tek/çift) buhar enerji santralleri
3. Binary santralleri (ORC/Kalina)
4. Diğerleri: birleştirilmiş (kombine edilmiş) ve hibrid enerji santralleri (Moret, 2015).

### 3.4.1. Kuru Buhar Enerji Santralleri

Kuru buhar kullanan enerji santrallerinin sistemleri en eski ve en basit konfigürasyonlardır. Türbinin hareket etmesi için gereken basınçlı buhar elde etmek için sistem öncesine herhangi bir yoğuşturucu ve/veya ayırıcı kurulması gerekmemektedir. Kuru jeotermal buhar direk olarak türbinde kullanılmaktadır. Kondensörden (yoğuşturucudan) çıkan atık su tekrar geri beslenerek hidrotermal sistemin kullanım ömrünü uzatmaktadır. Küresel olarak %27 kurulu kapasitesi bulunmaktadır (Moret, 2015).



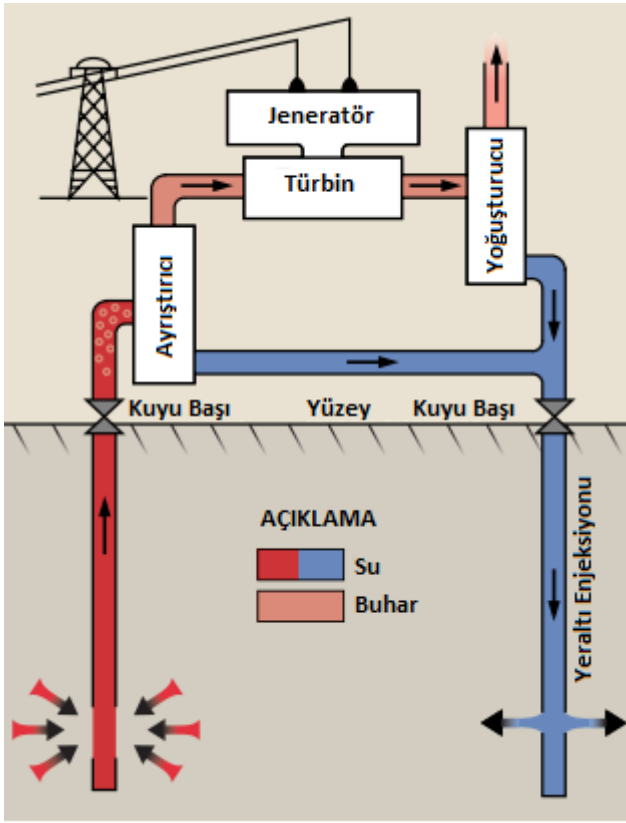
Şekil 3.8: Kuru Buhar Enerji Santrali (Duffield, 2003)

Kuru buhar kullanan enerji santralleri basitliği ve etkinliği nedeniyle elektrik üretimi için en çok arzulanan sistemdir. Kuru buhar kaynağına aynı zamanda buhar bazlı kaynaklar da denilmektedir. Dünyanın en büyük kuru buhar enerji santrali (buhar bazlı) kuzey Kaliforniya'daki Gayzerlerdedir (Duffield, 2003).

Kuru buhar santralleri, ABD'de kurulu olan jeotermal kapasitenin yaklaşık %50'sini oluşturmaktadır ve çoğunluğu Kaliforniya'da bulunmaktadır (Blodgett, 2014).

### 3.4.2. Flaşlı (Tek/Çift) Buhar Enerji Santralleri

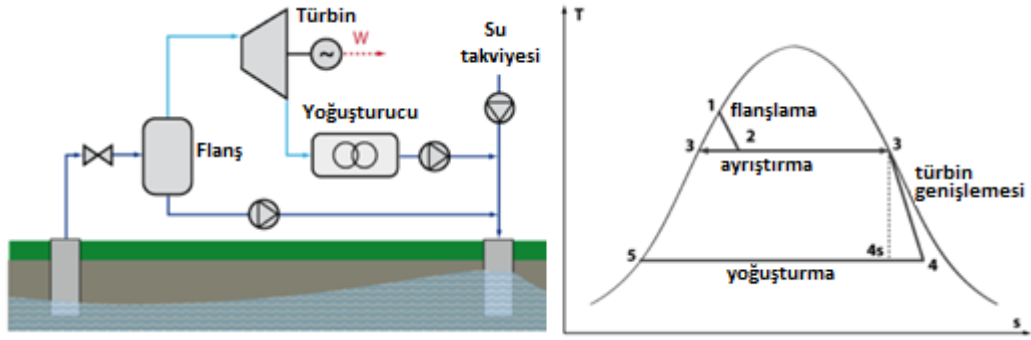
Flaşlı santraller, konvektif (hidrotermal) kaynaklarda genellikle kullanılan santrallerdir. Bu konvektif kaynaklarda sıvı ve buhar karışık bulunmakla beraber sıvının yoğunluğu daha fazla gözükmektedir. Bu tarz sıvı yoğunluklu jeotermal kaynaklarda buhar ile sıvıyı ayırmak için flaş kullanılmaktadır. Kullanılan flaş sayısına göre tek ve çift flaşlı santraller olarak ikiye ayrılmaktadırlar. Küresel olarak %43 tek flaşlı, %17 çift flaşlı kapasitesi bulunmaktadır (Moret, 2015).



Şekil 3.9: Flaşlı Buhar Enerji Santrali (Duffield, 2003)

#### 3.4.2.1. Tek Flaşlı Buhar Enerji Santralleri

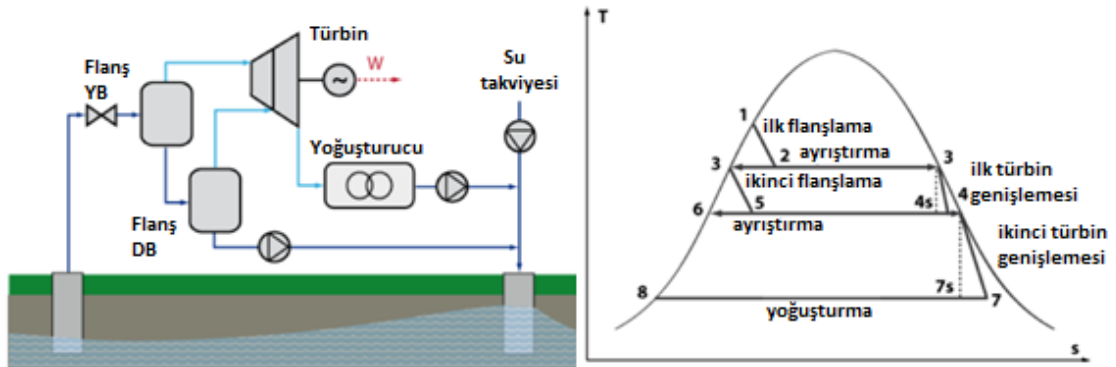
Tek flaşlı buhar enerji santralleri temel olarak kaynaktan gelen sıvı - buhar karışık akışkanı flaştan geçirerek ayırır ve buhar türbine iletir. Genellikle sıcaklığın yüksek olduğu (150°C'nin üzerinde) yerlerde daha verimli ve ekonomiktir (Küçükkaya, 2017).



Şekil 3.10: Tek Flaşlı Buhar Enerji Sanrali Çalışma Şeması (Moret, 2015)

### 3.4.2.2. Çift Flaşlı Buhar Enerji Santralleri

Tek flaşlı santral ile aynı teknik alt yapıya sahiptir. Kaynak sıcaklığını düşük olduğu yerlerde tercih edilmektedir. Düşük basınçta ikinci flaş buharın miktarını artırmaktadır. Santralin verimi tek flaşlıya göre %15 - 20 daha fazladır. Tek flaşlı enerji santraline ilave olarak ilk flaştan ayrılan sıcak su bu sefer ikini flaşta tekrar ayrıştırılmaktadır ve elde edilen buhar ilk flaştan gelen buhar ile toplanarak türbine gönderilmektedir (Küçükkaya, 2017).



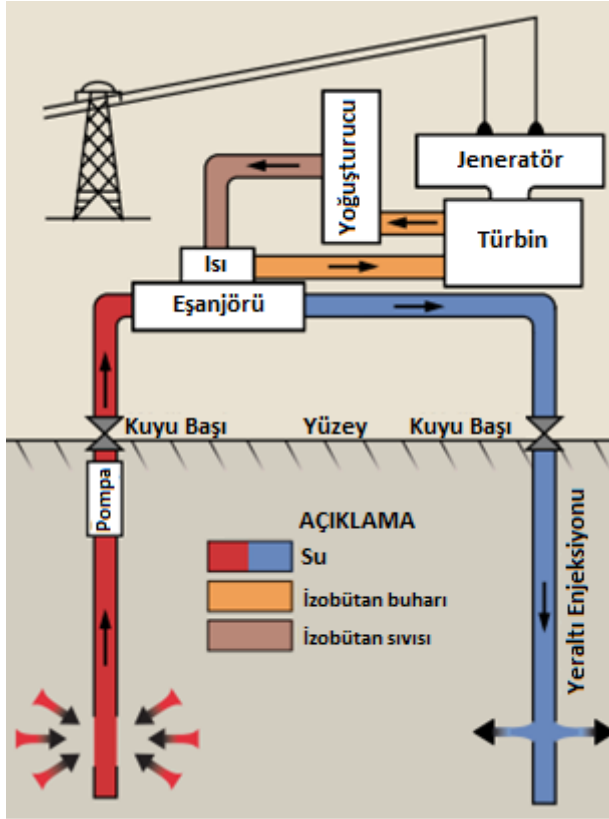
Şekil 3.11: Çift Flaşlı Buhar Enerji Santrali Çalışma Şeması (Moret, 2015)

### 3.4.3. Binary Enerji Santralleri

Jeotermal akışkanın düşük sıcaklık veya kalitesinden dolayı flaş kullanılmadığı durumlarda kullanılmaktadır. Jeotermal akışkan ile çevrime girecek ikinci bir akışkan kullanılmaktadır. İkinci akışkan jeotermal akışkan tarafından kaynatılmaktadır ve buharı



türbine gönderilmektedir (Moret, 2015). Binary tipi santrallerden, kaynak sıcaklığının 100 - 200°C arasında olduğu bölgelerde olumlu sonuçlar alınmaktadır (Küçükaya, 2017).



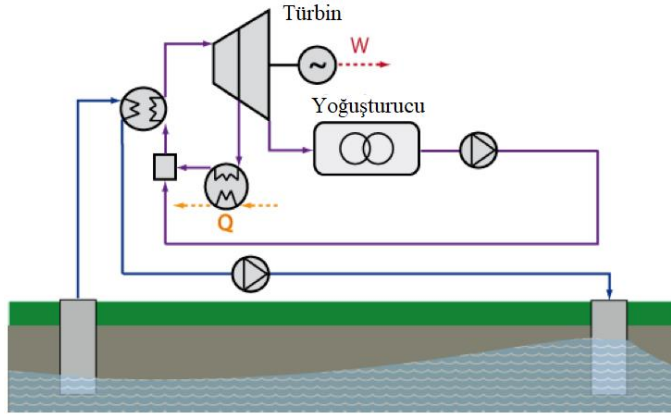
Şekil 3.12: Binary Enerji Santrali (Duffield, 2003)

Binary tipi santraller ORC (Organik Rankine Çevrimi) ve Kalina Çevrimi olarak ikiye ayrılmaktadır.

#### 3.4.3.1. ORC (Organik Rankine Çevrimi)

Genellikle küçük ölçekli (3MW) enerji üretim santralleridir. Jeotermal akışkan ile ısı alışverişini gerçekleştirecek organik çalışma akışkanı kullanılmaktadır. Verimliliği artırmak için reküperatör içerebilmektedir. Flaşlı sistemlere göre daha kolay bakım imkânı sağlamaktadır. Atmosferik basıncın üzerinde yoğuşma olmaktadır, yani hava girişi riski yoktur. Çalışma akışkanı seçilirken; akışkanın termodinamik özelliklerine ve

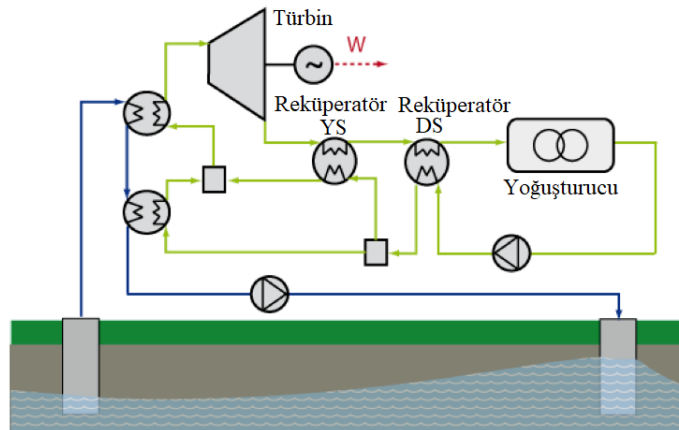
doygunluk eğrisinden yararlanılmaktadır. Hem yüksek hem de düşük sıcaklıkta bölgesel ısıtma şebekeleri için kojenerasyon mümkündür.



Şekil 3.13: Binary ORC Enerji Santrali Çalışma Şeması (Moret, 2015)

### 3.4.3.2. Kalina Çevrimi

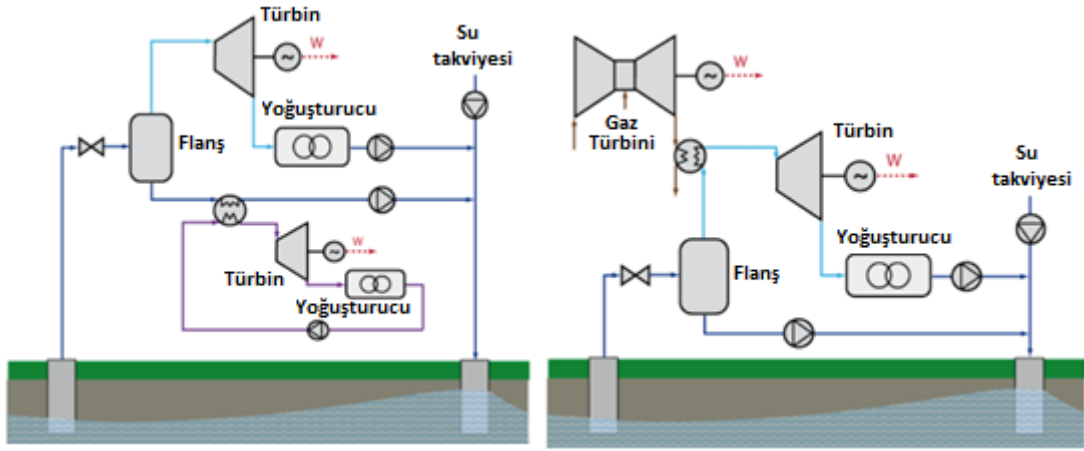
Çalışma akışkanı farklıdır,  $H_2O/NH_3$  karışımları kullanılmaktadır. Akışkan ORC aksine yanıcı değildir, daha iyi bilinmektedir, ancak amonyak toksisitesi yüksektir. Teorik verimliliği ORC santrallerden % 30 daha yüksektir. Bunun temel sebebi sıvı karışımları sabit sıcaklık basınçlarında fazı değiştirmez yani daha az ekserji kaybı olmaktadır. Anahtar parametreleri; basınç, bölme faktörleri ve  $NH_3$  konsantrasyonudur. Kojenerasyon için kullanılabilir.



Şekil 3.14: Binary Kalina Enerji Santrali Çalışma Şeması (Moret, 2015)

### 3.4.4. Diğerleri: Birleştirilmiş (Kombine Edilmiş) ve Hibrit Enerji Santralleri

Birleştirilmiş (flaş – binary) santraller iki tip çevrimin birleştirilmesi ile etkinliği artırılması amaçlanmaktadır. Ancak sistemler ne kadar karmaşık olursa yatırım maliyetleri de bir o kadar yükselecektir. Hibrit santraller ise başka bir kaynak ile birleşimden oluşmaktadır. Jeotermal ısı konvansiyonel santrali ön ısıtma için kullanılabilir ya da konvansiyonel santralin egzoz gazlarından jeotermal santral için süper ısıtma sağlanabilmektedir (Moret, 2015).



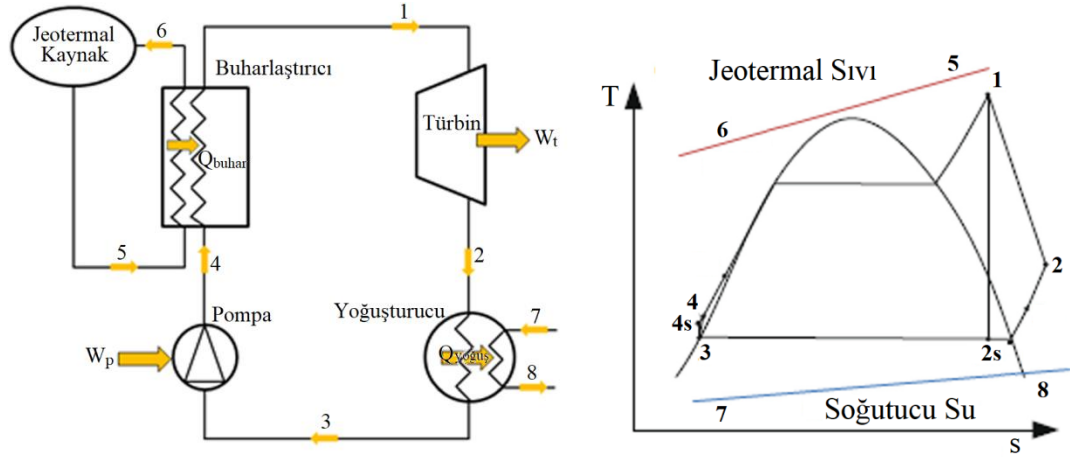
Şekil 3.15: Birleştirilmiş (Kombine Edilmiş) ve Hibrit Enerji Santralleri Çalışma Şeması (Moret, 2015)

Hawaii’de ki Puna flaş / binary kombine edilmiş sistemi hem flaş hem de binary jeotermal teknolojilerini optimize etmekte olan güzel bir örnektir. Jeotermal akışkan bir ayrıştırıcıda buhar ve sıvı karışımına püskürtülür. Buhar, bir flaş buhar santralindeki gibi bir türbine beslenir ve ayrılan sıvı, bir binary santrali çevrim üreticine verilmektedir (Blodgett, 2014).

### 3.5. JEOTERMAL SANTRALLERİN TERMODİNAMİK FORMÜLLERİ

En etkili ve verimli santral seçiminde en büyük etken jeotermal kaynağın kendisidir. Yani jeotermal kaynağın sıcaklığı, akışkan tipi vb. Dünyada ve Türkiye’de en çok kullanılan santral tipi Binary – ORC santral tipidir. Bu sebepten dolayı ORC santrali

için genel termodinamik denklemlerinin ve ekserji denklemlerinin çıkartılması faydalı olacaktır.



Şekil 3.16: Örnek Binary ORC Enerji Santrali Çalışma Şeması

### 3.5.1. Organik Rankine Çevriminin Termodinamik Analizi

Organik rankine çevriminin termodinamik analizini yapabilmek için, çevrimdeki her bir elemanın (Şekil 3.16) performansını tahmin etmek ve çevrimin termal verimliliğini tespit etmek için termodinamiğin birinci kanunu kullanılmıştır (Çengel, 2006).

**Türbin;** Türbinin 1 ve 2s noktaları arasında izentropik genişleme meydana geldiğinden;

$$Q_{12s} = 0, s_1 = s_2 \quad (1)$$

Türbin için uygulanırsa;

$$Q_{12s} - \dot{W}_{T12s} = H_{2s} - H_1 = \dot{m}_{soğ} \cdot (h_{2s} - h_1) \quad (2)$$

İzentropik türbin işi 2. denklemin sadeleştirilmesi sayesinde hesaplanabilir

$$\dot{W}_{T12s} = \dot{m}_{soğ} \cdot (h_1 - h_{2s}) \quad (3)$$

Bu denklemde  $\dot{m}_{soğ}$ ; sistemde kullanılan soğutucu sıvı miktarıdır ve aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir

$$\dot{m}_{soğ} = \dot{W}_{T12s} / (h_1 - h_{2s}) \quad (4)$$

1'den 2'ye kadar türbin egzozundaki gerçek türbin işi ve gerçek entalpi değeri aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir

$$\eta_{tür,izen} = \dot{W}_{T12} / \dot{W}_{T12s} = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_{2s}) \quad (5)$$

Bu denklemde;  $\dot{W}_{T12s}$ , izentropik türbin işi anlamına gelmektedir,  $\dot{W}_{T12}$  gerçek türbin işi anlamına gelmektedir, ve  $\eta_{tür,izen}$  ise türbinin izentropik verimliliği anlamına gelmektedir.

**Yoğuşutucu;** 2 ile 3 arasında ısı yoğuşurucudan sabit basınç ile çıkmaktadır ve bu süre zarfında herhangi bir iş değişimi bulunmamaktadır.

$$W_{23} = 0 \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{Q}_{23} = \dot{m}_{soğ} \cdot (h_2 - h_3) \quad (7)$$

Yoğuşurucudan reddedilen ısı, termik santrallerdeki soğutma suyuna verilir. Böylece; yoğuşma işlemi için gerekli soğutma suyu miktarı aşağıdaki denklemlerle hesaplanır:

$$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{m}_c \cdot C_p (T_g - T_ç) \quad (8)$$

Bu denklemde;  $\dot{m}_c$  soğutma suyu miktarı anlamına gelir,  $T_g$  ve  $T_ç$  soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklıkları anlamına gelir.  $C_p$  soğutma suyunun özgül ısısı anlamına gelir.

**Pompa;** 3 ve 4s arasında, pompada izentropik sıkıştırma meydana gelmektedir. Pompada kullanılan sıvı sıkıştırılmaz bir sıvı olarak kabul edilir ( $v_3 = v_{4s} = \text{sabit}$ ) ve pompanın spesifik işi (çalışma sıvısının birim kütle için sıkıştırmak için gerekli iş) aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir

$$w_{p34s} = \int v dP = v_3 (P_4 - P_3) = h_{4s} - h_3 \quad (9)$$

Bu ifadede olduğu gibi, sıvının özgül hacmi ve pompanın giriş-çıkış basınçları bilinmektedir, pompanın özel çalışması kolayca bulunabilir. Ayrıca denklem 9'un kullanılmasıyla, spesifik pompa işi bulunur ve pompanın çıkışındaki sıvının entalpisi aşağıdaki denklemle hesaplanabilir

$$h_{4s} = v_3 (P_4 - P_3) + h_3 \quad (10)$$

3 ve 4 arasındaki gerçek pompa işi ve pompanın çıkışındaki entalpi değeri aşağıdaki denklemle hesaplanabilir

$$\eta_{p,izen} = \dot{W}_{P34s} / \dot{W}_{P34} = (h_{4s} - h_3) / (h_4 - h_3) \quad (11)$$

Bu denklemde;  $\dot{W}_{P34s}$  izentropik pompa işidir,  $\dot{W}_{P34}$  gerçek pompa işidir ve  $\eta_{p,izen}$  pompanın izentropik verimliliğidir.

**Buharlaştırıcı;** 4 ve 1 arasında, jeotermal kaynak organik basınca sabit basınçta ısı vermek için kullanılmaktadır. Buharlaştırıcıya verilen ısı miktarı aşağıdaki denklemle hesaplanabilir

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{Q}_{41} = \dot{m}_{soğ} \cdot (h_1 - h_4) \quad (12)$$

Buharlaştırıcıya sıcak kaynaktan gelen ısı miktarı aşağıdaki denklemle hesaplanabilir

$$\dot{Q}_{buh} = \dot{m}_{jeo} \cdot C_{Pjeo} \Delta T \quad (13)$$

Bu denklemde;  $\dot{m}_{jeo}$  jeotermal kaynak akış hızıdır,  $\Delta T$  ise sıcak kaynak ve çevresi arasındaki sıcaklık farkıdır

**Çevrimin Termal Verimliliği;** Çevrimi oluşturan elemanların termal hesaplamaları yapılırken, çevrimin termal verimliliği aşağıdaki denklemle hesaplanabilir

$$\eta_{t,termal} = \dot{W}_{net} / \dot{Q}_{buh} = (\dot{W}_{T12} - | \dot{W}_{P34} |) / \dot{Q}_{buh} \quad (14)$$

### 3.5.2. Organik Rankine Çevriminin Ekserji Analizi

Çevrimdeki her nokta için spesifik ekserji  $e_i$  olarak gösterilebilir,

$$e_i = h_i - h_0 - [T_0 (s_i - s_0)] \quad (15)$$

Burada  $T_0$ , ekserji hesaplamaları için ölü durum sıcaklığını temsil eder,  $h_0$  ve  $s_0$ , sırasıyla ölü durum koşullarında (basınç ve sıcaklıkta) işletim akışkanının entalpisi ve entropisi anlamına gelir. Çevrimdeki her nokta için, ekserji  $E_i$  denklemi ile hesaplanabilir

$$E_i = \dot{m}_i \cdot e_i \quad (16)$$

Bu denklemde,  $\dot{m}_i$  için, çevrimdeki noktalar (1, 2, 3, 4) için soğutucu akış hızı  $\dot{m}_{soğ}$  kullanılabilir ve jeotermal kaynak akışı jeotermal kaynak giriş ve çıkış noktaları (5, 6) için  $\dot{m}_{jeo}$  kullanılabilir. Çevrimdeki her işlem için enerji dengesi,

$$\sum E_{giriş} - \sum E_{çıkış} = I \quad (17)$$

**Türbin;** Türbin içindeki 1 ile 2 arasındaki ekserji tahribatı

$$I_T = E_1 - (E_2 + \dot{W}_T) \quad (18)$$

Bu denklemde  $\dot{W}_T$ , türbinden elde edilen iştir.  $\dot{W}_T$  olarak termodinamik denklemin birinci yasası kullanılarak hesaplanabilir,

$$\dot{W}_T = \dot{m}_{soğ} (h_1 - h_2) \quad (19)$$

Burada  $h_1$  ve  $h_2$ , sırasıyla türbinin giriş ve çıkışındaki entalpi değerleridir. Türbinin ekserji verimliliği,  $\eta_{eks,t}$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir

$$\eta_{eks,t} = \dot{W}_T / (E_1 - E_2) \quad (20)$$

**Yoğuşturucu;** Yoğuşturucu da 2 ile 3 arasındaki ekserji tahribatı

$$I_{yoğ} = T_0 [\dot{m}_{soğ} (s_2 - s_3) + (\dot{Q}_{yoğ} / T_{yoğ})] \quad (21)$$

Bu denklemde  $\dot{Q}_{yoğ}$ , yoğuşturucudan reddedilen ısıdır ve termodinamiğin birinci kanun denklemlerini  $\dot{Q}_{yoğ}$  olarak kullanarak hesaplanabilir

$$\dot{Q}_{yoğ} = \dot{m}_{soğ} (h_2 - h_3) \quad (22)$$

Yoğuşturucunun ekserji verimliliği,  $\eta_{eks,yoğ}$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir,

$$\eta_{eks,yoğ} = 1 - [I_{yoğ} / (E_2 - E_3)] \quad (23)$$

**Pompa;** Pompada 3 ile 4 arasındaki ekserji tahribatı,

$$I_P = (E_3 + \dot{W}_P) - E_4 \quad (24)$$

Bu denklemde  $\dot{W}_P$ , pompadaki çalışan soğutucuyu sıkıştırmak için gerekli işittir. Termodinamiğin birinci kanun denklemlerini  $\dot{W}_P$  olarak kullanarak hesaplanabilir.

$$\dot{W}_P = \dot{m}_{soğ} (h_4 - h_3) \quad (25)$$

Bu denklemde  $h_3$  ve  $h_4$ , pompanın giriş ve çıkışındaki entalpi değerleridir. Pompadaki ekserji verimliliği,  $\eta_{eks,P}$  aşağıdaki denklem kullanılarak hesaplanabilir

$$\eta_{eks,P} = (E_4 - E_3) / \dot{W}_P \quad (26)$$

**Buharlaştırıcı;** Buharlaştırıcıda 4 ile 1 arasında ekserji tahribatı,



$$I_{\text{buh}} = (E_4 + E_5) - (E_1 + E_6) \quad (27)$$

Burada sırasıyla jeotermal kaynağın giriş ve çıkış noktaları için 5 ve 6 noktaları belirtilmiştir.  $E_5$  ve  $E_6$  bu noktalardaki ekserjilerdir. Evaporatördeki ekserji verimliliği,  $\eta_{\text{eks,buh}}$  eşitliği kullanılarak hesaplanır,

$$\eta_{\text{eks,buh}} = (E_1 - E_4) / (E_5 - E_6) \quad (28)$$

**Çevrimin Ekserji Verimliliği;** Termodinamiğin ikinci yasa denklemleri kullanılarak, döngünün ekserji verimliliği şöyle gösterilir:

$$\eta_{\text{eks,çevrim}} = (\dot{W}_T - |\dot{W}_P|) / (E_5 - E_6) \quad (29)$$

## **4. JEOTERMAL ENERJİNİN POTANSİYELİ**

### **4.1. JEOTERMAL ENERJİNİN KISA TARİHÇESİ**

Volkanlar, kaplıcalar ve benzeri termal aktiviteler geçmişte insanların yerkürenin sıcak olduğuna dair fikirler vermişti. Ancak 16. – 17. yüzyıla kadar bilimsel bir çalışma yapılmadı. İlk bilimsel çalışmalar 16. – 17. yüzyılda küçük maden çalışmaları için yapılan kazılarda, derine gidildikçe sıcaklığın arttığı hissedilmiştir. 1740 yılında De Gensanne tarafından termometre ile ilk (büyük olasılıkla) sıcaklık ölçümü Fransa, Belfort yakınlarındaki madende gerçekleştirilmiştir (Dickson 2004).

Jeotermal buhar, ilkel gaz asansörlerinde ve daha sonra pistonlu ve santrifüj pompalarda ve vinçlerde sıvıları yükseltmek için kullanıldı; bunların hepsi sondajda ya da yerel borik asit endüstrisinde kullanılmıştır. 1850-1875 yılları arasında İtalya, Larderello'daki fabrika, borik asit üretimi ile Avrupa'da tekel olmuştur. 1910 ve 1940 arasında İtalya, Toskana bölgesindeki basınçlı buhar, endüstriyel ve konut binalarını ve seraları ısıtmak için kullanılmıştır (Dickson 2004).

1892 yılında ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi Boho, Idaho (ABD) 'de faaliyete geçmiştir. Jeotermal enerjinin kullanımında bir öncü olan 1928'de İzlanda, jeotermal sıvılarını (özellikle sıcak suları) evsel ısınma amacıyla da kullanmaya başlamıştır (Dickson 2004).

20. yüzyılın başlarına kadar jeotermal enerjinin kullanımı doğrudan kullanıma yönelik olmuştur. 1904 yılında jeotermal enerjiden (sıcak buhar) elektrik üretilmeye çalışılmıştır. İtalya, Larderello'da Prens Piero Ginori Conti tarafından kuru buhar tesisi ile jeotermal enerjiden elektrik üretmeyi başarmıştır. Bu deneyin başarısı, jeotermal enerjinin endüstriyel değerinin açık bir göstergesi olarak sunulmuştur (Dickson 2004).

Larderello'da elektrik üretimi ticari bir başarı olarak kaydedilmiştir. 1942'de kurulu jeotermal elektrik kapasite 127.650 kWe'ye ulaşmıştı. 1919'da Japonya'daki ilk jeotermal kuyular Beppu'da, ardından 1921'de The Geysers, Kaliforniya, ABD'de açılan kuyularla açılmıştır. 1958'de Yeni Zelanda'da küçük bir jeotermal enerji santrali

çalışmaya başlamıştır, 1959'da bir başkası Meksika'da, 1960'ta ABD'de, bunu izleyen yıllarda birçok ülke daha katılmıştır (Dickson 2004).



**Şekil 4.1:** İlk Jeotermal Güç Santrali, 1904, Larderello, İtalya. Jeotermal Buhardan Elektrik Enerjisi Üretme Denemesinde Kullanılan Motor, Mucit Prens Piero Ginori Conti İle Birlikte

#### **4.2. DÜNYADA JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ**

İlk bölümde bahsedildiği gibi dünyada insanlar hayatlarını sürdürebilmek için farklı enerji türlerini kullanmaktadırlar. Başlıca fosil yakıtların kullanmasıyla beraber yeni ve alternatif enerji arayışını devam ettirilmektedir. Bu enerji kaynaklarının kullanımındaki değişim tercihi sebeplerini kısaca sıralamak gerekirse;

- Tüketimi hala çok yüksek olan enerji kaynaklarının ilerleyen yıllarda tükenecek olması,

- Sürekli artan nüfus ve ekonomik büyüme ve bunlarla beraber oluşan enerji ihtiyacı,
- Salınan sera gazlarının çevreye ve iklimlere etkisinin gözlemlenecek kadar büyük olması,
- Artan enerji tüketim maliyetleri,

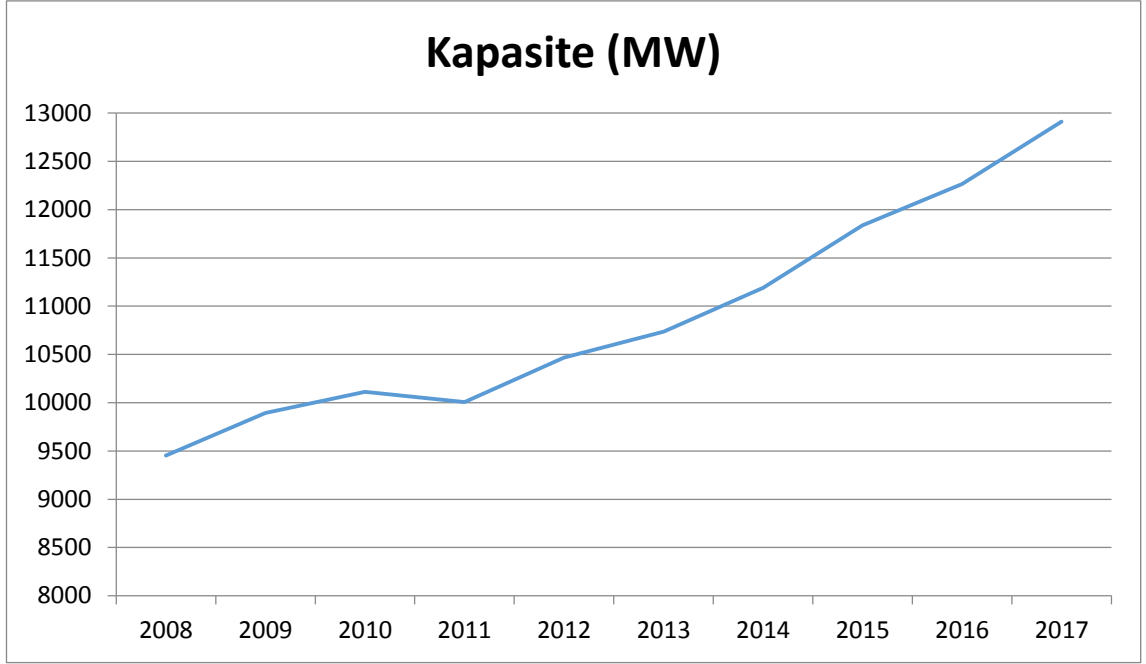
Olarak sıralanabilmektedir.

Dünya'nın iç kısmı, yeryüzüne doğru oldukça çok miktarda ısı/sıcaklık sağlamaktadır. Günümüze kadar yapılan çalışmalar, jeotermal kaynakların elektrik potansiyelinin mevcut kuşağın 10 ila 100 katı olduğunu göstermektedir. Direkt/Doğrudan kullanım potansiyeli mevcut kullanıma benzer katlara sahip olmaktadır. Jeotermal enerji potansiyelinin tamamını tahmin etmek zor olsa da, sektörel fikir birliğiyle, büyümenin önümüzdeki yarım yüzyıl boyunca kısıtlı kaynak olmayacağı yönündedir. Bu sebepten dolayı "Jeotermal Enerji" yenilenebilir enerji kaynakları arasında güçlü bir potansiyele sahiptir (WEC, 2016).

#### **4.2.1. Genel Durum**

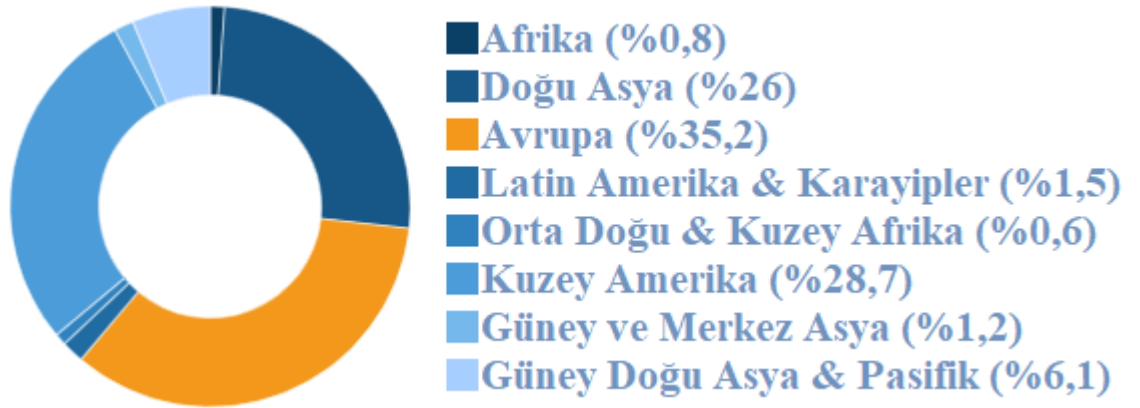
Dünyanın doğal ısı rezervleri çok büyüktür. Kıtasal kabuk içinde 3 km'ye kadar tahmin edilen depolanmış termal enerji, kabaca  $43 \times 10^6$  EJ'dir ki bu, dünyanın toplam birincil enerji tüketiminden (2018 yılında 630 EJ) oldukça fazladır (WEC, 2016).

Her ne kadar jeotermal enerji kullanımı diğer enerji türleri kullanımı bakımından çok düşük bir yüzdeye sahip olsa da 2016 yenilenebilir enerji istatistiklerine bakarsak jeotermal enerji kapasitesi ve üretimi yaklaşık 9k MW'den 12kMW'ye kadar yükselmiştir (WEC, 2016).



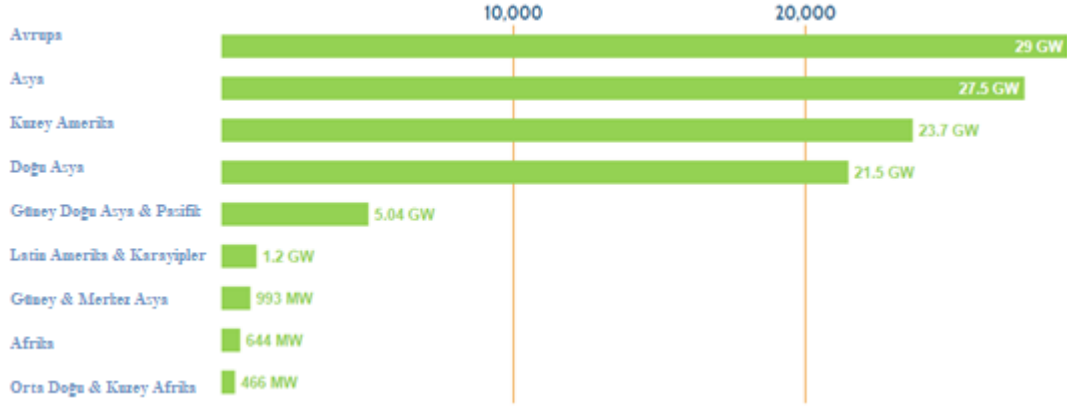
**Şekil 4.2:** Jeotermal Enerji Kullanımı (Milyon ABD \$) (WEC 2018)

Tüm dünyanın Jeotermal enerji potansiyeline genel bir bakış yapmak istersek, Türkiye'nin de içinde bulunduğu Avrupa bölgesi yüzde 35,2'lik kapasite ile en yüksek potansiyele sahip bir konumdadır (Şekil 4.3) (WEC, 2016).



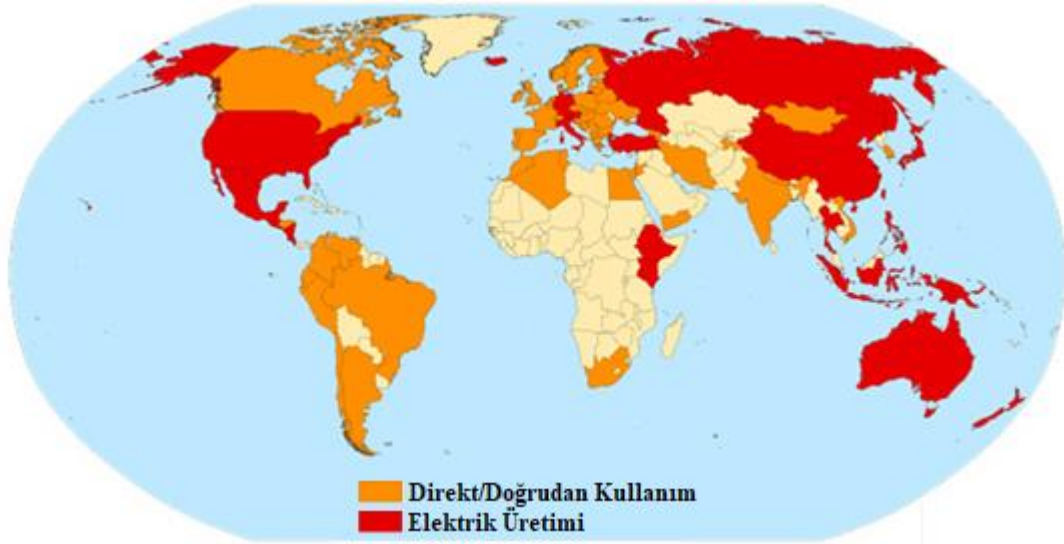
**Şekil 4.3:** Bölgelere Göre Jeotermal Kapasite (Yüzde Olarak) (WEC, 2018)

Tüm dünyadaki jeotermal enerji santrallerinin (tesislerinin) toplam kapasitenin 83,4 GW (GigaWatt) olduğu göz önünde bulundurulursa Avrupa 29 GW ile tüm bölgelerin önüne geçmektedir (Şekil 4.4).



**Şekil 4.4:** Bölgelere Göre Jeotermal Kapasite (GW)

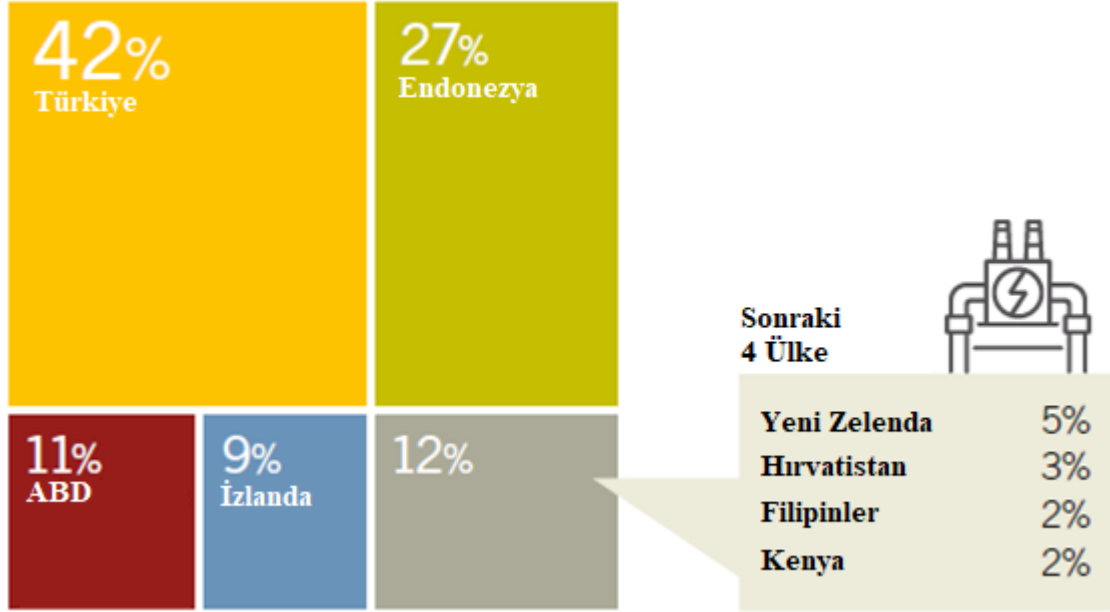
Dünyada jeotermal enerjiden doğrudan yararlanabilen 78 ülke bulunmaktadır. Dünya jeotermal doğrudan kullanım gücü 2010 yılı verilerine göre 50.583 MWt olmuştur. 2005 yılına göre artış oranı %78,9'dur. Yıllık jeotermal enerji kullanımı ise 2010 yılı itibariyle 121.696 GWh'a ulaşmıştır. 2005 yılına göre artış ise % 60,2 olmuştur (WEC, 2016).



**Şekil 4.5:** Ülkelere Göre Jeotermal Enerjiyi Direk Kullanan Ülkeler ve Jeotermalden Güç (Elektrik) Üreten Ülkelerin Gösterimi

Tahmini olarak 0,5 GW yeni jeotermal enerji üretme kapasitesi 2018'de çevrimiçi hale gelmiştir ve bu da küresel toplamı 13,3 GW'a çıkarılmıştır. Türkiye ve Endonezya yeni

tesislerde lider olmuştur ve kurulan yeni kapasitenin yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır. 2018’de kapasite ekleyen diğer ülkeler (ölçek sırasına göre sıralanmıştır) Amerika Birleşik Devletleri, İzlanda, Yeni Zelanda, Hırvatistan, Filipinler ve Kenya (REN21, 2019).



**Şekil 4.6:** 2018 Yılı Ülkelerin Jeotermal Enerji Kapasitesi Küresel Katkılarının Oranı (REN21, 2019)

Jeotermal enerjiyi kullanarak elektrik üretiminde lider olan ilk beş ülke;

1. ABD
2. Filipinler
3. Endonezya
4. Türkiye
5. Yeni Zelanda

Elektrik üretimi dışında kullanıma bakacak olursak toplam güç 70.329 MWt olup, dünyada direkt kullanım uygulamalarında ki lider ilk beş ülke;

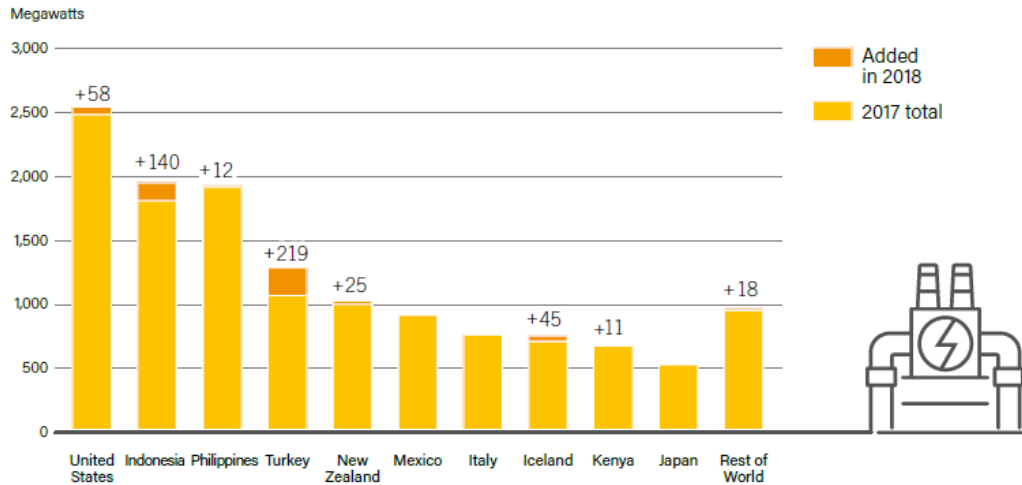
1. ABD
2. Çin

3. İsveç
4. Bela Rus
5. Norveç

#### Dünyanın En Büyük Jeotermal Enerji Santralleri

1. The Geysers Jeotermal Santrali: ABD - Kaliforniya / toplam kurulu gücü 1.517MW
2. Larderello Jeotermal Santrali: İtalya – Toscana / toplam kurulu gücü 769MW
3. Cerro Prieto Jeotermal Santrali: Meksika / toplam kurulu gücü 720MW
4. Makban Jeotermal Santrali: Filipinler / toplam kurulu gücü 458MW
5. CalEnergy Generation's Salton Sea Jeotermal Santrali: ABD - Kaliforniya / toplam kurulu gücü 340MW

2018 yılı sonunda jeotermal enerji üretim kapasitesinin en fazla olduğu ülkeler ABD, Endonezya, Filipinler, Türkiye, Yeni Zelanda, Meksika, İtalya, İzlanda, Kenya ve Japonya (REN21, 2019).



**Şekil 4.7:** Jeotermal Enerji Kapasitesi ve İlaveleri, İlk 10 Ülke ve Dünyanın Geri Kalanı, 2018



Çizelge 4.1’de Jeotermal enerjiden en iyi faydalanabilen en iyi 10 ülkenin sıralaması gösterilmektedir.

**Çizelge 4.1:** Küresel Jeotermal Güç Kapasitesi ve Eklentileri, En iyi 10 Ülke, 2018 (REN21, 2019)

Ülkeler	2018 Eklenti (MW)	2018 Sonu Toplam GW
<b>Eklentilere göre En iyi Ülkeler</b>		
<b>Türkiye</b>	219	1,28
<b>Endonezya</b>	140	1,95
<b>ABD</b>	58	2,54
<b>İzlanda</b>	45	0,75
<b>Yeni Zelenda</b>	25	1,03
<b>Hırvatistan</b>	18	0,02
<b>Filipinler</b>	12	1,93
<b>Kenya</b>	11	0,68
<b>Toplam Kapasiteye göre En İyi Ülkeler</b>		
<b>ABD</b>	58	2,54
<b>Endonezya</b>	140	1,95
<b>Filipinler</b>	12	1,93
<b>Türkiye</b>	219	1,28
<b>Yeni Zelenda</b>	25	1,03
<b>Meksika</b>	-	0,92
<b>İtalya</b>	-	0,76
<b>İzlanda</b>	45	0,75
<b>Kenya</b>	11	0,68
<b>Japonya</b>	-	0,53
<b>Toplam</b>	<b>527</b>	<b>13,3</b>

#### 4.2.2. Jeotermal Enerji Piyasası

Jeotermal elektrik üretiminin %70’inden fazlası sadece 20 firma tarafından kontrol edilmektedir (Çizelge 4.2). İlginçtir ki, Calpine, Chevron, BH Energy (resmen Cal

Energy) ve CFE gibi üst düzey firmaların birçoğu 2010'dan beri mevcut varlıklarını korumuştur. Yeni kapasite geliştirmede aktif olan firmalar Ormat, Mighty River Power ve Pertamina Jeotermal Enerji'dir. Buna ek olarak, GEODESA (Meksika) ve Zorlu Enerji (Türkiye) gibi yeni katılımcılar yeni kapasitenin önemli bir bölümünü geliştirmektedirler (WEC, 2016).

Piyasa riskini yönetmek için ortak girişim ortaklıkları veya konsorsiyumları lehine dönmüştür. PT Supreme (Endonezya), Maibarara (Filipinler), Sarulla Operations Ltd. (Endonezya) ve Tawau Yeşil Enerji (Malezya) yakın zamanda kurulmuştur ve günümüzde bazı projeler yürütmekte ve geliştirmektedirler. Yeni katılan firmalara, daha geniş bir yenilenebilir enerji portföyünün bir parçası olarak yalnızca jeotermal projeleri işletmekle ilgilenen Enerji Sermayesi Ortakları (ABD) gibi pasif yatırımcılar da dâhil olmaktadır (WEC 2016).

2018 yılında jeotermal sektöründeki küresel yatırım tahmini 2,2 milyar ABD doları olarak gerçekleşmiştir. Bu, büyük hidroelektrik projeleri hariç olmak üzere, yıl boyunca tüm yenilenebilir enerji yatırımlarının çok küçük bir kısmını (% 1'den az) temsil etmektedir (REN21, 2019)

Çizelge 4.3'te Ülkelerin önümüzdeki yıllar için koymuş olduğu jeotermal enerji kullanım hedefleri gösterilmektedir. Türkiye'de 2023'e kadar 1 GW ye ulaşmayı hedeflemektedir.

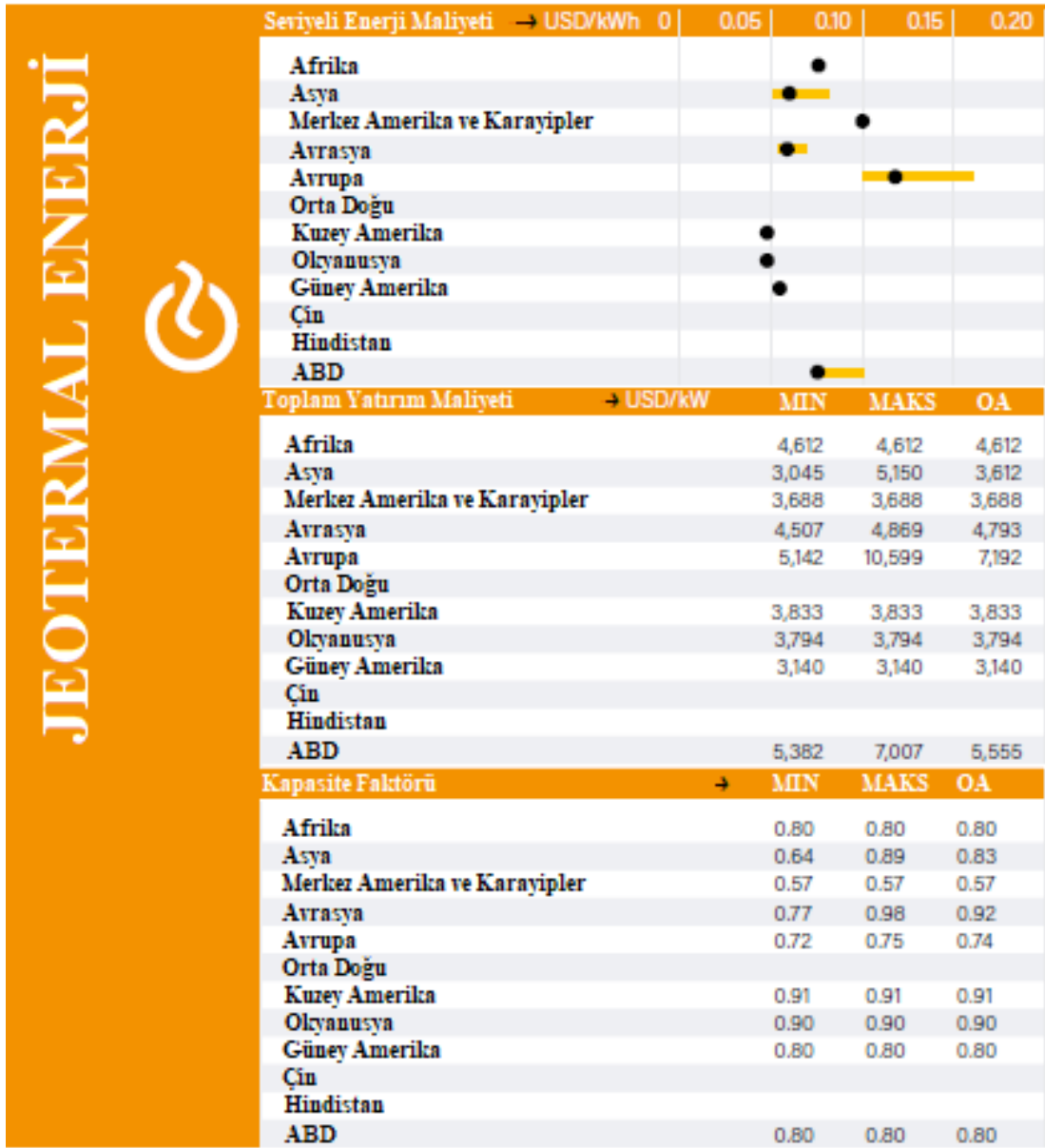
**Çizelge 4.2:** En Büyük Jeotermal Saha/Tesis Üreticileri (WEC, 2016)

<b>Firma</b>	<b>Ülke</b>	<b>Sınıf</b>	<b>Kapasite (MWe)</b>
Energy Development Corporation (EDC)	Filipinler	Bağımsız	1.159
ENEL Green Power	İtalya	Bağımsız	1.031
Comision Federal de Electricidad (CFE)	Meksika	Ulusal	839
Calpine Corporation	ABD	Bağımsız	725
Ormat Industries	İsrail	Bağımsız	697
Perusahaan Listrik Negara (PLN)	Endonezya	Ulusal	562
Kenya Electricity Generating Company	Kenya	Ulusal Üretici	474
Mighty River Power	Yeni Zelenda	Ulusal Üretici	466
Chevron Corporation	ABD	Kamu - Bağımsız	435
Aboitiz Power	Filipinler	Kamu	430
Contact Energy	Yeni Zelenda	Bağımsız	423
Reykjavik Energy	İzlanda	Ulusal	409
Pertamina Geothermal Energy (PGE)	Endonezya	Ulusal Üretici	402
Berkshire Hathaway Energy	ABD	Bağımsız	317
Star Energy	Endonezya	Bağımsız	230
La Geo	El Salvador	Ulusal Üretici	191
HS Orka	İzlanda	Kamu	170
ICE	Kosta Rika	Ulusal	162
Kyushu Electric Power	Japonya	Kamu	122

**Çizelge 4.3:** Jeotermal Kurulan Kapasite ve/veya Üretim İçin Özel Hedefler (WEC, 2016)

Ülke	Yıl	Jeotermal Hedef
Cezayir	2030	15 MW
Ermenistan	2020 – 2025	50 MW; 100 MW
Çin Taipei	2020 – 2025 – 2030	10 MW; 150 MW; 200 MW
Etiyopya	2030	1 GW
Grenada	Tarih yok	15 MW
Endonezya	2025	12.6 GW
İtalya	2020	920 MW kapasiteden 6,759 GWs/yıl üretim
Kenya	2030	5 GW
Kore	2030	2,046 GWs/yıl
Filipinler	2010 – 2030	1.5 GW eklenti
Portekiz	2020	29 MW
Solomon Adaları	Tarih yok	20–40 MW
İspanya	2020	50 MW
Tayland	2021	1 MW
Türkiye	2023	1 GW

Jeotermal enerjiden elektrik üretimine bakacak olursak; Şekil 4.9’da 2018 yılındaki ülkelerin elektrik üretim maliyetleri (seviyeli enerji maliyeti ve yatırım maliyetleri) ve kapasite faktörleri ayrıntılı olarak gösterilmektedir.



■ = seviyeli enerji maliyeti aralığı ● = seviyeli enerji maliyeti ortalama ağırlığı  
OA = ortalama ağırlık

**Şekil 4.8:** Jeotermal Enerji Elektrik Üretimi, Maliyetler ve Kapasite Faktörü, 2018 (REN21, 2019)

### 4.3. TÜRKİYE'DE JEOTERMAL ENERJİ POTANSİYELİ

Önceki bölümlerde de bahsedildiği gibi; Türkiye coğrafik konumu sebebiyle tektonik hareketlerin fazla olduğu bir bölgede bulunmaktadır (Zaim, 2018).

Dünya Enerji Konseyinin 2016 yılında yaptığı araştırmaya göre; Türkiye, son birkaç yılda jeotermal enerjinin kullanımını önemli ölçüde artırdı. Bu artışı ilgili yasal düzenlemeler ve 2023 yılına kadar kurulacak olan toplam 1 GW jeotermal enerji kapasitesi hedefine borçludur. Yaklaşık 225 jeotermal alan keşfedildi ve 2015 yılında toplam gücü 159 MW olan 10 yeni güç kapasitesi ünitesi tamamlandı ve toplam kurulu güç kapasitesini 624 MW'a yükseltti (tahmini değeri 99 TWh olan yeraltı kaynaklı ısı pompalarının nihai enerji çıktısı hariç). Elektrik üretimi 2015 yılında bir önceki yıla göre% 50 artarak 3,37 TWh olmuştur. 4 MW'lık ikili Organik Rankine Döngüsü (ORC) tesisi, yalnızca enerji geri kazanımını değil, aynı zamanda düşük sıcaklık kaynaklarından elde edilen toplam verimi de artıran iki basınç seviyesinde faaliyet gösteren ilk proje olarak özellikle dikkat çekmiştir. 2014 yılında 77.453 konuta hizmet eden 16 jeotermal merkezi ısıtma sistemi bulunmaktadır. Diğer doğrudan kullanım uygulamaları için, ülke için toplam enerji yıllık 2886,3 MWt kurulu güç ve yıllık enerji kullanımı için 45,126 TJ/yıldır.

Türkiye, 2018 yılında çeşitli jeotermal enerji projelerini tamamlayarak kurulu gücünü% 21 (219 MW) artırarak 1.3 GW'a çıkarmıştır. Türkiye, 2013 ve 2018 yılları arasında yalnızca altı yılda 1 GW'dan fazla kapasite geliştiren, kümülatif jeotermal enerji kapasitesi için dünya genelinde dördüncü sırada yer almaktadır. 2018 yılında tamamlanan en büyük tek birim, Türkiye'nin en büyük jeotermal santrali (165 MW) olan Kızıldere tesisindeki 65.5 MW'lık Ünite idi. Yıl içinde tamamlanan diğer projeler arasında 19,4 MW Baklacı, 13,8 MW Buharkent, 25 MW 3S Kale ve 32 MW Pamukoren Ünitesi 4,9 yer almaktadır. Türkiye'nin jeotermal enerji santrallerinin çoğu, ülkenin yapım aşamasında olan tüm tesislerinde olduğu gibi ikili çevrim teknolojisini kullanılmaktadır (REN21, 2019).

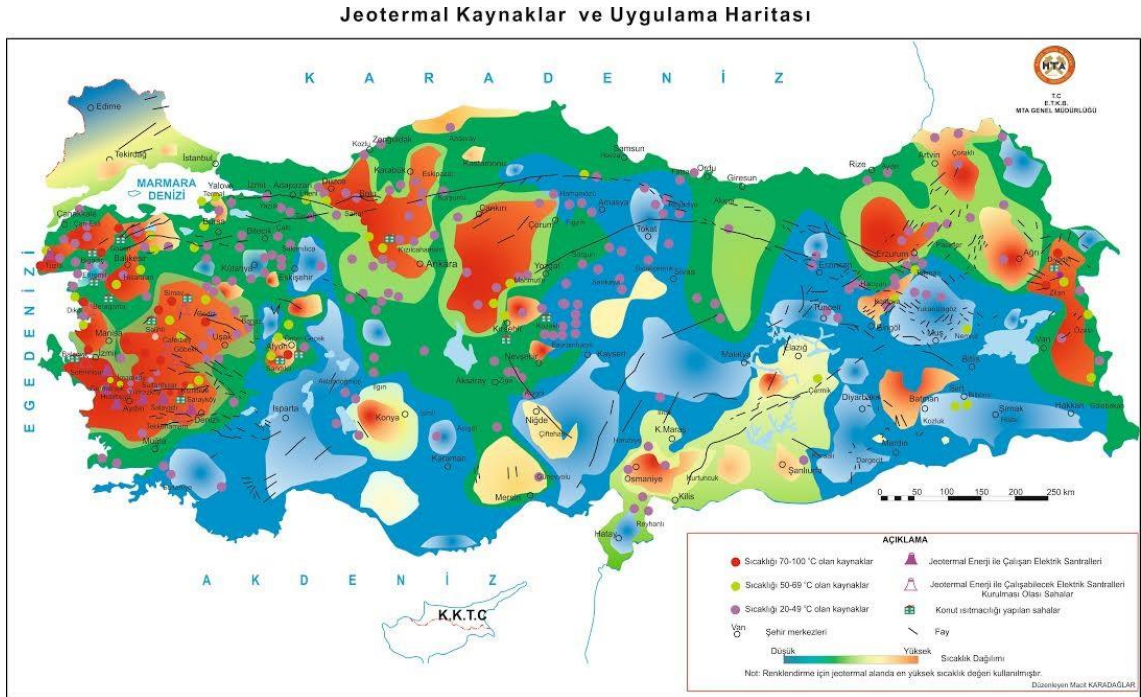
Günümüz itibarıyla Türkiye'de;90.000 konut eşdeğeri bina, 3.000.000 m<sup>2</sup> sera, 400 spa/hamam tesisi jeotermal enerjiyle ısıtılmaktadır (Zaim, 2018).

Türkiye jeolojik ve coğrafik konumu itibarı ile aktif bir tektonik kuşak üzerinde yer aldığı için jeotermal açıdan dünya ülkeleri arasında zengin bir konumdadır. Ülkemizin

her tarafında yayılmış yaklaşık 1.000 adet doğal çıkış şeklinde değişik sıcaklıklarda jeotermal kaynaklar mevcuttur.

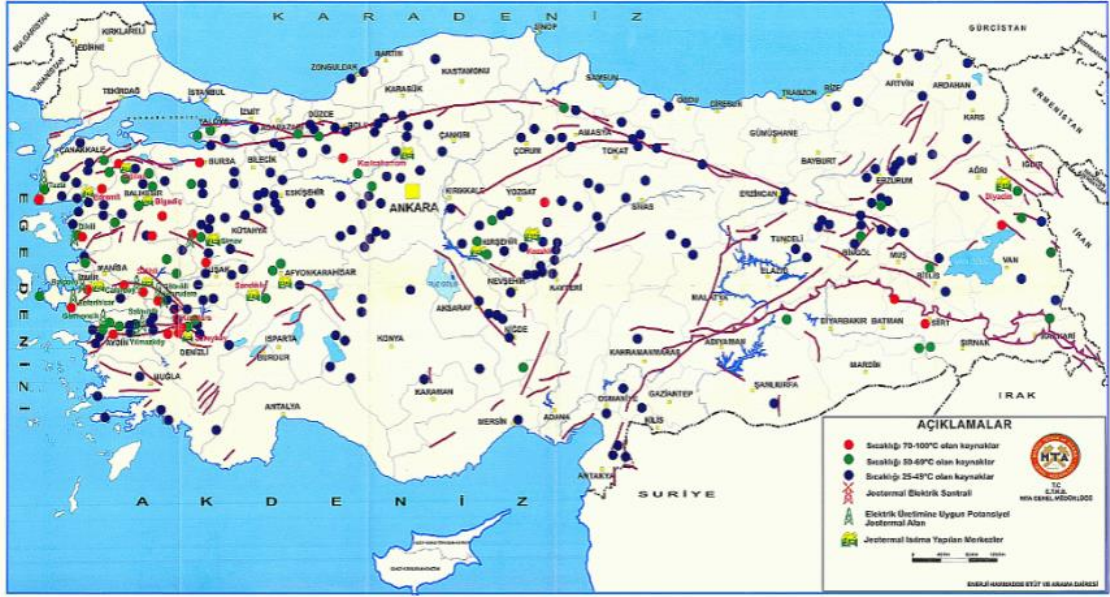
Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı (ETKB)'nin verilerine göre, Türkiye 1.283 MW jeotermal enerji santrali kurulu güç ile Avrupa ülkeleri arasında ilk sırada yer almaktadır. Dünya'da ise Türkiye dördüncü sırada yer almaktadır.

ETKB'nin resmi web sitesinde yaptığı açıklamalara göre; Türkiye'nin jeotermal potansiyeline bölgesel olarak bakacak olursak; potansiyeli bulunduran alanların %78'i Batı Anadolu'da, %9'u İç Anadolu'da, %7'si Marmara Bölgesi'nde, %5'i Doğu Anadolu'da ve %1'i diğer bölgelerde yer almaktadır.



**Şekil 4.9:** Türkiye Jeotermal Enerji Haritası

Türkiye'de ki jeotermal kaynakların çoğu (%90) düşük ve orta sıcaklıkta kaynaklardan oluşmaktadır ve direkt kullanım uygulamalarda (sera, turizm, ısıtma, endüstriyel uygulamalar vb.) kullanılması için, düşük bir oranı (%10) ise dolaylı uygulamalarda (santraller, elektrik üretimi) kullanılması için uygundur. Türkiye'de jeotermal enerjiden faydalanarak elektrik üretimi Kızıldere Santrali'nde 1975 yılında gerçekleşmiştir.



**Şekil 4.10:** Türkiye’deki Jeotermal Kaynakların Kullanılma Durumları (Kaya, 2018)

Türkiye Cumhuriyeti Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığının (ETKB’nın) resmi web sitesinde yaptığı açıklamalara göre; günümüzde jeotermal enerji arama çalışmalarına büyük hız verilmiş ve sondajlı jeotermal enerji aramaları 2.000 m derinlik seviyelerinden 28.000 m derinlik seviyelerine çıkartılmıştır. 2005 yılından itibaren Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı’nın desteğiyle, mevcut kaynakların geliştirilmesi ve yeni kaynak alanlarının aranması çalışmalarına ağırlık verilmesi nedeniyle, 2004 sonu itibari ile 3.100 MWt olan kullanılabilir ısı kapasitesi, 2018 yılı Aralık sonu itibari ile ilave 1.900 MWt ısı enerjisi artışıyla 5.000 MWt’e yükselmiştir.

ETKB’nın resmi web sitesinde yaptığı açıklamalara göre; keşfi yapılmış jeotermal saha sayısı 173 adettir ve sondajlı aramalarla birlikte 10 adedi elektrik üretimine uygun olan yeni jeotermal alanların keşfiyle birlikte toplam 239 adede yükseltilmiş olup bugüne kadar toplam 632 adet jeotermal alan bulunmuştur. Toplam 410.000 metre sondajlı arama çalışmaları da yapılarak doğal çıkışlar dâhil açılan kuyularla yaklaşık 5.000 MWt ısı enerjisi elde edilmiştir.

ETKB’nın resmi web sitesinde yaptığı açıklamalara göre; 2008 yılında, Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu’nun yürürlüğe girmesi ve özel sektörün de



jeotermal arama, geliştirme ve yatırım çalışmaları ile birlikte Türkiye toplam jeotermal ısı kapasitesi (görünür ısı miktarı) 35.500 MWt'e ulaşmıştır.

Jeotermal alanların araştırılmasına yönelik yapılan jeolojik araştırmalarla belirlenen ve jeolojik yapıdaki çeşitlilik, beslenme ve boşalım koşulları, jeolojik unsurlar ve jeodinamik süreçlere bağlı olarak gelişen jeotermal sistemlerdeki kaynaklar, genç tektonizma ve volkanizma ile çok yakın ilişkili olarak Türkiye'nin her yanına dağılmışlardır. Şekil 4.12'de 2017 yılında yapılan araştırmalara Türkiye'deki jeotermal kaynak alanlarının kullanım dağılımı gösterilmektedir:

<b>Jeotermal Saha</b>	Saha sayısı Sıcaklığı ( $\geq 30^\circ\text{C}$ )				<b>346</b>		
<b>Doğal çıkış</b>	Kaynak sayısı				<b>600</b>		
<b>Alan dağılımı</b>	Yüksek / Düşük ve orta entalpili alanlar		43/303	<b>% 12 / % 88</b>			
	Elektrik üretimi		43	<b>% 12</b>			
	Isıtma / Termal kullanım		153/135	<b>% 43 / % 45</b>			
<b>Potansiyel</b>	Tahmini teorik potansiyel (MWt)				<b>52700-62000</b>		
	Kullanılabilir potansiyel(MWt)				<b>17000</b>		
<b>Kuyu</b>	Tahmini kuyu sayısı				<b>2200</b>		
<b>Değerlendirme</b>	Doğrudan kullanım		Saha Sayısı	Uygulama	Kurulu Güç	Miktar	
	Merkezi ısıtma		153	18	1033	<b>116.020</b> K. E.	
	Termal kullanım		135		1005	<b>400</b> Ad.	
	Sera ısıtması		153		820	<b>4283</b> Dönüm	
	Termal tesis otel ısıtması		153		420	<b>46.400</b> K. E.	
	Isı pompası		?		42,8		
	Tarımsal kurutma		153	2	1,5		
	TOPLAM				3322,3	<b>369.100</b> K.E	
	Elektrik Üretimi		Saha Sayısı	Uygulama	Santral	Kurulu Güç	Üretim
			43	19	39	1053	<b>1021,73</b>
CO <sub>2</sub> Üretimi		Kapasite(ton/yıl)				<b>240.000</b>	

MWt: Megawatt termal

K.E: konut eşdeğeri

**Şekil 4.11:** Türkiye'deki Jeotermal Kaynak Kullanımı Dağılımı

#### 4.3.1. Türkiye'deki Jeotermal Enerji Santralleri

2016 itibari ile Türkiye'nin jeotermal santralleri profiline bakacak olursak; Türkiye'de kayıtlı olarak 48 adet jeotermal santral bulunmaktadır. Bu santrallerin kurulu gücü 1.303 Mwe'dir. Toplam kurula güce oranı %1,47'dir. Yıllık üretilen elektrik gücü ise yaklaşık 7.775 GWh'dir. Üretilen elektrik enerjisinin tüketilen enerjiye oranı ise %2,99'dur.

Mevcut kurulu güç ve proje kapsamındakilere bakacak olursak; devrede olan jeotermal santrallerin toplam gücü 1.303 MWe'dir. Tamamına oranı %51,8'dir. Ön lisans alan santraller %20,0'ını oluşturarak 396 MWe kapasitesindedir. %8,1'lik kısmını yapım aşamasındaki santraller oluşturmakta ve 161 MWe kapasitesindedirler. %5,2'si üretim lisansı alınan santrallerdir ve 104 MWe kapasitesindedir. Henüz proje aşamasında olanlar ise %1,0'ını oluşturmaktadır ve 20 MWe kapasitesindedir. Çizelge 4.4, 4.5 ve 4.6'da ayrıntılı olarak gösterilmektedir.

**Çizelge 4.4:** Türkiye'de Üretim Lisansı Alan Jeotermal Enerji Santralleri (<https://www.enerjiatlası.com>)

	<b>Santral Adı</b>	<b>İl</b>	<b>Firma</b>	<b>Kurulu Güç</b>
<b>1</b>	Mis 3 Jeotermal Santrali	Manisa	Soyak Enerji	48 MW
<b>2</b>	Greeneco 5 Jeotermal Santrali	Denizli	Greeneco Enerji	28.05 MW
<b>3</b>	Alaşehir 2 Jeotermal Santrali	Manisa	Zorlu Enerji	24.9 MW
<b>4</b>	Gök Jeotermal Enerji Santrali	Denizli	İn-Altı Termal Turizm	3 MW

**Çizelge 4.5:** Türkiye'de Ön Lisans Alan Jeotermal Enerji Santralleri (<https://www.enerjiatlası.com>)

	<b>Santral Adı</b>	<b>İl</b>	<b>Firma</b>	<b>Kurulu Güç</b>
<b>1</b>	Sarı Zeybek JES	Aydın		54 MW
<b>2</b>	Efe 8 JES	Aydın	Güriş Holding	50 MW
<b>3</b>	Mis 2 Jeotermal Santrali	Manisa	Soyak Enerji	48 MW
<b>4</b>	Efe 9 JES	Aydın		36 MW
<b>5</b>	Ala 2 Jeotermal Santrali	Manisa	Maspo Enerji	30 MW
<b>6</b>	Greeneco 6 Jeotermal Santrali	Denizli	Greeneco Enerji	26 MW
<b>7</b>	Kubilay 2 JES	Aydın		24 MW
<b>8</b>	Transmark Jeotermal Enerji Santrali	Çanakkale		19 MW
<b>9</b>	Özmen 3 Jeotermal Enerji Santrali	Manisa	Özmen Holding, Sis Enerji	18.62 MW
<b>10</b>	GCL ND M1 JES	Aydın	GCL ND Enerji	13.43 MW
<b>11</b>	RSC Seferihisar Jeotermal Enerji Santrali	İzmir	RSC Elektrik	12 MW
<b>12</b>	Kuyucular Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Karkey Karadeniz Enerji	12 MW
<b>13</b>	Babadere 2 JES	Çanakkale		11.8 MW
<b>14</b>	İda Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Yerka Elektrik Üretim A.Ş.	11 MW
<b>15</b>	Kiper 1 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın		10.2 MW
<b>16</b>	Emirler 1 JES	Denizli		9.9 MW
<b>17</b>	Sentez Yeşilova JES	Manisa	Sentez Jeotermal	5 MW
<b>18</b>	Halilbeyli 1 JES	Aydın	Baltımanı Enerji	5 MW

**Çizelge 4.6:** Türkiye’de Devrede Olan Jeotermal Santraller. Parantezdeki değerler, jeotermal santralin yapım aşamasındaki kısmı tamamlandıktan sonra ulaşılabilecek toplam kurulu gücü belirtmektedir (<https://www.enerjiatlasi.com>)

	Santral Adı	İl	Firma	Kurulu Güç
1	Kızıldere 3 JES	Denizli	Zorlu Enerji	165 MW
2	Efeler Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Güriş Holding	115 MW (162.3)
3	Kızıldere 2 Jeotermal Enerji Santrali	Denizli	Zorlu Enerji	80 MW
4	Pamukören Jeotermal Santrali	Aydın	Çelikler Enerji	68 MW
5	Galip Hoca Germencik JES	Aydın	Güriş Holding	47 MW
6	Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali	Manisa	Zorlu Enerji	45 MW
7	Maren Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Kıpaş Holding Enerji Grubu	44 MW
8	Dora 3 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	MB Holding	34 MW
9	Melih Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Kıpaş Holding Enerji Grubu	33 MW
10	Greeneco 3 Jeotermal Santrali	Denizli	Greeneco Enerji	26 MW
11	Greeneco Jeotermal Enerji Santrali	Denizli	Greeneco Enerji	26 MW
12	Efe 7 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Güriş Holding	25 MW
13	Enerjeo Kemaliye Santrali	Manisa	Enerjeo Kemaliye Enerji Üretim	25 MW
14	Ken 3 JES	Aydın	Kıpaş Holding	25 MW
15	Mehmethan Jeotermal Santrali	Aydın	Kıpaş Holding	25 MW
16	Deniz Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Kıpaş Holding Enerji Grubu	24 MW
17	Ken Kıpaş Jeotermal Santrali	Aydın	Kıpaş Holding Enerji Grubu	24 MW
18	Kerem JES	Aydın	Kıpaş Holding Enerji Grubu	24 MW
19	Kubilay Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Çevik Grup	24 MW
20	Türkerler Alaşehir 2 JES	Manisa	Türkerler Holding	24 MW
21	Türkerler Alaşehir JES	Manisa	Türkerler Holding	24 MW
22	Özmen 1 Jeotermal Enerji Santrali	Manisa	Özmen Holding, Sis Enerji	24 MW
23	Türkerler Jeotermal Enerji Santrali - 3	Manisa	Türkerler Holding	23 MW (100 MW)
24	Efe 6 JES	Aydın	Güriş Holding	23 MW
25	Pamukören 2 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Çelikler Enerji	23 MW
26	Pamukören 3 JES	Aydın	Çelikler Enerji	23 MW
27	Sultanhisar 2 JES	Aydın	Çelikler Enerji	23 MW
28	Baklaci Jeotermal Santrali	Manisa	Akça Enerji	19 MW
29	Kuyucak Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Turcas Enerji	18 MW
30	3S Kale Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	3S Kale Enerji	17 MW (25 MW)
31	Dora 4 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	MB Holding	17 MW
32	Kızıldere (Zorlu) JES	Denizli	Zorlu Enerji	15 MW
33	Sanko Salihli JES	Manisa	Sanko Enerji	15 MW
34	Sultanhisar Jeotermal Santrali	Aydın	Çelikler Enerji	14 MW
35	Buharkent Jeotermal Enerji Tesisi	Aydın	Limgaz Elektrik Üretim	14 MW
36	Gümüşköy Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	BM Holding Enerji Grubu	13 MW
37	Mis 1 Jeotermal Enerji Santrali	Manisa	Soyak Enerji	12 MW
38	Karkey Umurlu Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	Karadeniz Enerji	12 MW
39	Umurlu 2 JES	Aydın	Karadeniz Enerji	12 MW
40	Maspo Enerji JES 4	Manisa	Gürmen Group, Maspo Enerji	10 MW
41	Dora 2 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	MB Holding	9,50 MW
42	Babadere Jeotermal Enerji Santrali	Çanakkale	MTN Enerji	8,00 MW
43	Dora 1 Jeotermal Enerji Santrali	Aydın	MB Holding	7,95 MW
44	Tuzla Jeotermal Enerji Santrali	Çanakkale	Enda Enerji	7,50 MW
45	Bereket Enerji Kızıldere JES	Denizli	Bereket Enerji	6,85 MW
46	Pamukören 4 JES	Aydın	Çelikler Enerji	5,50 MW
47	Tosunlar JES	Denizli	Akça Enerji	3,81 MW
48	Afjet Afjes JES	Afyon	Afyonkarahisar İl Özel İdaresi	2,76 MW

## **5. EKONOMİK ANALİZ**

Çalışmanın bu son bölümünde jeotermal enerjinin ekonomik analizi yapılmaktadır. Jeotermal enerjinin ekonomik analizi yapılmadan önce enerji ekonomisi kavramı, enerji piyasaları, enerji arzı ve talebi ve enerji yatırımları anlatılmaktadır. Ayrıca enerji tüketimi ve büyüme ilişkisi ortaya konulmaktadır. Sonrasında jeotermal enerjinin piyasası, yatırımları ve maliyetleri ele alınarak ekonomik analizi yapılmaktadır.

### **5.1. ENERJİ EKONOMİSİ**

İnsanın esas ihtiyaçlarının giderilmesi ve hayatına devam edebilmesi için en önemli etken olan enerjinin tüketimi, ekonomik büyüme ve kalkınmanın göstergelerinden biri olarak kabul görmekte, insanlar için olduğu kadar ülke ekonomileri için de hayati öneme sahip olmaktadır. Enerjinin üretiminden tüketimine kadar pek çok ekonomik faaliyeti içermesi sayesinde ekonominin bir alt dalı olan enerji ekonomisi oluşmuştur (Biçici, 2008: 18). Doğal kaynakların bulunup çıkarılıp işlenip onlardan faydalanılmasıyla ilgilenen doğal kaynak ekonomisinin içinde yer alan enerji ekonomisinin analizini yapabilmek için öncelikle enerji ekonomisini tanımlamak gerekmektedir.

Enerji ekonomisi, genç ve yeni bir araştırma alanıdır. Bu kokuya ilgi 1972’de Dennis Meadows tarafından yazılan “Büyümenin Sınırları” adlı çalışma ile başlamıştır (Aydın, 2018).

#### **5.1.1. Enerji Ekonomisi Tanımı**

Ekonominin, enerji ile ilgilenen, enerji piyasalarını, arz ve talebini, enerji kaynaklarının enerji tüketim ve üretimi konularını inceleyen doğal kaynak ekonomisinin içinde yer alan iktisadın alt dalı enerji ekonomisi olarak tanımlanabilmektedir (iktisatsozlugu.com).

Enerji, pek çok kaynaktan elde edilmesi ile birlikte gerek tüm sanayi alanlarında gerekse tüm toplumsal alanlarda ihtiyaç duyulması ile oldukça önemli yer tutmaktadır.

Bilhassa 1973 Petrol şoku sonrası enerjinin önemi tüm dünyada daha iyi anlaşılmiş, iktisatçıların da ilgisini çeken enerji konularıyla ilgili çalışmalar artmıştır. Bu önemine binaen ekonomide ayrıca ele alınmasıyla iktisadın bir alt dalı olarak enerji ekonomisi kavramı ortaya çıkmıştır. Enerji ekonomisi literatürüne bakıldığında araştırmacıların daha çok enerji talebi ile iktisadi (ekonomik) büyüme ilişkisini araştırmaya yoğunlaştıkları görülmektedir ([www.ekodialog.com](http://www.ekodialog.com)). Ayrıca enerjinin ekonomik, güvenli bir şekilde doğaya zarar vermeden üretilmesi, sonraki nesillere temiz, sağlıklı, kaliteli bir yaşama alanı sağlanabilmesi enerji ekonomisinin incelediği başlıca konuları oluşturmaktadır (Biçici, 2008: 18).

Enerji ekonomisinin (son yıllarda) odaklandığı konular;

- Küresel ısınma ve iklim değişikliği politikaları
- Enerji arz güvenliği
- Enerji ve iktisadi büyüme
- Enerji verimliliği
- Enerji piyasalarında yeniden yapılanmalar
- Enerji talep tahmini ve yönetimi
- Yenilenebilir enerji, yeşil enerji ve istihdam
- Enerji altyapıları
- Enerji ticareti, depolama ve taşımacılığı
- Enerji ve çevre politikaları
- Enerji piyasaları ve enerji borsası

Olarak sıralanabilmektedir (Aydın, 2018).

Enerji ekonomisi; ekonominin alt dalları (sanayi, sağlık, doğal kaynaklar vb.) olarak ekonominin en temel sorunu olan kıt kaynakların tahsisi ile ilgilenmektedir (Aydın, 2018).

### **5.1.2. Enerji Piyasaları**

Enerji piyasaları, enerji üreticilerin arzı ile enerji tüketicilerin talebinin bulunduğu piyasalardır. Günümüzde hala en önemli enerji piyasalarını yenilenebilen enerji kaynaklarından olan kömür, doğalgaz, petrol piyasaları oluşturmaktadır. Bunun yanında yenilenebilir enerji piyasaları da eskiye oranla ciddi gelişmeler göstermektedir. Jeotermal enerji piyasası yenilenebilir enerji piyasaları içinde yer almaktadır. Sonraki bölümlerde ayrıca ele alınmaktadır.

### **5.1.3. Enerji Talebi Analizi ve Yönetimi**

Günümüzde gün geçtikçe enerjiye olan talep artmaktadır. Talep arttıkça bunu karşılayabilmek için daha çok enerji kaynağı tüketilmektedir. Ancak kullanılan enerji kaynaklarının büyük bir çoğunluğunu yenilenebilen enerji kaynaklarının oluşturmasıyla kıt olan enerji kaynakları ile sınırsız enerji talebi arasında bir dengenin kurulması, enerji talebinin ve arzının iyi yönetilmesi gerekmektedir (Biçici, 2008: 18).

### **5.1.4. Enerji Arzı Ekonomisi**

Enerji arzına sahip olan ülkeler ve kuruluşlar dünya ekonomisinde önemli bir yere sahiptir. Sanayi, tarım, ticaret, ulaşım, sağlık, turizm, konaklama, ısınma ve gıda gibi hemen hemen tüm sektörlerde ihtiyaç duyulan enerjiye sahip olmak ülkeler açısından çok önemli bir zenginlik kaynağı aynı zamanda küreselleşen ekonomide ciddi bir rekabet avantajı sağlamaktadır. Enerji kaynaklarına sahip olmayan ülkeler bunları ithalat yoluyla sahip olan ülkelere sağlamak, böylece enerji kaynağına sahip olan ülkeler daha da zenginleşirken, sahip olmayanlar ekonomik olarak dışa daha bağımlı bir durumda olmaktadır. Türkiye'nin cari açığının önemli bir kısmını enerji ithalatı oluşturmasıyla Türkiye dışa bağımlı bir pozisyondadır (Biçici, 2008: 36).

### **5.1.5. Enerji Yatırımları ve Maliyetleri**

Enerji üretilirken de tüketilirken de bazı kazanç ve getirilerinin yanında belli maliyetleri de oluşmaktadır. Hizmet ya da mal üretimde başlıca girdi olan enerji, tüketimin belirgin giderlerinden biridir (Biçici, 2008: 19).

## **5.2. ENERJİ TÜKETİMİ VE BÜYÜME İLİŞKİSİ**

Enerji ekonomisi literatüründe yapılan çalışmalardan büyük bir çoğu enerji tüketimi ve büyüme ilişkisi üzerine yapılmaktadır.

### **5.2.1. Planlı Kalkınmaya Geçiş**

Cumhuriyetin ilk yıllarında, İzmir İktisat Kongresinde alınan kararlar doğrultusunda özel sektörle ve piyasa ekonomisi ile büyüme ve kalkınmayı gerçekleştirme arayışlarının beklenen sonuçları vermemesi, kalkınma ve özellikle temel alt yapı yatırımları için devletin devreye girmesi zorunluluğu 1930'lu yılların hemen başında devlet yoluyla Planlı Kalkınma çabalarını başlatmıştır (TMMOB, 2014:21). 5 yılı aşkın süre devam eden çalışmalar sonucunda 1934-1938 döneminde geçerli olmak üzere Birinci Beş Yıllık Sanayi Planı hazırlanmış ve hayata geçirilmiştir. 1990'lı yıllara kadar Türk Ekonomisinin temel sürükleyicisi olan Etibank, Sümerbank ve Şeker Fabrikaları bu dönemin belirgin yatırım alanlarını oluşturmuştur. Devlet ilk sanayi planı ile mensucat, demir, kömür, bakır, kükürt, selüloz ve kağıt, ipek, seramik, kimya ve enerji alanların yatırım yapmayı planlamış, Etibank ve Sümerbank gibi 1990'lı yıllara kadar Türkiye ekonomisini sürükleyen yatırımlar yapılmıştır.

1946 yılında çok partili sisteme geçiş ile 1950'li yılların sonuna kadar piyasa ekonomisinin hakim olduğu bir büyüme modeli benimsenmiş, ancak Türkiye'nin beklentilerini karşılayacak bir büyüme ve sanayileşme gerçekleştirilememiştir. İkinci Dünya Savaşı sonrası dönemde bağımsızlık kazanan bazı ülkelerde uygulanan şekli ile ekonominin bir plan çerçevesinde yönetilmesi düşüncesi 1961 Anayasasında karşılığını bulmuş ve Türkiye Planlı Kalkınma Dönemine germiştir (Ekonomihukuk.com;2019).

Türkiye bütüncül bir yaklaşımla iktisadi, sosyal ve kültürel kalkınmayı demokratik bir planla gerçekleştirmek istemiş, tamamen liberal veya devletçi bir yaklaşım yerine kamu ve özel sektörün birlikte hareket edeceği “karma ekonomik sistem” anlayışı ile hareket etmiş, 30 Eylül 1960 yılında Başbakanlığa bağlı Devlet Planlama Teşkilatı kurulmuştur.

Beşer yıllık dönemler için hazırlanan Türk Kalkınma Planlarının temel özellikleri ve hedefleri ana hatları ile aşağıdadır (ekonomihukuk.com;2019):

- Sektörel olarak bütün sektörleri, bölgesel olarak bütün bölgeleri ve hedef olarak da iktisadi, sosyal ve kültürel kalkınmayı birlikte gerçekleştirmeyi amaçlayan planlardır.
- Plan hedefleri, kamu kesimi için zorunlu/emredici özel kesim için yol gösterici niteliktedir.
- Kalkınma planları iktisadi büyümeyi önceleyen, büyümeyi sabit yatırımların artışına bağlayan planlardır. Yüksek ve istikrarlı büyüme hedefine ağırlık verilmiştir.
- Büyümenin ve kalkınmanın itici sektörü olarak sanayi seçilmiştir.
- Kalkınma planları, yeni istihdam imkanları yaratılması, işsizliğin azaltılması, sosyal adaletin sağlanması ve gelir dağılımı eşitsizliklerinin giderilmesi gibi sosyal sorunların çözümünü büyümenin sonuçlarına bağlı olarak çözmeyi amaçlayan planlardır.

### **5.2.2. Kalkınma Planlarında Türkiye'nin Enerji Politikası**

**Birinci 5 Yıllık Kalkınma Planı (1963-1967):** İlk 5 yıllık Kalkınma Planı aynı zamanda orta vadeli bir “perspektif” planıdır ve Türkiye'nin gelecek 15 yılı ile ilgili hedefler koymuştur. Enerji konusu Planın 6'ncı bölümünde tarım, sanayi ve imalat sanayi ve ulaştırma gibi diğer sektörlerle birlikte ancak ayrı bir başlık altında almıştır (DPT, 1963:6-7). Türkiye'de ticari olmayan odun, tezek ve tarım atıklarının enerji kaynağı olarak normalin üstünde kullanıldığını (1961 yılı itibarıyla toplam enerji tüketiminin % 24,8'i) belirten Plan, halka ucuz ve sağlığa uygun yakıt sağlamak için dönemselsel olarak toplam enerji talebi ve bu talebi karşılayacak enerji arzı artışını



sağlayacak 4 temel ticari enerji kaynağı olan kömür, linyit, petrol ürünleri ve hidro elektrik üretiminin artırılmasını hedeflemiştir (DPT, 1963:272). Plan 1963 yılında % 28,3 olan odun-tezek enerji kullanımının 1977 yılında % 15'e düşürülmesi, Linyit enerjinin % 20; petrol ürünlerinin % 20,5, fuel oilin % 21 ve hidroelektrik enerjinin % 8,5'e yükseltilmesini hedeflemiş, yerli enerji üretimine ağırlık verilmesi, ticari enerji kaynaklarının kullanımı konusunda sanayi tesislerinin zorunlu diğer yerlerde ise eğitim ve ikna ile yaygınlaştırılması politika olarak benimsenmiştir (DPT, 1963:375). Plan, kok kömürü üretimi ve elektrik üretim ve tüketimi konusunu da hedefler ve amaçlar bakımından ayrı başlıklarda ele almıştır. Nitekim Türkiye'nin ancak % 30,5'inin elektrik kullanımından faydalandığını, plan dönemi içinde birincil enerji kaynaklarının üretiminde % 200 artış sağlanarak elektrik kullanımının yaygınlaştırılacağı belirtilmiştir (DPT, 1963:379).

**İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1968-1972):** Plan dönemi sonunda Cumhuriyetin 50'inci yılının kutlanacağı vurgusu ile hazırlanan planın 10'uncu bölümünde enerji konusu Genel Enerji, kok ve havagazı ve elektrik enerjisi başlıkları ile ele alınmıştır. Enerji sorununa *Türkiye'nin enerji ihtiyacı darboğazlar yaratmayacak şekilde karşılanacaktır* temel ilkesi ile başlayan Plan, hızlı şehirleşme dolayısıyla enerji talebinin artacağını ve bu artışın da daha fazla petrol ürünleri kullanılarak karşılanmak durumunda kalınacağı tespiti ile başlamıştır (DPT, 1967:552). İkinci Planda kömür, petrol ve hidroelektrik yayında tabii gaz üretimine ağırlık verileceği, kurulacak üçüncü demir çelik fabrikası ile Türkiye'nin metalürjik kok üretiminin artacağı belirtilmiş, elektrik üretimine özel bir önem verilmiştir. İkinci Beş yıllık Planda ilk defa enerji ihtiyacının karşılanması için nükleer enerji kaynaklarından faydalanma imkânlarının araştırılmasından ve kurulmasına yönelik çabaların başlayacağı yer almıştır (DPT, 1967:559).

**Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1973-1977):** En dikkat çekici özelliklerinden birisi daha önce hazırlanan iki kalkınma planından daha kapsamlı olarak hazırlanan 1000 sayfayı aşan, bütün sektörleri mevcut durum, beklenen gelişmeler, hedefler, ilkeler ve tedbirler bakımından ayrıntılı olarak inceleyen bir Kalkınma Planıdır. İlk plan gibi Üçüncü Plan da uzun dönemli hedeflere ulaşma amacıyla hazırlanmış ve 1972-1995

arasına yönelik gelecek dönem projeksiyonları yapan bir plandır. Enerji konusu Planın Dördüncü kesim, 5'inci bölümünde ele alınmıştır.

Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı, Planlı dönemde artan enerji talebini de dikkate alarak Plan dönemi içinde sabit sermaye yatırımlarının % 45'inin madencilik, imalat ve enerji sektörlerine yapılacağını vurgulamış ve Planlı dönemde birinci enerji tüketimi ile ilgili gelişmeleri değerlendirmiştir (DPT, 1972;566).

**Çizelge 5.1:** Planlı Kalkınma Döneminde Birinci Enerji Tüketiminin Enerji Kaynaklarına Göre Dağılımı (Yüzde) (DPT, Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı, s.566.)

<b>Ana Mallar</b>	<b>1962</b>	<b>1967</b>	<b>1972 (tahmini)</b>
Taş Kömürü	18,6	15,9	13,9
Linyit	7,2	8,6	3,7
Petrol Ürünleri	18,9	30,9	42,6
Hidrolik Enerji	2,1	3,5	3,7
<b>Toplam Ticari Enerji</b>	<b>46,8</b>	<b>58,9</b>	<b>68,9</b>
Odun	31,1	22,5	16,5
Tezek	22,1	18,6	14,6
<b>Toplam Gayri Ticari Enerji</b>	<b>53,2</b>	<b>41,1</b>	<b>31,1</b>
<b>Genel Toplam</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>

Plan, hızlı sanayileşmenin gereği olarak 1995 yılına kadar uzanan dönemde genel enerji ve özellikle elektrik enerjisi tüketiminin hızla artacağı beklentisiyle artan talebin kaynakların rasyonel kullanımı sağlanarak karşılanması bu amaçla öz kaynak kullanımının artması, hidro elektrik enerji üretiminin artması hedeflenmiştir. Plan perspektif dönemini oluşturan 1973-1995 arasında nükleer enerjinin yanısıra jeotermal enerji kaynaklarından da yararlanılacağı belirtilmiştir (DPT; 1972: 570). Bu şekilde jeotermal enerji ilk defa ve doğrudan Üçüncü Plan döneminde kullanılmaya başlamıştır.

Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planında yalnızca Plan dönemini oluşturan 1973-1977 dönemi için değil 1995 yılına kadar olan dönem için enerji talep/tüketim ve arzı ile ilgili projeksiyonlar yapılmış, enerjide dışa bağımlılığın azaltılması, Türkiye Elektrik

Kurumunun güçlendirilmesi, köy elektrikleştirilmesi çabalarının artırılması, madencilik sektörüne ağırlık verilerek taş kömürü, linyit ve petrol üretimi ağırlıklı birincil enerji kaynaklara ağırlık verilmesi gibi hedefler verilmiştir (DPT, 1972:573). Plan bilinen birincil enerji kaynakları üretiminin artırılması üzerinde yoğunlaşmış, nükleer enerjinin bu enerji kaynaklarının yetersiz olduğu dönemde devreye sokulacak şekilde gündeme alınmasını kabul etmiştir (DPT, 1972:573).

**Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1979-1983):**1973 yılında yaşanan Petrol Krizi ile başlayan problemler, Plan içeriğine de yansımış ve Planın Üretim ve Bölüşüm başlıklı ilk bölümünde Enerji, Altyapı ve Hizmetlerdeki gelişmeler öncelikli konular arasına alınmıştır. Enerji konusu Dördüncü Planda Birincil Üretim, Altyapı ve Hizmetler Başlıklı üçüncü kesimin üçüncü bölümünde ele alınmıştır. Plan; artan hızlı petrol talebine karşın yerli üretimin artıramadığı, Keban santralinin devreye girmesi dışında enerji alanında bir gelişme sağlanmadığı, enerji kullanımında gerekli tasarrufun sağlanamadığı ve dışa bağımlılığın arttığı vurgulanmıştır (DPT, 1979:395). Plan döneminde birincil enerji kaynakları üretiminin yıllık ortalama % 11,6 oranında artırılması, petrol ürünlerinin kullanımında tasarruf sağlanması, dış alımda en büyük harcamanın petrol ürünlerine yapılmak zorunda kalınacağı, yerli kok üretiminin artırılması gerektiği, termik santral yapımının hızlandırılması ve yerli linyit üretimine bağlı elektrik enerjisi üretiminin artırılması ve nükleer enerji santralleri kurulması için yer seçiminin yapılacağı hususlarına yer vermiştir (DPT, 1979:401-405).

Enerji Politikasının temelini enerji ihtiyacının milli kaynaklardan karşılanması oluşturacaktır temel ilkesi ile probleme yaklaşan Planda, ulusal enerji kaynaklarının üretimine öncelik verileceği, termik/hidroelektrik dengesinin hidroelektrik lehine değiştirileceğini, enerji tüketiminde tasarruf sağlanması ve rasyonel kullanıma önem verileceği ve Bölge ülkeleri ile elektrik enerjisi alışverişinin dengeli şekilde yaygınlaştırılacağı dönemin enerji politikasının ilkeleri ve amaçları ifade edilmiştir (DPT, 1979:407).

**Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1985-1989):** Plan döneminde yıllık enerji üretimini % 11,2 artırma hedefi ile başlayan Plan, Türkiye ekonomisi için istikrar içinde bir büyüme ve enflasyonu kontrol altına alma hedeflerini temel almıştır. Plan

döneminde sabit sermaye yatırımı olarak enerji sektörüne imalat, ulaştırma ve konuttan sonra % 14,89 ile dördüncü sırada yer verilmiştir (DPT, 1985:6).

Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planında Enerji konusu, Planın “Ekonomik Sektörlerde Gelişme Hedef ve Politikalar” başlıklı üçüncü bölümünde Enerji başlığı ile yer almıştır. Planın Sektörel Hedefler ve İlkeler Başlığında artan önemine paralel olarak Enerji konusuna Plan hedefleri içinde özel bir önem verilmiştir. Plan, genel olarak birincil enerji kaynaklarının geliştirilmesine önem verileceğini belirtirken bu kaynaklar içinde de Jeotermal enerji kaynaklarının geliştirilmesine öncelik verileceği, kalkınmada öncelikli yörelerde bulunan jeotermal enerji kaynaklarının kısa zamanda devreye girmesinin sağlanmasına yönelik teşvikler uygulanacağını belirtmiştir (DPT; 1985:41). Plan jeotermal enerjinin geliştirilmesine yönelik kaynakların yabancı sermaye kullanılarak geliştirilmesini, jeotermal enerjinin elektrik üretiminde, sanayi ve tarım sektörlerinde kullanılmasının teşvik edileceğini vurgulamıştır (DPT; 1985:61).

Beşinci 5 Yıllık Kalkınma Planında ilk defa birincil enerji kaynaklarının üretimi içinde jeotermal enerjiye yönelik gerçekleştirme ve plan hedeflerine yer verilmiştir.

Beşinci Kalkınma Planı döneminde birincil enerji üretiminin yılda % 7,7 oranında artması ve toplam enerji üretiminde de linyit enerji payının % 38’e, hidroelektrik enerji üretiminin % 20’ye yükselmesi hedeflenmiştir. Enerji üretiminde en büyük payın enerji üretim tesislerine yapılacağı, enerjinin ekonomik büyüme önünde engel olmaması için güvenilir kaynaklardan teminine önem verileceği, enerji üretiminde yerli kaynakla üretime öncelik verileceği, nükleer enerji ve güneş enerjisi ile ilgili gelişmelerin takip edileceği, doğal gaz arama faaliyetlerinin hızlandırılacağı ve enerji üretiminde verimliliğin artırılacağı belirtilmiştir (DPT; 1985: 105-107). Bu arada yine planda enerji tasarruf için yerleşim merkezleri için merkezi ısıtma sistemlerinin kurulması üzerinde durulacağı belirtilmiştir.

**Çizelge 5.2:** Birincil Enerji Kullanımında Dördüncü Plan Gerçekleşmeleri ve Beşinci Plan Hedefleri (DPT; Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, s. 106.)

	IV Plan Gerçekleşme		Yıllık Ortalama % artış	V Plan Hedefi		Yıllık Ortalama % artış
	1978	1983		1984	1989	
Taşkömürü (Bin ton)	4.634	5.529	2,6	5.400	8.300	9,0
Linyit (Bin ton)	13.522	20.730	8,9	22.870	51.885	17,8
Petrol Ürünleri (Bin ton)	16.070	15.788	-0,3	16.160	22.600	6,9
Doğal Gaz (Milyon m <sup>3</sup> )	22	8	-18,3	8	710	245,3
Hidrolik Enerji (Gwh)	9.365	11.354	3,9	12.185	22.400	12,9
Jeotermal Enerji (Gwh)	-	-	-	57	90	9,6
Elektrik İthalı (Gwh)	621	2.223	28,9	2.190	-	-
Odun (Bin ton)	15.248	17.086	2,3	17.256	17.815	0,6
Hayvan ve Bitki Atıkları (Bin ton)	12.620	15.541	4,3	14.766	13.730	1,4
Güneş Enerjisi (Bin TEP)	-	-	-	1	2	-14,9
<b>TOPLAM (Bin TEP)</b>	<b>33.992</b>	<b>37.721</b>	<b>2,1</b>	<b>38.563</b>	<b>54.571</b>	<b>7,2</b>

**Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı (1990-1994):** Enerji sektörünü ekonomik ve sosyal kalkınmanın sağlıklı büyümesi için destekleyici olarak gören Plan, daha önceki planlarda olduğu gibi yerli kaynakların geliştirilmesine önem ve öncelik verilmesini amaçlamış ancak, yerli kaynakların yetersizliğinin Türkiye'yi yabancı enerji kaynaklarına zorunlu olarak bağımlı kılacağını belirtmiştir. Plan döneminde doğal gaz üretimine önem verileceği, enerjinin sektörünün temelini oluşturan elektrik enerjisinin etkin ve verimli kullanımının önem verileceği, başta hidrolik enerji olmak üzere jeotermal ve güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından yararlanma oranlarının artırılacağı belirtilmiştir. Altıncı Kalkınma Planı yenilenebilir enerji kaynakları ifadesinin ilk defa kullanıldığı, doğal gaz, güneş ve jeotermal enerjiye önem verileceği hususunun öne çıktığı bir plan olmuştur. Plan Nükleer enerjinin önemini vurgulamakla birlikte üretimi konusundaki çekingen tavrını sürdürmüştür. Dönemin özelliği olarak enerji üretim ve dağıtımında özelleştirme çalışmalar başlamıştır (DPT, 1990:257-260).

Plan döneminde birincil enerji kaynakları üretimi ile ilgili gelişmeler bakımından jeotermal enerji üretiminin Beşinci Plan döneminde doğal gaz üretimi artışından hemen sonra (% 20,1) ikinci sırada ve % 12,7 oranında arttığı, Altıncı Plan döneminde ise bu artış oranının % 8,4 olarak gerçekleşeceği belirtilmiştir (DPT; 1990: 261).

**Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1996-2000):** Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Altıncı plan döneminde sabit sermaye yatırımları içinde ulaştırma ve haberleşme sektöründen sonra % 17,4'lük payla ikinci sırada enerji sektörünün yer almasına rağmen nükleer enerji gibi ileri teknoloji kullanılan alanlarda yeterli yatırım yapılmadığı vurgusu ile enerji sektörünü ele almış ve Planın “Ekonomide Etkinliğin Artırılmasına Yönelik Yapısal Değişim Projeleri” başlıklı Üçüncü bölümde enerji sektörünü incelemiştir (DPT, 1995:7). Plan'ın Enerji başlıklı bölümünde enerji sektöründe temel amacın, artan nüfusun ve gelişen ekonominin ihtiyaçlarının sürekli ve kesintisiz olarak karşılanması temel amacı vurgulanarak yerli kaynaklardan birincil enerji üretiminin yetersiz kalması dolayısıyla enerji tüketimi içinde ithal kaynakların öneminin Plan döneminde artması beklenmektedir (DPT, 1995: 138). Plan, kapsadığı dönemde enerji sektörü ile yapısal değişimi ile ilgili olarak Jeotermal Kaynak Yasasının çıkarılmasını öngörmüş ( DPT; 1995:291), ancak özellikle mesken ısıtması ile ilgili olarak jeotermal enerji yatırımlarının yapılması ve kullanımının gelişmesini daha çok yerel yönetimlere bırakmıştır (DPT,1995:125-132).

**Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005):** Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı, Cumhuriyetin 100'üncü yılının kutlanacağı 2023 yılı hedefleri ile hazırlanmış Uzun Vadeli Strateji planı olarak hazırlanmıştır. Plana göre; Yedinci Plan döneminin özelleştirme ve yap-işlet-devret anlayışıyla enerji sektörüne girişlerin arttığı bir dönem olmuş, yapılan temel enerji yatırımları ile Türkiye'nin bir enerji köprüsü ve dağıtım merkezi haline geleceği vurgulanmıştır (DPT, 2000:22). Plan döneminde Enerji sektörü yatırımlarının Yedinci Plan dönemine göre % 241,5 e yükselmesinin hedeflendiği, enerji ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel girdilerden birisi olarak kabul edilmiş, ülkemizin enerji bakımından zengin olmasına rağmen halen % 62 olan dışa bağımlılık oranı artacaktır (DPT, 2000:142). Plan jeotermal enerji ile ilgili olarak aranması ve işletilmesi ile ilgili yasal boşluğun giderilmesini için Kanuni düzenleme yapılmasının bu dönemde tamamlanacağını belirtmiştir ( DPT, 2000:118).

Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı ilk defa enerji ile ilgili bir özel ihtisas komisyonu raporu hazırlanan rapordur ve Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu raporu hazırlanmıştır. Planda yenilenebilir enerji kaynakları içinde jeotermal enerjiye de özel bir başlık açılmış, ancak jeotermal enerji ve rüzgâr santrallerinin toplam enerji içindeki payının % 0,1 gibi çok düşük bir oran olduğu belirtilmiştir.

**Çizelge 5.3:** Türkiye'nin Enerjide Kurulu Gücünün Yıllar İtibarıyla Gelişimi (MW) (8'inci BYKP Elektrik Özel İhtisas Komisyonu Raporu).

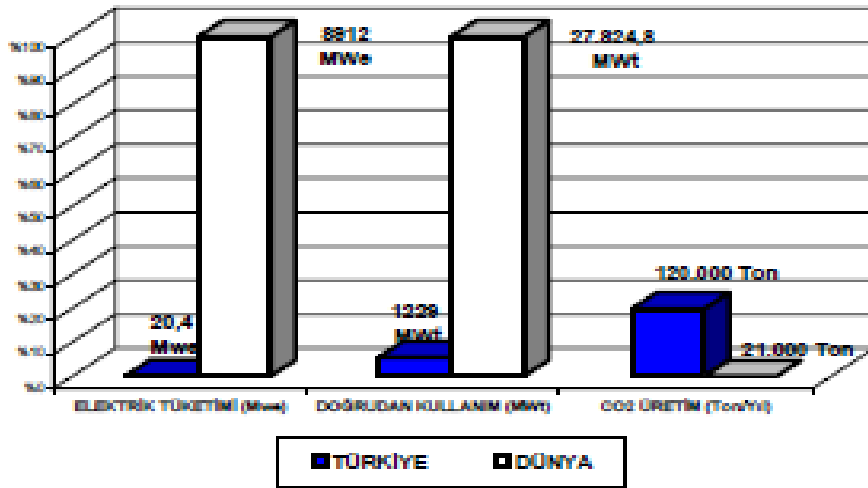
YIL	TERMİK	HİDROLİK	JEOTER.+RÜZ.	TOPLAM	YILLIK ARTIŞ %
1963	902.6	478.5		1381.1	-
1965	985.4	505.1		1490.5	3.9
1970	1509.5	725.4		2234.9	8.4
1975	2407.0	1779.6		4186.6	13.4
1980	2987.9	2130.8		5118.7	4.1
1985	5229.3	3874.8	15.0	9119.1	12.2
1990	9535.8	6764.3	15.0	16315.1	12.3
1995	11074.0	9862.8	15.0	20951.8	5.1
1996	11297.1	9934.8	15.0	21246.9	1.4
1997	11771.8	10102.6	15.0	21889.4	3.0
1998	13021.3	10306.5	23.7	23351.5	6.7
1999	15555.9	10537.2	23.7	26116.8	11.8

Elektrik Enerjisi ÖİK, elektrik üretiminde jeotermal enerji kullanılması halinde çevre kirliliğinin sınıra yakın olduğu, azot ve kükürt emisyonunun düşük olduğu ancak bu enerji kaynağından daha geniş ölçüde yararlanmak için uluslararası kuruluşlarla ortak projeler yapılması, know-how transferi, eğitim ve finansman sorunlarının aşılması için devlet desteğine ihtiyaç olduğu belirtilmiştir (ÖİK, 2001:35-36).

**Dokuzuncu Kalkınma Planı (2007-2013):** 2 yıl gecikmeli olarak devreye giren Dokuzuncu Planla birlikte 5 yıllık kalkınma planı ifadesi değişmiş, Kalkınma Planı ifadesi kullanılmaya başlanmıştır. Önceki planların aksine hacim olarak çok kısa (yalnızca 100 sayfa) bir Plandır. Plan “*İstikrar içinde büyüyen, gelirini daha adil paylaşan, küresel ölçekte rekabet gücüne sahip, bilgi toplumuna dönüşen, AB'ye üyelik için uyum sürecini tamamlamış bir Türkiye*” vizyonu ile hazırlanmıştır (DPT, 2007:1). Planda Enerji konusu Dokuzuncu Kalkınma Planı Stratejisi Ekonomik ve Sosyal Gelişme Eksenlerinden “Rekabet Gücünün Artırılması” başlığı altında enerji ve

ulaştırma alt yapısının geliştirilmesi” olarak ele alınmıştır. Doğu Blokunun çözülmesi sonrası ortaya çıkan yeni durumda Türkiye’nin enerji konusunda enerji terminali haline gelmesi (DPT; 2007:11), hedefine yer verilmiştir. Plan dönemi içinde yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen önemin artmasını sağlamak üzere Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretiminde kullanılmasına yönelik 5346 sayılı Kanun yürürlüğe girmiştir.

Dokuzuncu Plan, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu için Enerji Hammaddeleri (Linyit, Taşkömürü, Jeotermal) Çalışma Grubu çalışması hazırlanmış bu çalışma içinde jeotermal enerjiye de özel bir başlık açılmıştır (DPT, 2009:1). Raporda jeotermal enerji; çevre ile uyumlu, yenilenebilir, yerli, ucuz, üstün ve pahalı teknoloji gerektirmeyen etkin, verimli ve sürdürülebilir bir enerji kaynağı olarak özellikle ısıtma, termal turizmde kullanılabilecek bir enerji olarak tanımlanmıştır (DPT, 2009:300). Jeotermal Kaynaklar Alt Çalışma Grubu, jeotermal enerji ile ilgili olarak mevcut durum, Dokuzuncu Plan Döneminde Sektörden beklenen gelişmeler, AB’ye katılım süreci ve Sektöre etkileri, Plan döneminde jeotermal enerji ile ilgili önerilen strateji, amaç, politika, öncelik ve tedbirler başlıkları altında kapsamlı bir rapor hazırlamış, Dünya ile karşılaştırmalı değerlendirmeler yapmıştır (DPT, 2009: 272).



**Şekil 5.1:** Jeotermal Enerjinin Dünyada ve Türkiye’de Değerlendirilmesi (DPT, Dokuzuncu Plan Madencilik ÖİK Raporu. S.272).



Raporun sonuç ve değerlendirme bölümünde doğrudan jeotermal enerji kullanımında Avrupa’da birinci, Dünyada ilk 5’inci sırada olan ülkemizin çevre dostu yerli ve sürdürülebilir bu kaynağı daha fazla kullanmasına yönelik çalışmaların artırılması, yenilenebilir enerji kaynakları içinde özel bir yeri olan jeotermal enerji üretiminin daha fazla teşvik edilmesi gerektiği vurgusu yapılmıştır (DPT; 2009:306).

**Onuncu Kalkınma Planı (2014-2018):** Onuncu Kalkınma Planında Enerji konusu “Yenilikçi üretim, istikrarlı yüksek büyüme” hedefinin incelendiği bölümde yer almış, Öncelikli Dönüşüm Programlarının yer aldığı üçüncü bölümde de “Yerli Kaynaklara Dayalı Enerji Üretimi ve Enerji Verimliliğinin Geliştirilmesi Programları” başlıkları ile yer almıştır. Plan küresel enerji sisteminde dönüşüm bölümünde Dünyada ve Türkiye’deki gelişme eğilimlerini ele alarak Türkiye’nin enerjide dışa bağımlılığının yaratacağı sorunlara ve enerjide dışa bağımlılığı azaltacak politikalara öncelik vermiştir (KB, 2013;14-15). Plan enerjide dışa bağımlılığın ödemeler dengesine etkilerini vurgulamak için toplam ithalat içinde enerji giderlerinin % 25,4’e yükseldiğini, yıllık enerji gideri artışının ortalama % 6,9 artarak 25,7milyar TL’ye ulaştığını belirtmiştir (KB, 2013:66).

**Çizelge 5.4:** Plan Döneminde Ödemeler Dengesi Gelişmeler ve Enerji İthalatı (Onuncu Kalkınma Planı, s.67. )

	2006	2012	2013	2018	2014-2018
<b>İhracat (fob) (Milyar Dolar)</b>	85,5	152,5	157,8	277,2	11,9
<b>İthalat (cif) (Milyar Dolar)</b>	139,6	236,5	252,3	404,3	9,9
Enerji İthalatı (Milyar Dolar)	28,9	60,1	58,7	74,4	4,9
<b>Dış Ticaret Dengesi (Milyar Dolar)</b>	-54,0	-84,1	-94,4	-127,0	-
<b>Dış Ticaret Dengesi / GSYH</b>	-10,3	-10,7	-11,1	-9,9	-10,5
<b>Dış Ticaret Hacmi / GSYH</b>	42,8	49,5	48,2	53,0	51,2
<b>Turizm Gelirleri (Milyar Dolar)</b>	17,5	25,7	28,0	40,8	7,8
<b>Cari İşlemler Dengesi (Milyar Dolar)</b>	-31,8	-47,5	-55,3	-67,1	-
<b>Cari İşlemler Dengesi / GSYH</b>	-6,0	-6,0	-6,5	-5,2	-5,8
<b>Uluslararası Doğrudan Yatırım Girişi (Milyar Dolar)</b>	20,2	12,6	15,3	28,3	13,1

İthal enerji maliyetini önemli bir problem olarak vurgulayan plan 10’uncu Plan döneminde enerji yatırımlarının payını % 3,6 gibi düşük bir oranda belirlemiş ve 9’uncu plan döneminin gerisinde kalmıştır (KB, 2013:82). Plan, jeotermal enerjiyi madencilik

başlığı altında ele almış ve yerli kaynakların potansiyelinin araştırılması ve geliştirilmesi politikalarına ağırlık vermiştir. Plan, yerli kaynaklara dayalı enerji üretimi başlıklı özel bölümde yenilenebilir enerji kaynakları içinde güneş, jeotermal ve bio-kütle kaynaklarına elektrik enerjisi üretimi için özel bir önem vermiştir (KB, 2013, 105).

Onuncu Plan Enerji konusunu Enerji Güvenliği ve Verimliliği özel ihtisas komisyonu raporu ile 2023 hedefi ile ele almıştır. Rapor mevcut durum analizi, Dünyada ve Türkiye'deki gelişme eğilimlerini ele aldıktan sonra sektörle ilgili Güçlü ve Zayıf Yönler analizi ile rekabet gücü değerlendirmesi yapmıştır. Sonuç kısmında ise temel politika ve dönüşüm alanları belirlemiştir. Jeotermal enerji rüzgar enerjisi ile birlikte değerlendirilmiş, Türkiye'nin jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarında Dünyanın üçüncü ülkesi olduğu (KB, 2014:55), plan dönemi için jeotermal hedefleri ve yapılacak yatırım ihtiyacı ile ilgili hedefler belirlenmiştir. Jeotermal ısıtma bakımından hali hazırda 260 bin konut eşdeğeri jeotermal enerji kullanılarak ısıtıldığı hâlbuki potansiyelinin 7,5 milyon konut eş değeri olduğu belirtilmiştir.

**Çizelge 5.5:** Plan Dönemi Sonunda Jeotermal Hedefleri ve Yatırım İhtiyacı.

Jeotermal Uygulama	2018 Yılı Hedefi	Yatırım Tutarı (Dolar)
Elektrik santrali	750 $MW_e$	2 milyar
Bina ısıtma (500.000 konut)	4.000 $MW_t$	1,4 milyar
Sera ısıtma (6.000 dönüm)	2.040 $MW_t$	300 milyon
Kurutma (500.000 ton/yıl)	500 $MW_t$	180 milyon
Termal (400 kaplıca)	1.100 $MW_t$	1,2 milyar
Soğutma (50.000 konut)	300 $MW_t$	300 milyon
Diğer	400 $MW_t$	150 milyon

**On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023):** 11'inci Plan, Plan Hedefleri ve Politikaları başlıklı bölüm altında yer alan rekabetçi üretim ve verimlilik başlığı altında ayrı bir sektör olarak incelemiştir. Plan, enerjide temel amacın; enerji arzının sürekli, kaliteli, sürdürülebilir, güvenli ve katlanılabilir maliyetlerle sağlanması olduğu vurgusu ile başlamış, orta ve uzun vadeli enerji arz-talep planlamaları yapılacağı, nükleer geç

santrallerinin elektrik enerjisi üretim portföyüne ekleneceği (KB, 2019:119), yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak elektrik enerjisi üretiminin artırılacağı, güneş enerjisi ve rüzgâr enerjisi santrallerine önem verileceği ve Plan döneminde birincil enerji kullanımı ile ilgili hedefleri tablo da olduğu gibi tespit etmiştir (KB, 2019:121). Jeotermal kaynakların kullanımı ise madencilik başlığı altında incelenmiştir.

**Çizelge 5.6:** On Birinci Plan Dönemi Enerji Sektörü Hedefleri (On Birinci Kalkınma Planı, 2019, s.121.)

	2018	2023
Birincil Enerji Talebi (BTEP)	147.955	174.279
Elektrik Enerjisi Talebi (TWh)	303,3	375,8
Kişi Başı Birincil Enerji Tüketimi (TEP/kişi)	1,81	2,01
Kişi Başı Elektrik enerjisi Tüketimi (kWh/kişi)	3.698	4.324
Doğal Gazın Elektrik Üretimindeki Payı (%)	29,85	20,7
Yenilenebilir Kaynakların Elektrik Üretimindeki Payı (%)	32,5	38,8
Yerli Kaynaklardan Üretilen Elektrik Enerjisi Miktarı (TWh)	150,0	219,5
Elektrik Kurulu Gücü (MW)	88.551	109.474

On Birinci Kalkınma Planı çalışmaları kapsamında 43 Özel İhtisas Komisyonu Raporlarından biri de Enerji Arz Güvenliği ve Verimliliği başlığı ile oluşturulmuş, ayrıca Enerji Teknolojilerinde yerli Üretim çalışma grubu oluşturulmuştur. Ancak, bu konularla ilgili olarak Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Dairesi Başkanlığı sayfasında Eylül 2019 tarihi itibarıyla yayınlanmış bir rapor yoktur.

### 5.3. JEOTERMAL ENERJİNİN EKONOMİK ANALİZİ

Genç jeolojik yapısı sayesinde 31.500 Mwt civarında zengin jeotermal potansiyeli olan ülkemiz, dünyada yedinci, Avrupa’da ise birinci sırada yer almakta; mevcut olan bu enerji potansiyelinin tümünün elektrik ve ısıtma enerjisi olarak değerlendirilmesiyle çok yüksek miktarda enerji gereksinimi giderilerek enerji ithalatımız azaltılacak, gelirimizde artış gerçekleştirilecektir (Mutlu, 2013: 51).

### **5.3.1. Jeotermal Enerji Piyasası**

Yer kabuğunda mevcut bulunan jeotermal enerjinin yüzde bir kadarını enerjiye dönüştürdüğümüzde, dünyanın tüm petrol ve gaz kaynaklarının sağlayacağı bütün enerjiden tam beş yüz kat fazla enerjinin meydana geleceği hesap edilmektedir (Mutlu, 2013: 49). Bu sebeple jeotermal enerji, yenilenebilir enerji kaynakları içinde önemli bir yere sahiptir.

Önceki bölümlerde Türkiye’de bulunan aktif jeotermal santrallerin sayısı kapasiteleri ile ayrıntılı olarak belirtilmiştir. Buna rağmen Jeotermalden elde edilen tüm elektrik ihraç edilmektedir. Çünkü EÜAŞ verilerine göre henüz EÜAŞ’nin bir jeotermal tesisi bulunmamaktadır. 5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanununa göre devlet teşviki ile jeotermal tesislerden üretilen elektrik 10,5 cent/kWh olarak satın alınmaktadır.

### **5.3.2. Jeotermal Enerji Yatırımları ve Maliyetleri**

Yenilenebilir, tükenmeyen, çevreye zararı olmayan, maliyet bakımından linyitten bile oldukça daha ucuz olan jeotermal enerjinin uygun bir sondaj maliyeti, uygun maliyetli pompalama işlem giderleri bulunmaktadır (Mutlu, 2013: 50). Hiçbir riskli yanı olmayan güvenli kullanımı, hızlı ve kolay kurulum ile uzun ömürlü tesis yapısıyla, ısıtmada faydalanmak için elverişli, %95 verimlilik oranı ve rüzgar, güneş, yağmur gibi hava şartlarına bağlı olmayan her daim hazır bulunması sayesinde jeotermal enerji yatırımları cazip hale gelmektedir (Mutlu, 2013:52).

**Çizelge 5.7:** Enerji Santrallerinin İşletme-Bakım ve Yakıt Maliyeti (termodinamik.info)

Santral Tipi	İşletme – Bakım Maliyeti (cent/kWh)	Yakıt Maliyeti (cent/kWh)
Doğalgazlı termik santral	0,415	3,609
Linyitli termik santral	1,495	1,839
İthal kömürlü termik santral	1,413	1,965
Hidrolik santral	0,203	0
Nükleer santral	0,780	1,000
Rüzgârlı enerji santrali	1,2	0
Jeotermal enerji santrali	1,8	0
Güneş enerji santrali (Fotovoltaik pil)	1,6	0

**Çizelge 5.8:** Enerji Santrallerinin Kapasite Faktörü, İlk Yatırım Ve Birim Enerji Üretim Maliyeti (termodinamik.info)

Santral tipi	Yerel/Dışa bağımlı	(%)	İlk yatırım maliyeti (\$/kW)	üretim maliyeti (cent/kWh)
Doğalgazlı termik santral	Dışa bağımlı	85-90	500-1,300	3.6-10.6
Linyitli termik santral	Yerel	50-85	2,000- 3,000	4.6-12.0
İthal kömürlü termik santral	Dışa bağımlı	50-85	1,500- 2,500	4.5-8.8
Hidroelektrik santral	Yerel	30-45	1,900- 2,600	2.7-3.5
Nükleer santral	Yerel/Dışa bağımlı	85-95	2,500- 5,000	3.0-8.2
Rüzgâr enerji santrali (Yükseklik: 30 m ve hız: 8.5 m/s)	Yerel	25-45	1,200- 2,500	5.1-14.6
Jeotermal enerji santrali	Yerel	80-90	1,700- 4,000	3.3-4.0
Güneş enerji santrali (Fotovoltaik pil)	Yerel	20-25	4,000- 8,000	12.3-24.5
Biyokütle enerji santrali	Yerel	80-90	2,000- 3,500	4.8-8.0

**Çizelge 5.9:** Jeotermal Enerji Üretim Santrali Yatırım Maliyeti Kalemleri (Şener ve Aksoy, 343)

Santral Paketi Tedariği	55.3%
Projelendirme Giderleri	0.7%
Sondaj ve Test Giderleri	15.0%
İnşaat ve Altyapı Giderleri	1.8%
Mekanik Tesisat İmalat ve Montaj Giderleri	6.8%
Elektrik & Otomasyon İşleri İmalat & Montaj Giderleri	4.9%
Malzeme Tedarikleri	4.7%
Arazi Giderleri	1.9%
Yatırım Dönemi İdari ve Personel Giderleri	3.8%
Diğer Giderler	5.1%
<b>Toplam</b>	<b>100.0%</b>

**Çizelge 5.10: Jeotermal Proje Gelişim Aşamaları (Aydın, 2018)**

Aşamalar	Uygulama Yılları						
	1	2	3	4	5	6	7
<b>1. Birincil Araştırma</b>	X						
Veri toplama ve envanter	X						
Ülke genelinde araştırma	X						
Arama için gerekli izinleri planlama	X						
<b>2. Arama</b>	X	X					
Yüzey, yüzeyaltı, jeo-kimyasal	X	X					
Derinlik ölçümü yapan aletler (MT/TEM)		X					
Gradient ve ince delikler sismik veri toplama ve ön fizibilite çalışması		X					
<b>3. Sondaj testi</b>	X	X	X				
İnce delikler			X	X			
Tam büyükte kuyular			X				
Kutu testi ve simülasyon			X	X			
Girişim testleri				X			
Birinci rezervuar simülasyonu				X			
<b>4. Projeyi gözden geçirme ve planlama</b>		X	X	X			
Değerlendirme ve fizibilite kararı		X	X	X			
Sondaj planlaması				X			
Tesisatların tasarımı			X	X	X		
Finansal tamamlama / PPA				X			
<b>5. Saha geliştirme</b>				X	X		
Üretim ve enjeksiyon kuyuları				X	X		
Soğuk su kuyuları kuyu ve rezervuar simülasyonları				X			
<b>6. İnşaat</b>					X	X	X
Buhar veya sıcak su boruları güç santrali ve elektrik trafoları iletim					X	X	
<b>7. Başlama</b>						X	
<b>8. İşletme ve bakım onarım</b>							X

Çizelge 5.10'da gösterildiği gibi jeotermal elektrik üretimi için projelerin başlamadan önce geliştirilmesinin 7 temel aşaması bulunmaktadır. Bu 7 temel aşama sırasıyla; araştırma, arama, sondaj testi, projeyi gözden geçirme, saha geliştirme, inşaat, başlama ve işletmektir. Projenin tamamlanması ortalama 7 yıl sürmektedir. Ancak ülkenin ekonomisi, jeolojik altyapı vb. sebeplerden dolayı birkaç yıl düşük ve ya fazla olabilmektedir (Aydın, 2018).

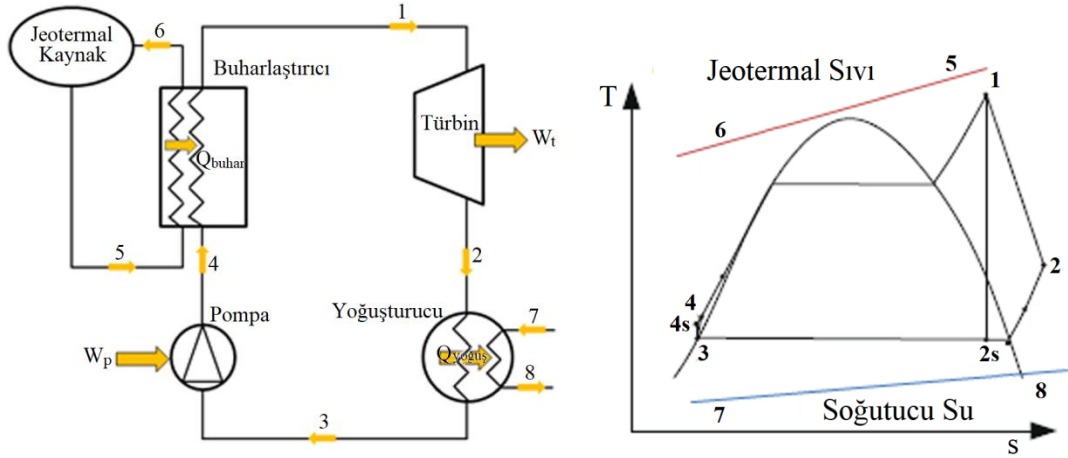
### 5.3.3. Örnek ORC Santrali Maliyet Hesabı

Ekonomik analizin en iyi şekilde yapılabilmesi için maliyet analizi veya maliyet hesabının yapılması gerekmektedir. Çizelge 5.11'de Türkiye şartlarına göre jeotermal santral için seçilmiş ortalama parametreler bulunmaktadır. Bu parametrelere göre ORC santral maliyet hesabı çıkartılacaktır. Akışkan olarak sıklıkla kullanılan R600a (C<sub>4</sub>H<sub>10</sub>) tercih edilmiştir.

**Çizelge 5.11:** Santral Maliyet Hesabı için Kabul Edilen Parametreler

Parametreler	Simgeler	Değerler
Jeotermal Kaynak Sıcaklığı	$T_{\text{jeotermal}}$	88°C
Buharlaştırıcı Sıcaklığı	$T_{\text{buharlaştırıcı}}$	80°C
Yoğuşturucu Sıcaklığı	$T_{\text{yoğuşturucu}}$	30°C
Türbinde Üretilen Elektrik (İş)	$\dot{W}_{\text{türbin}}$	1 MW (1000 kW)
Jeotermal Kaynak Akışkan Debisi	$\dot{m}_{\text{jeotermal}}$	380 lt/s
Jeotermal Kaynak Çıkış Basıncı	$P_{\text{jeotermal}}$	400 kPa
Yoğuşturucu Soğutma Suyu Giriş Sıcaklığı	$T_{\text{soğutma suyu giriş}}$	20°C
Yoğuşturucu Soğutma Suyu Çıkış Sıcaklığı	$T_{\text{soğutma suyu çıkış}}$	27°C
Türbinin Verimi	$\eta_{\text{türbin}}$	%80 (0,80)
Pompanın Verimi	$\eta_{\text{pompa}}$	%75 (0,75)





**Şekil 5.2:** Örnek Binary ORC Enerji Santrali Çalışma Şeması

Şekil 5.2’de belirtilen örnek ORC santrali ve çizelge 5.11’de belirtilen parametrelere göre çevrimin termodinamik hesaplarını yaparak başlayabiliriz:

İlk durum için;

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 80^\circ\text{C} \\ x_1 = 1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_1 = 1342,19 \text{ kPa} \\ h_1 = 658,184 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 2,365 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_3 = 30^\circ\text{C} \\ x_3 = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_3 = 404,46 \text{ kPa} \\ h_3 = 271,404 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 1,246 \text{ kJ/kg K} \\ v_3 = 0,001838 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{2s} = P_2 = P_3 = 404,46 \text{ kPa} \\ s_{2s} = s_1 = 2,365 \text{ kJ/kg K} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_{2s} = 38,35^\circ\text{C} \\ h_{2s} = 610,75 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$\eta_{\text{türbin}} = (h_1 - h_2) / (h_1 - h_{2s})$$

$$\rightarrow 0,8 = (658,184 \text{ kJ/kg} - h_2) / (658,184 \text{ kJ/kg} - 610,75 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow h_2 = 620,227 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 404,46 \text{ kPa} \\ h_2 = 620,237 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_2 = 43,41^\circ\text{C} \\ s_2 = 2,395 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$v_3 = v_4 = 0,001838 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_4 = P_1 = 1342,19 \text{ kPa}$$

$$w_{\text{pompa}} = v_3 \cdot (P_4 - P_3) = (h_{4s} - h_3)$$

$$\rightarrow w_{\text{pompa}} = 0,001838 \text{ m}^3/\text{kg} \cdot (1342,19 \text{ kPa} - 404,46 \text{ kPa}) = (h_{4s} - 271,404 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow w_{\text{pompa}} = 1,7235 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{\text{pompa}} = (h_{4s} - h_3)$$

$$\rightarrow 1,7235 \text{ kJ/kg} = (h_{4s} - 271,404 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow h_{4s} = 273,128 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_{4s} = P_4 = 1342,19 \text{ kPa} \\ h_{4s} = 273,128 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_{4s} = 30,35^\circ\text{C} \\ s_{4s} = 1,246 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$\eta_{\text{pompa}} = (h_{4s} - h_3) / (h_4 - h_3)$$

$$\rightarrow 0,75 = (273,128 \text{ kJ/kg} - 271,404 \text{ kJ/kg}) / (h_4 - 271,404 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow h_4 = 273,703 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 1342,19 \text{ kPa} \\ h_4 = 273,703 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_4 = 30,58^\circ\text{C} \\ s_4 = 1,248 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$\dot{W}_{\text{türbin}} = \dot{m}_{\text{soğutucu}} \cdot (h_1 - h_2)$$

$$\rightarrow 1000 \text{ kW} = \dot{m}_{\text{soğutucu}} \cdot (658,184 \text{ kJ/kg} - 610,75 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow \dot{m}_{\text{soğutucu}} = 26,345 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = \dot{m}_{\text{soğutucu}} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$\rightarrow \dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = 26,345 \text{ kg/s} \cdot (658,184 \text{ kJ/kg} - 273,703 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow \dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = 10129,151 \text{ kW}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_5 = T_{\text{jeotermal}} = 88^\circ\text{C} \\ P_5 = P_{\text{jeotermal}} = 400 \text{ kPa} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_5 = 368,785 \text{ kJ/kg} \\ s_5 = 1,169 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$\dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = \dot{m}_{\text{jeotermal}} \cdot (h_5 - h_6)$$

$$\rightarrow 10129,151 \text{ kW} = 380 \text{ kg/s} \cdot (368,785 \text{ kJ/kg} - h_6)$$

$$\rightarrow h_6 = 342,129 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_5 = P_6 = 400 \text{ kPa} \\ h_6 = 342,129 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_6 = 81,65^\circ\text{C} \\ s_6 = 1,095 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$\dot{Q}_{\text{yoğuşturucu}} = \dot{m}_{\text{soğutucu}} \cdot (h_2 - h_3)$$

$$\rightarrow \dot{Q}_{\text{yoğuşturucu}} = 26,345 \text{ kg/s} \cdot (620,227 \text{ kJ/kg} - 271,404 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow \dot{Q}_{\text{yoğuşturucu}} = 9189,742 \text{ kW}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_7 = 20^\circ\text{C} \\ P_7 = 101,325 \text{ kPa} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_7 = 83,928 \text{ kJ/kg} \\ s_7 = 0,2962 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} T_8 = 27^\circ\text{C} \\ P_8 = 101,325 \text{ kPa} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_8 = 113,210 \text{ kJ/kg} \\ s_8 = 0,3949 \text{ kJ/kg K} \end{array}$$

$$\dot{Q}_{\text{yoğuşturucu}} = \dot{m}_{\text{soğutucu sivi}} \cdot (h_8 - h_7)$$

$$\rightarrow 9189,742 \text{ kW} = \dot{m}_{\text{soğutucu sivi}} \cdot (113,210 \text{ kJ/kg} - 83,928 \text{ kJ/kg})$$

$$\rightarrow \dot{m}_{\text{soğutucu sivi}} = 313,836 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_{\text{pompa}} = \dot{m}_{\text{soğutucu}} \cdot (h_4 - h_3) = \dot{m}_{\text{soğutucu}} \cdot w_{\text{pompa}}$$

$$\rightarrow \dot{W}_{\text{pompa}} = 26,345 \text{ kg/s} \cdot 1,7235 \text{ kJ/kg}$$

$$\rightarrow \dot{W}_{\text{pompa}} = 45,405 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{ısıl}} = \dot{W}_{\text{net}} / \dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = (\dot{W}_{\text{türbin}} - \dot{W}_{\text{pompa}}) / \dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}}$$

$$\rightarrow \eta_{\text{ısıl}} = (1000 \text{ kW} - 45,405 \text{ kW}) / 10129,151 \text{ kW}$$

$$\rightarrow \eta_{\text{ısıl}} = 0,0942 = \% 9,42$$

**Çizelge 5.12:** Örnek Çalışmadan Elde Edilen Veriler

Nokta	Sıcaklık T (°C)	Entalpi h (kJ/kg)	Basınç P (kPa)	Entropi s (kJ/kg K)
1	80,00	658,184	1342,19	2,365
2	43,41	620,227	404,46	2,395
2s	38,35	610,75	404,46	2,365
3	30,00	271,404	404,46	1,246
4	30,58	273,703	1342,19	1,248
4s	30,35	273,128	1342,19	1,246
5	88,00	368,785	400,00	1,169
6	81,65	342,129	400,00	1,095
7	20,00	83,928	101,325	0,2962
8	27,00	113,210	101,325	0,3949

Termodinamik hesaplarını tamamlayıp; çevrim içindeki tüm elemanlarda (noktalarda) etkin değerler bulunduğuna göre sonraki aşamada çevrimin maliyetini hesaplamak olacaktır. Maliyetleri hesaplariken Çizelge 5.13'te ki çevrim elemanlarının satınalma maliyet denklemlerinden faydalanacaktır.

**Çizelge 5.13:** Çevrim Elemanlarının Satınalma Maliyet Denklemleri

Komponent	Satınalma Maliyet Denklemi (USD)
Buharlaştırıcı	$\log_{10} C_{\text{buh.}} = 4,6420 + 0,3698 \log_{10}(A_{\text{buh.}}) + 0,0025[\log_{10}(A_{\text{buh.}})]^2$
Türbin	$C_{\text{türbin}} = 4750 (\dot{W}_{\text{türbin}})^{0,75}$
Yoğuşturucu	$C_{\text{yoğ.}} = 1773 \dot{m}$
Pompa	$C_{\text{pompa}} = 1120 (\dot{W}_{\text{pompa}})^{0,8}$

Kaynak: Noroozian, 2019

Bu denklemlerde ki tek bilinmeyenimiz buharlaştırıcının alanıdır. Buharlaştırıcının alanını ortalama ısı transfer katsayısı seçerek aşağıdaki denklem sayesinde çıkartabiliriz.

$$\dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = U \cdot A_{\text{buharlaştırıcı}} \cdot \Delta T_{\text{ln}}$$

$$U = 900 \text{ W/m}^2 \text{ K (Çizelge 5.12)}$$

$$\Delta T_{\ln} = (\Delta T_1 - \Delta T_2) / \ln(\Delta T_1/\Delta T_2)$$

$$\rightarrow \Delta T_{\ln} = [(T_5 - T_1) - (T_6 - T_4)] / \ln[(T_5 - T_1) / (T_6 - T_4)]$$

$$\rightarrow \Delta T_{\ln} = [(88^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C}) - (81,65^\circ\text{C} - 30,58^\circ\text{C})] / \ln[(88^\circ\text{C} - 8^\circ\text{C})/(81,65^\circ\text{C} - 30,58^\circ\text{C})]$$

$$\rightarrow \Delta T_{\ln} = 23,234$$

$$\dot{Q}_{\text{buharlaştırıcı}} = U \cdot A_{\text{buharlaştırıcı}} \cdot \Delta T_{\ln}$$

$$\rightarrow 10129,151 \text{ kW} = 900 \text{ W/m}^2 \text{ K} \cdot A_{\text{buharlaştırıcı}} \cdot 23,234$$

$$\rightarrow A_{\text{buharlaştırıcı}} = 0,484 \text{ m}^2$$

#### Çizelge 5.14: Farklı Durumlar için Ortalama U Değerleri

Komponent	Toplam Isı Transfer Katsayısı U (W/m <sup>2</sup> K)
Jeneratör	1600
Kondansatör	1100
Soğurucu	600
Buharlaştırıcı	900
Kazan	900
Eşanjör	1000

Kaynak: Kordlar, 2017

Buharlaştırıcının alanını da bulduktan sonra Çizelge 5.11'deki denklemleri hesaplırsak;

$$\text{Buharlaştırıcı} \rightarrow 33.351 \text{ USD}$$

$$\text{Türbin} \rightarrow 884.683 \text{ USD}$$

$$\text{Yoğuşturucu} \rightarrow 46.710 \text{ USD}$$

$$\text{Pompa} \rightarrow 23.708 \text{ USD}$$

$$\text{Toplam} \rightarrow 988.452 \text{ USD}$$

Elde ettiğimiz maliyet sarf malzeme toplamıdır, bunun üstüne ortalama %45 diğer masrafları da (işçilik + tesisat + bakım, onarım vb.) (Şener ve Aksoy, 343) eklersek;

988.452 USD +45% (işçilik + tesisat + bakım, onarım vb.)

→ 1.863.232 USD → 1.9 Milyon USD

Yıllık Elektrik Üretim Miktarı;

$1.000 \text{ kW} \times 365 \times 24 \times 0,80 = 7.008.000 \text{ kWh}$

5346 Sayılı kanunun ilgili mevzuatta satış bedeli: 10,5 cent/kWh → 0,105 USD/kWh

Yıllık Üretilen Elektriğin Karı:

$7.008.000 \text{ kWh} \times 0,105 \text{ USD/kWh} = 735.840 \text{ USD}$

Geri Dönüş Süresi:

$1.900.000 \text{ USD} / 735.840 \text{ USD} = 2,6 \text{ Yıl}$

## 6. SONUÇ (TARTIŞMA ve SONUÇ)

Enerji günlük yaşantımızın vazgeçilmez bir kısmı olmuştur. Günümüzde (ve gelecekte) bir ülkenin güçlü olabilmesi; enerjiyi üretebilmekle beraber ihraç edebilmesi gerektirmektedir. Yakın geçmişe kadar fosil yakıtların çoğunluğunu elinde bulunduranın ve/veya hâkim olanın enerjiye hükmedeceği zannedilmekteydi. Ancak yapılan araştırmalar fosil yakıtların tükeneceğini göstermektedir. Bu sebepten dolayı ülkeler farklı enerji çeşitlerinin kullanılmasına yönelik çalışmalar yapmaktadırlar.

Nükleer enerjiden elektrik üretimi ile enerji probleminin çözüldüğü düşünülmekteydi. Ancak nükleer enerjinin çevreye verebileceği geri dönüştürülemez zarar göz önüne alındığında daha temiz, sağlıklı ve uzun ömürlü enerji kaynaklarının arayışı devam etmiştir. İstenilen cevap yenilenebilir enerji (güneş, rüzgâr, dalga, jeotermal vb.) ile bulunmuştur. Günümüzde en çok kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı hidroelektrik enerjisidir. Yenilenebilir enerjinin tüm dünyada kullanım oranı (2017 sonu toplam %18,1) henüz tekel konumunda değildir. Ancak yenilenebilir enerjinin daha aktif kullanımı için çalışmalar her geçen gün artarak devam etmektedir.

Özellikle fosil yakıtlara doğrudan erişimi olmayan ülkeler, yenilenebilir enerji kaynaklarına yapılan yatırımlara daha fazla yer ayırmaktadır. Çünkü ülkelerin güçlü olabilmesi, kendi üretimini yapabilmesine ve ihtiyaçlarını karşılayabilmesine ihtiyacı bulunmaktadır. Özellikle sanayinin gelişebilmesi için kesintisiz enerji kaynağı sunulabilmelidir. Bu sebepten dolayı bir ülkenin enerji ithalatı ne kadar az olursa o kadar güçlü konuma geçeceğinin göstergesi olmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olan jeotermal enerji, adından da anlaşılacağı gibi dünyanın kendi içindeki enerji çeşididir ve tükenmesi mümkün gözükmemektedir. Jeotermal enerjiden elektrik üretilebileceği gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda, konut ısıtmasında ve turizm uygulamalarında kullanılabilir. Türkiye’de özellikle termal turizm amacıyla kaplıca ve hamamlar çok uzun zamandan beri kullanılmaktadır.

TÜİK 2018 verilerine göre Türkiye'nin enerji ithalatı toplam 42 milyar dolardır. EÜAŞ 2018 faaliyet raporuna göre Türkiye kendi elektriğinin sadece %20,88'ini kendisi üretmiştir. Kalan %79,12'lik kısım diğer üretici firmalardan gelmektedir. Üretilen elektriğin %62,5'i fosil yakıtlardan temin edilmektedir. %19,8'lik kısmı hidrolik enerjidir. Jeotermal enerji yaklaşık %2 seviyesindedir.

Bağımsız kuruluşların (Dünya Enerji Konseyi, REN21 vb.) yaptığı çalışmalar Türkiye'nin bulunduğu jeolojik konum itibari (tektonik bölge) ile jeotermal enerji bakımından tüm dünyada çok büyük bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir. Bununla beraber Türkiye jeotermal enerji kapasitesi kullanım oranını artıran dünyadaki en iyi ülkeler arasında yer almaktadır. Ancak buna rağmen Türkiye kendi elektriğinin sadece %2'sini jeotermalden karşılayabilmektedir.

Yapılan araştırmalar jeotermal elektrik üretim tesisinin geri dönüş süresinin (ortalama 5,8 yıl) rüzgâr enerjisine göre çok daha kısa (ortalama 9,8 yıl) ancak hidrolik enerjiye göre biraz daha uzun (ortalama 4 yıl) olduğunu göstermektedir ve bir jeotermal elektrik üretim tesisinin projeden çalışmaya 7 yıl sürebileceği (arazini koşullarına göre daha az ve ya daha uzun olabilir) öngörülmektedir.

Ancak elektrik enerjisinin yanında jeotermal enerjiden çok farklı biçimlerde (endüstriyel uygulamalarda, konut ısıtmasında ve turizm) yararlanılabilmektedir. Ayrıca Türkiye'nin elinde bulundurduğu potansiyel göz önünde bulundurulduğunda; jeotermal enerji tesisleri üzerine daha fazla yatırım yapılmalıdır.

Jeotermal enerjiden sadece elektrik olarak değil, konut ısıtması, endüstriyel uygulamalarda daha fazla kullanılmasıyla ithal edilen enerji miktarı da düşeceğinden daha az maliyet oluşturacaktır. Ayrıca termal turizm sayesinde daha fazla gelir elde edebilecek konuma gelişilebilir.



## KAYNAKLAR

- 5686 Sayılı Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu**  
**5346 Sayılı Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunu**  
**KÜÇÜKKAYA Elif**, “Jeotermal Nedir? Jeotermal Enerji Nedir?”  
<https://www.enerjiportali.com/jeotermal-nedir-jeotermal-enerji-nedir/>, (Erişim tarihi: 20.07.2019)
- T.C. Enerji ve Tabî Kaynaklar Bakanlığı**, <https://enerji.gov.tr/> (Erişim tarihi: 20.07.2019)
- World Energy Council (WEC)**, “World Energy Resources 2016”, 2016  
<https://www.worldenergy.org/data/resources/resource/geothermal/>, (Erişim tarihi: 20.07.2019)
- Anonim**, <https://geothermal.org>, (Erişim tarihi: 20.07.2019)
- Anonim**, <https://www.enerjiatlasi.com/jeotermal/> (Erişim tarihi: 12.08.2019)
- REN21, Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**, “Renewables 2019 – Global Status Report”, 2019 <https://www.ren21.net/> (Erişim tarihi: 22.07.2019)
- IRENA, International Renewable Energy Agency, 2018 Renewable Energy Statistics**, <https://www.irena.org/geothermal>, (Erişim tarihi: 20.07.2019)
- EÜAŞ Yıllık Rapor 2018**, <http://www.euas.gov.tr>, (Erişim tarihi: 20.07.2019)
- Maden Teknik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA)**, Yıllık Faaliyet Raporu 2018, 2018, <http://www.mta.gov.tr> (Erişim tarihi: 25.07.2019)
- TAMZOK Nejat**, “Dünyada ve Türkiye’de Kömür”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.239-261, Ankara, Nisan 2018
- AYDIN Ülker, PEKER Hülya**, “Petrol Sektörünün Durumu”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.209-236, Ankara, Nisan 2018
- ÖZEN Erdinç**, “Doğal Gaz Sektör Görünümü”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.179-208, Ankara, Nisan 2018
- YILMAZ Şayende**, “Türkiye Hidroelektrik Potansiyeli ve Gelişme Durumu”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.309-330, Ankara, Nisan 2018
- İLLEEZ Bülent**, “Türkiye’de Biyokütle Enerjisi”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.391-425, Ankara, Nisan 2018
- Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü** [http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru\\_01.html](http://www.yegm.gov.tr/YEKrepa/REPA-duyuru_01.html) (Erişim tarihi: 31.07.2019)
- ALTUNTAŞOĞLU Zerrin Taç**, “Türkiye’de Rüzgâr Enerjisi”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.331-347, Ankara, Nisan 2018
- YAMANKARADENİZ Nurettin, BADEMOĞLU Ali Hüsnü, KAYNAKLI Ömer**, “Performance Assessments of Organic Rankine Cycle With Internal Heat Exchanger Based on Exergetic Approach”, Journal of Energy Resources Technology, Ekim 2018
- BADEMOĞLU Ali Hüsnü, YAMANKARADENİZ Nurettin, KAYNAKLI Ömer**, “Exergy Analysis of the Organic Rankine Cycle Based on the Pinch Point Temperature Difference”, Journal of Thermal Engineering, Nisan 2019
- KAYNAKLI Ömer, BADEMOĞLU Ali Hüsnü, YAMANKARADENİZ Nurettin, YAMANKARADENİZ Recep**, “Thermodynamic Analysis of The Organic Rankine

Cycle and the Effect of Refrigerant Selection on Cycle Performance”, Internal Journal of Energy Applications and Thecnologies, ss.101-108, 2017

**NOROOZIAN Afsaneh, NAEİMİ Abbas, BİDİ Mokhtar, AHMADİ Mohammad Hossein**, “Exergoeconomic Comparison And Optimization Of Organic Rankine Cycle, Trilateral Rankine Cycle And Transcritical Carbon Dioxide Cycle For Heat Recovery Of Low-Temperature Geothermal Water” Journal of Power and Energy, 2019

**KORDLAR M. Akbari, MAHMOUDİ S.M.S.**, “Exergoeconomic Analysis and Optimization of Novel Cogeneration System Producing Power and Refrigeration”, Energy Conversion and Management, 2017

**ÖZGÜR Evren**, “Türkiye’de Güneş Enerjisi”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.351-372, Ankara, Nisan 2018

**KAYA Tevfik**, “Jeotermal Enerji”, Türkiye’nin Enerji Görünümü 2018 Oda Raporu, TMMOB, Yayın No: MMO/691, ss.383-389, Ankara, Nisan 2018

**HULEN J.B. ve WRIGHT P.M.**, “Geothermal Enery, Clean Sustainable Energy for the Benefit of Humanity and the Environment”, University of UTAH, Mayıs 2001

**DUFFIELD Wendell A. Ve SASS John H.**, “Geothermal Enery – Clean Power From Earth’s Heat”, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, 2003

**ÇETİN Ayşegül**, “Ülkemizin Jeotermal Enerji Kapasitesi ve Yapılabilecekler”, GÖNDER Geleceği Önemseyenler Derneği, Haziran 2014

**ETEMOĞLU Akın B. Ve CAN Muhiddin**, “Jeotermal Enerjinin Endüstriyel Uygulamaları”, 2012

**DAĞDAŞ Ahmet**, “Dünyada ve Türkiye’de Jeotermal Enerji”, <http://www.hendesedergisi.com/yazardetay/37-85-dunyada-ve-turkiyede-jeotermal-enerji.aspx> , Mayıs 2015 (Erişim tarihi: 25.07.2019)

**MORET Stefano**, “Geothermal Energy”, Industrial Process and Energy Systems Engineering (IPESE), Mayıs 2015

**ETEMOĞLU Akın Burak, Mustafa Kemal İŞMAN, Muhiddin CAN**, “Bursa ve Çevresinde Jeotermal Enerjinin Kullanılabilirliğinin İncelenmesi”, Uludağ Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, C. 11, S. 1, 2006, ss.55-64.

**ERDOĞMUŞ A. Berkan, TOKSOY Macit, ÖZERDEM M. Barış, GÜLŞEN Engin**, “Jeotermal Bölge Isıtma Sistemlerinde Maliyet Analizi” ss.449-482. <http://mmoteskon.org/wp-content/uploads/2014/12/2003JEO-20.pdf> (26.08.2019).

**ERKUL Hüseyin**, “Jeotermal Enerjinin Ekonomik Katkıları ve Çevresel Etkileri: Denizli-Kızıldere Jeotermal Örneği”, Yönetim Bilimleri Dergisi C. 10, S. 19, 2012, ss. 115-133.

**Anonim**, <https://www.ekodialog.com/Konular/enerji-ekonomisi-ve-enerji-politikasi.html> (Erişim tarihi: 26.08.2019).

**ÇETİN Murat, KIRCI Buket, SAYGIN Selin, ALAŞAHAN Yonca**, “Ekonomik Büyüme, Finansal Gelişme, Enerji Tüketimi ve Dış Ticaretin Çevre Kirliliği Üzerindeki Etkisi: Türkiye Ekonomisi İçin Bir Nedensellik Analizi (Economic Growth, Financial Development, Energy Consumption And Foreign Trade Impact On The Environmental: A Causality Analysis For Turkish Economy (1960-2013))”, Balkan Sosyal Bilimler Dergisi, C. 7, S. 13, 2018, ss. 26-43. <http://acikerisim.nku.edu.tr:8080/xmlui/handle/20.500.11776/2706> (26.08.2019)

**AYDIN Fatma Fehime**, “Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme”, Erciyes Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, S. 35, Ocak-Temmuz 2010, ss. 317-340.

**ERDOĞAN Savaş, GÜRBÜZ Süleyman**, “Türkiye’de Enerji Tüketimi ve Ekonomik Büyüme İlişkisi: Yapısal Kırımlı Zaman Serisi Analizi”, Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, S. 32, 2014, ss. 79-87.

**Anonim**, <https://www.termodinamik.info/turkiye-enerji-potansiyeli-ve-yatirim-uretim-maliyet-analizi> (Erişim tarihi: 26.08.2019)

**BİÇİCİ Rahim**, Türkiye’de Enerji Ekonomisi, (Yüksek Lisans Tezi), Zonguldak: Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2008

**Anonim**, <https://www.iktisatsozlugu.com/nedir-3013-ENERJ%C4%B0%20EKONOM%C4%B0S%C4%B0#.XWU-xegzbIV> (Erişim tarihi: 27.08.2019)

**Anonim**, <https://www.ekodialog.com/Konular/enerji-ekonomisi-ve-enerji-politikasi.html> (Erişim tarihi: 27.08.2019)

**GOLDSTEIN Barry ve HIRIART Gerardo**, “Geothermal Energy”, Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation Special Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, ss. 401 – 436, 2012

**BLODGETT Leslie**, “Geothermal 101: Basics of Geothermal Energy”, Geothermal energy Association, 2014

**ZAİM Arda ve ÇAVŞI Hande**, “Türkiye’deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu”, Mühendis ve Makine, cilt 59, sayı 691, s. 45-58, 2018

**MUTLU Ediz**, Türkiye’de Yenilenebilir Enerji Ekonomisi ve Ankara İline Ait SWOT Analizi. (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul: Kültür Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 2013.

**KAYA Kadir, KOÇ Erdem**, “Enerji Üretim Santralleri Maliyet Analizi”,

**ŞENER Adil Caner, AKSOY Niyazi**, “Jeotermal Güç Ekonomisi: Genel Bakış”, Jeotermal Enerji Semineri, ss.34-348, 2007

**Anonim**, <https://www.termodinamik.info/turkiye-enerji-potansiyeli-ve-yatirim-uretim-maliyet-analizi> (Erişim tarihi: 28.08.2019)

**AYDIN Levent**, “Enerji Ekonomisine Giriş” Seçkin Yayınevi, 2018

**ŞAHİN Hüseyin**, “Türkiye Ekonomisi”, Ezgi Kitabevi, 2014

**ÇENGEL YUNUS A. Ve BOLES MICHAEL A.**, “Thermodynamics An Engineering Approach”, McGraw-Hill, 2006

**ERTUĞRUL Ömer Faruk ve KURT M. Bahattin**, “Yenilenebilir Enerji Kaynakları Maliyet Analizi ve Sürdürülebilir Yek Uygulamaları” V. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu, Diyarbakır, 2009

**TMMOB (2014)**, Cumhuriyet Türkiye’si’nin Sanayileşmede İlk Önemli Adımı: Birinci Beşyillik Kalkınma Sanayi Planı: 1934-1938, (Derleyen Fikret Yücel), TMMOB, Elektrik Mühendisleri Odası, Ankara.

**Anonim**, <https://ekonomihukuk.com/turkiye-ekonomisi/turkiyede-planli-kalkinma-donemi/> (Erişim tarihi, 15 Eylül 2019).

**DPT (1963)**, Birinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1963-1967), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara

**DPT (1967)**, İkinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1968-1972), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (1972)**, Üçüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1973-1977), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (1979)**, Dördüncü Beş Yıllık Kalkınma Planı (1979-1983), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (1985)** Beşinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1985-1989), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (1990)** Altıncı Beş Yıllık Kalkınma Planı (1990-1994), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (1995)** Yedinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (1996-2000), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (2000)** Sekizinci Beş Yıllık Kalkınma Planı (2001-2005), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (2001)**, Sekizince Beş Yıllık Kalkınma Planı, Elektrik Enerjisi Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Ankara, 2001.

**DPT (2007)** Dokuzuncu Beş Yıllık Kalkınma Planı (2007-2013), Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**DPT (2009)**, Madencilik Özel İhtisas Komisyonu, Enerji Hammaddeleri (Linyit, Taşkömürü, Jeotermal) Çalışma Grubu Raporu, Dokuzuncu Kalkınma Planı, Devlet Planlama Teşkilatı, Ankara.

**KALKINMA BAKANLIĞI (2013)**, Onuncu Kalkınma Planı, Kalkınma Bakanlığı, Ankara.

**KALKINMA BAKANLIĞI (2014)**, Enerji Güvenliği ve Verimliliği Özel İhtisas Komisyonu Raporu, Onuncu Kalkınma Planı, Kalkınma Bakanlığı, Ankara.

**SBB (2019)**, On Birinci Kalkınma Planı (2019-2023), Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara.

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Emir Cihan ALPER  
Doğum Yeri ve Tarihi : Bursa / 1987  
Yabancı Dil : İngilizce / Almanca

Eğitim Durumu  
Lise : Şükrü Şankaya Anadolu Lisesi  
Lisans : Karadeniz Teknik Üniversitesi  
Yüksek Lisans : Bursa Uludağ Üniversitesi

Çalıştığı Kurum/Kurumlar : Angst + Pfister Endüstriyel Çözümler

İletişim (e-posta) : [emircihanalper@gmail.com](mailto:emircihanalper@gmail.com)

Yayınları :