

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**JEOTERMAL SİSTEMLERDE FLASH BUHAR ve  
BINARY SİSTEMLERİN BİRLİKTE KULLANIMININ ENERJİ  
ve EKSERJİ ANALİZİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
Hatice SÜREN**

**Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği**

**Programı: Yüksek Lisans**

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK**

**HAZİRAN, 2012**

## YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 091111028 no'lu öğrencisi Hatice SÜREN tarafından hazırlanan "**JEOTERMAL SİSTEMLERDE FLASH BUHAR ve BINARY SİSTEMLERİN BİRLİKTE KULLANIMININ ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZİ**" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

**Tez Danışmanı:** Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK (PAÜ)




**Jüri Üyesi:** Prof.Dr. Rasim KARABACAK (PAÜ)  
**(Jüri Başkanı)**



**Jüri Üyesi:** Yrd.Doç.Dr. Engin ÇETİN (PAÜ)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 01/08/2022. tarih ve .....19/26.. sayılı kararıyla onaylanmıştır.

  
Prof.Dr. Nuri KOLSUZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza :

Öğrenci Adı Soyadı : Hatice SÜREN

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada jeotermal sistemlerde binary ve flash buhar sistemlerinin birlikte kullanımının enerji ve ekserji analizi incelenmiştir. Bu yüksek lisans tezinde öncelikle, bana konuyu öneren ve çalışma süresince bilgi ve deneyimleri ile yol gösteren ve yardımını esirgemeyen değerli Hocam Doç. Dr. Harun Kemal ÖZTÜRK'e, desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Çalışmamda gerekli verileri sağladıkları için Zorlu Jeotermal Enerji Santrali çalışanlarına ve Bereket Jeotermal Enerji Santrali çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamın her aşamasında desteğini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşmaktan çekinmeyen Yrd.Doç.Dr. Ahmet YILANCI, Yrd.Doç.Dr. Engin ÇETİN, Araş.Gör. Öner ATALAY, Araş.Gör. Çiğdem ERSAN,sevgili dostum Namık Kemal ODABAŞ ve ağabeyim Barış ERSOY'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Her zaman yardımını ve desteğini eksik etmeyen ve beni bugünlere getiren, yüzümden gülümsemenin eksik olmaması için her şeyi yapmaya çalışan sevgili babam Cihangir SÜREN'e, sevgili annem Leyla SÜREN'e, canım kardeşim Çağatay SÜREN'e sonsuz teşekkür ederim.

Son olarak Erikoğlu Holding Yönetim Kurulu Üyeleri,sayın Hüseyin ERİKOĞLU, sayın Erman ERİKOĞLU ve sayın A. Nuri ERİKOĞLU'na bana karşı gösterdikleri hoşgörü ve desteklerinden dolayı teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2012

Hatice SÜREN  
(Makine Müh.)

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Genel .....	1
1.2 Tezin Amacı .....	1
1.3 Tezin Önemi .....	2
1.4 Tezin Kapsamı .....	3
<b>2. LİTERATÜR TARAMASI .....</b>	<b>5</b>
2.1 Genel .....	5
<b>3. ENERJİ .....</b>	<b>9</b>
3.1 Enerjinin Tanımı .....	9
3.1.1 Dünyanın Enerji Durumu .....	9
3.1.2 Türkiye'nin Enerji Durumu .....	11
3.2 Enerji Kaynakları .....	11
3.3 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması .....	12
3.4 Yenilenemeyen enerji kaynakları .....	13
3.4.1 Gaz formdaki enerji kaynakları (doğalgaz) .....	13
3.4.1.1 Doğalgazın dünyadaki durumu .....	14
3.4.1.2 Doğalgazın Türkiye'deki durumu .....	14
3.4.2 Sıvı formdaki enerji kaynakları (petrol, katran) .....	15
3.4.2.1 Petrolün dünyadaki durumu .....	15
3.4.2.2 Petrolün Türkiye'deki durumu .....	16
3.4.3 Katı formdaki enerji kaynakları (kömür) .....	16
3.4.3.1 Kömürün dünyadaki durumu .....	17
3.4.3.2 Kömürün Türkiye'deki durumu .....	19
3.4.4 Nükleer enerji .....	20
3.4.4.1 Nükleer enerjinin dünyadaki durumu .....	21
3.5 Yenilenebilir enerji kaynakları .....	21
3.5.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyadaki durumu .....	22
3.5.2 Yenilenebilir enerji kaynaklarının Türkiye'deki durumu .....	24
3.5.3 Güneş enerjisi .....	24
3.5.3.1 Güneş enerjisinin dünyadaki durumu .....	25
3.5.3.2 Güneş enerjisinin Türkiye'deki durumu .....	25
3.5.4 Rüzgâr enerjisi .....	26
3.5.4.1 Rüzgâr enerjisinin dünyadaki durumu .....	27
3.5.4.2 Rüzgâr Enerjisinin Türkiye'deki durumu .....	28
3.5.5 Jeotermal enerji .....	28
3.5.5.1 Jeotermal enerjinin dünyadaki durumu .....	28
3.5.5.2 Jeotermal enerjinin Türkiye'deki durumu .....	29
3.5.6 Biyokütle enerjisi .....	30
3.5.6.1 Biokütle enerjisi ve biyoyakıtların dünyadaki durumu .....	30

3.5.6.2 Biokütle enerjisi ve biyoyakıtların Türkiye’deki durumu.....	31
3.5.7 Biyogaz Enerjisi .....	32
3.5.8 Hidrojen Enerjisi .....	32
3.5.9 Hidrolik Enerji .....	33
3.5.9.1 Hidrolik enerjinin dünyadaki durumu.....	33
3.5.9.2 Hidrolik enerjinin Türkiye’deki durumu.....	35
<b>4. JEOTERMAL ENERJİ.....</b>	<b>36</b>
4.1 Jeotermal Enerjinin Tanımı.....	36
4.2 Jeotermal Enerjinin Tarihçesi .....	38
4.3 Jeotermal Enerjinin Üstünlükleri .....	41
4.4 Jeotermal Enerji Kaynakları.....	43
4.5 Sıcaklığa Göre Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları .....	44
4.6 Dünyada Jeotermal Enerjinin Durumu .....	45
4.7 Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Durumu.....	47
4.8 Jeotermal Enerji ve Çevre .....	53
4.8.1 Çevreye Fiziksel Etkileri.....	53
4.8.1.1 Gürültü .....	53
4.8.1.2 Sondaj.....	54
4.8.1.3 Doğal Alana Etkiler .....	54
4.8.1.4 Hidrotermal Püskürme .....	55
4.8.1.5 Yüzey Çökmesi .....	55
4.8.1.6 Mikrodepremler .....	56
4.8.1.7 Su .....	56
4.8.2 Kimyasal Etkileri .....	56
4.9 Jeotermal Enerji İle Elektrik Üretimi.....	57
4.10 Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretmek İçin Kullanılan Güç Çevrimleri....	57
4.10.1 Kuru Buhar Santralleri .....	58
4.10.2 Flash buhar santralleri .....	60
4.10.2.1 Tek Püskürtmeli Sistemler .....	60
4.10.2.1 Çift Püskürtmeli Sistemler .....	61
4.10.3 Binary Cycle Santralleri (ikili çevrim).....	62
4.11 Tekrar Basma (Re-Enjeksiyon).....	63
4.11.1 Tekrar Basmanın Yararları.....	64
<b>5. ENTROPİ .....</b>	<b>65</b>
5.1 Entropinin Tanımı .....	65
5.2 Spesifik (Özgül) Entropi .....	66
5.3 İsentropik (Sabit Entropili) İşlem .....	67
<b>6. EKSERJİ ANALİZİ .....</b>	<b>68</b>
6.1 Giriş.....	68
6.2 Ekserjinin Tanımı.....	68
6.3 Tersinir ve Tersinmez Süreçler .....	70
6.3.1 Bazı Temel Tanımlar .....	70
6.4 Ölü Hal (Dead State).....	71
6.5 Ekserji Çeşitleri.....	72
6.5.1 Fiziksel Ekserji.....	73
6.5.1.1 İdeal Gazların Fiziksel Ekserjileri.....	75
6.5.1.2 Katı ve Sıvıların Fiziksel Ekserjileri.....	75
6.5.2 Kimyasal Ekserji .....	76
6.5.2.1 Gaz Karışımlarının Kimyasal Ekserjileri.....	76
6.5.2.2 Yakıtların Kimyasal Ekserjilerinin Hesaplanması.....	77

6.5.2.3 Isıl Ekserji .....	78
6.5.4 İş Ekserjisi .....	78
6.5.5 Isı Transferinin Ekserjisi .....	78
6.6 Ekserji Kaybı.....	78
6.6.1 Kısmi Olayında Meydana Gelen Ekserji Kaybı .....	79
6.6.2 Sürtünmeden Dolayı Ekserji Kaybı .....	79
6.6.3 Sonlu Sıcaklık Farkındaki Isı Transferinde Ekserji Kaybı .....	79
6.7 Ekserjilerine Göre Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması .....	80
6.8 Açık ve Kapalı Sistemlerin Birinci ve İkinci Kanun Açısından Ele Alınması .....	81
<b>7. BINARY ve FLASH BUHAR SANTRALLERİNİN ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZİ.....</b>	<b>86</b>
7.1 Denizli Zorlu Kızıldere Jeotermal Santrali (Tek Flash Santrali) .....	86
7.1.1 Kızıldere Jeotermal Sahası .....	87
7.1.2 Zorlu Jeotermal Santralinin santral çalışma prensibi .....	93
7.1.3 Santralin Enerji ve Ekserji Analizi.....	93
7.2 Denizli Bereket Enerji Jeotermal Santrali (Binary Santrali).....	109
7.2.1 Santralin Enerji ve Ekserji Analizi.....	115
<b>8. ZORLU JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ'NİN VE BEREKET ENERJİ SANTRALİ'NİN BİRLİKTE KULLANIMININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ .....</b>	<b>127</b>
<b>9. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>130</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>132</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>137</b>

## KISALTMALAR

<b>PV</b>	: Fotovoltaik
<b>CSP</b>	: Yoğun Toplaç
<b>TMMOB</b>	: Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği
<b>EPDK</b>	: Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
<b>EİE</b>	: Elektrik İşleri Etüt İdaresi
<b>YEK</b>	: Yenilenebilir Enerji Kanunu
<b>TEİAŞ</b>	: Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi
<b>ETKB</b>	: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
<b>WEC</b>	: Dünya Enerji Konseyi
<b>BP</b>	: British Petroleum
<b>IEA</b>	: Uluslararası Enerji Ajansı
<b>WNA</b>	: Dünya Nükleer Birliği
<b>IHA</b>	: Uluslararası Hidroenerji Birliği
<b>GWEC</b>	: Global Rüzgâr Enerjisi Konseyi
<b>EWEA</b>	: Avrupa Rüzgâr Enerjisi Ajansı
<b>WSS</b>	: Dünya Şeker İstatistikleri
<b>GSYİH</b>	: Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
<b>TTK</b>	: Türkiye Taş Kömürü Kurumu
<b>TKİ</b>	: Türkiye Kömür İşletmeleri
<b>EÜAŞ</b>	: Elektrik Üretim A.Ş.
<b>MTA</b>	: Maden Tetkik Arama
<b>REPA</b>	: Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlası
<b>DPT</b>	: Devlet Planlama Teşkilatı



## TABLO LİSTESİ

### Tablolar

3.1: Türkiye Genel Enerji Tüketiminde Kaynakların Payları .....	14
3.2: TTK Ruhsatlı Kömür Sahalarına Ait Rezervler (2009) .....	19
3.3: 2009 Sonu İtibarıyla Kurumlara Ait Linyit Rezervleri .....	19
3.4: Bazı Ülkelerin Nükleer Santral Sayısı ve Elektrik Üretimindeki Oranları .....	21
3.5: Enerji Kaynaklarının Dünya Enerji Arzındaki Payları .....	23
3.6: Yenilenebilir Elektrik Kurulu Gücü .....	23
3.7: Nihai Enerji Tüketimine Yenilenebilir Enerji Katkısı .....	23
3.8: Küresel Rüzgâr Enerjisi Pazarındaki İlk On Ülke .....	27
3.9: 2010 Yılı İtibarıyla Toplam Jeotermal Kapasite ve Kullanım .....	29
3.10: 2010 Yılı İtibarıyla Jeotermal Kullanımın Kıtalaraya Göre Dağılımı .....	29
3.11: Dünya Bioetanol Üretimi .....	31
4.1: 2007 İtibarıyla Ülkelerin Jeotermal Elektrik Kurulu Gücü .....	47
4.2: Türkiye’de Elektrik Üretimine Uygun Sahalar .....	48
4.3: Türkiye'deki Mevcut Jeotermal Kullanım Kategorileri .....	49
6.1: Enerji ve Ekserji Kavramlarının Karşılaştırılması .....	69
7.1: 2011 Yılı Aylara Göre Güç Üretimi .....	89
7.2: 2000-2011 Yılları Arasındaki Yıllık Güç Üretimi .....	90
7.3: Santrale ait hesaplanan 27 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri .....	95
7.4: Santrale ait hesaplanan 20 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri .....	107
7.5: Santrale ait hesaplanan 7 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri .....	108
7.6: Santrale ait hesaplanan 27 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri .....	111
7.7: Santrale ait hesaplanan 15 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri .....	124
7.8: Santrale ait hesaplanan 37 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri .....	125

## ŞEKİL LİSTESİ

### Şekiller

3.1: Dünyada Yıllara Göre Tüketilen Enerji ve Elde Edildiği Kaynaklar .....	10
3.2: Kişi Başına Düşen GSYİH ve Elektrik Tüketimi .....	11
3.3: Dünya İspatlanmış Doğalgaz Rezervleri, 2009 Sonu .....	14
3.4: Dünya İspatlanmış Petrol Rezervleri, 2009 Sonu .....	16
3.5: Dünya Kömür Rezervleri, 2009 Sonu .....	17
3.6: 2009 Yılı Dünya Kömür Tüketimi .....	18
3.7: 2007 Yılı Ülkelerin Elektrik Üretiminde Kömürün Payı .....	18
3.8: Türkiye Linyit Rezervlerinin Kalorifik Dağılımı .....	20
3.9: Tipik Bir Filyon Reaksiyonu .....	20
3.10: Yenilenebilir Enerji kaynakları .....	22
3.11: 2009 Yılı Dünyadaki Güneş Pili Kurulu Güç Dağılımı .....	25
3.12: Türkiye Güneşlenme Haritası .....	26
3.13: Küresel Kümülatif Rüzgâr Kurulu Gücü (1996-2009) .....	27
3.14: Dünya Birincil Enerji Talebi İçin Referans Senaryo .....	30
3.15: Dünyada Kurulu Hidrolik Güç Dağılımı .....	34
3.16: Dünyada Hidrolik Enerji Potansiyeli ve Geliştirilme Durumları .....	34
3.17: Dünyada Kurulu Hidrolik Güç Dağılımı .....	34
3.18: EPDK'na Başvuran HES Projelerinin Gelişme Durumları .....	35
4.1: Jeotermal Enerjinin Oluşumunu .....	37
4.2: Yerkürenin Bileşenlerini ve Sıcaklık Dağılımı .....	37
4.3: Jeotermal Sistemin Kaynağı .....	38
4.4: Sıcaklığa Göre Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları .....	45
4.5: Yüksek Sıcaklıklı Jeotermal Kuşaklar .....	46
4.6: Türkiye'de Jeotermal Potansiyel Alanların Bölgelere Göre Dağılımı .....	48
4.7: Türkiye Jeotermal Kaynaklar Dağılımı ve Uygulama Haritası .....	51
4.8: Türkiye Jeotermal Kaynakları ve Uygulama Haritası .....	52
4.9: Kondensersiz Kuru Buhar Çevrim Jeotermal Elektrik Santrali .....	58
4.10: Kondenserli Kuru Buhar Çevrim Jeotermal Elektrik Santrali .....	59
4.11: Tek Buharlaştırmalı Sistem Akış Şeması .....	61
4.12: Çift Buharlaştırmalı Sistem Akış Şeması .....	62
4.13: İkili Çevrim Sistemi Akış Şeması .....	63
4.14: Kızıldere Jeotermal Sahası Yer Bulduru Haritası .....	59
6.1: Tersinir ve Tersinmez Süreçler .....	70
6.2: Ekserji Çeşitleri .....	73
6.3: Bir Durumda Bulunan Sistemin Ekserji Farkı .....	74
6.4: İki Durumda Bulunan Sistemin Ekserji Farkı .....	75
6.5: Jeotermal Kaynakların Mollier Diyagramında Sınıflandırılması .....	80
6.6: Türkiye ve Dünyadaki Bazı Jeotermal Kaynakların Sınıflandırma Haritasındaki konumları .....	87
7.1: Denizli Kızıldere Zorlu Jeotermal Santrali .....	88

7.2: Yer Bulduru Haritası.....	88
7.3: Kızıldere Jeotermal Santrali.....	84
7.4: Santralin Şematik Gösterimi .....	91
7.5: Denizli Bereket Enerji Jeotermal Santrali.....	109
7.6: Denizli Bereket Enerji Jeotermal Santrali Sistem Şeması .....	113
8.1: Zorlu Enerji Jeotermal Santrali Ekserji Akış Diyagramı.....	127
8.2 :Bereket Enerji Jeotermal Santrali Ekserji Akış Diyagramı.....	128
8.3 Zorlu ve Bereket Enerji Jeotermal Santralinin Birlikte Kullanımının Ekserji Akış Diyagramı.....	129

## SEMBOL LİSTESİ

c:	Özgül ısı, (kJ/kg K)
cp:	Sabit basınçta özgül ısı, (kJ/kg K)
e:	Özgül ekserji, (kJ/kg)
J:	Ekserji, (kW)
J <sub>fz</sub> :	Fiziksel ekserji, (kW)
J <sub>k</sub> :	Kinetik ekserji, (kW)
J <sub>km</sub> :	Kimyasal ekserji, (kW)
J <sub>p</sub> :	Potansiyel ekserji, (kW)
J <sub>t</sub> :	Termal ekserji, (kW)
h:	Entalpi, (kJ/kg)
h <sub>0</sub> :	Çevre (ölü hal) entalpisi, (kJ/kg)
H:	Isıl değer (kJ)
m:	Kütle, (kg)
P:	Basınç, (MPa)
P <sub>0</sub> :	Çevre (ölü hal) basıncı, (MPa)
R:	Gaz sabiti, (kJ/kg K)
s:	Entropi, (kJ/kg K)
s <sub>0</sub> :	Çevre (ölü hal) entropisi, (kJ/kg K)
T:	Sıcaklık, (K)
T <sub>0</sub> :	Çevre (ölü hal) sıcaklığı, (K)
W:	İş gücü, (kW)
η	Birinci kanun verimi
η <sub>II</sub> :	Ekserjetik verim

## ÖZET

### **JEOTERMAL SİSTEMLERDE FLASH BUHAR ve BINARY SİSTEMLERİN BİRLİKTE KULLANIMININ ENERJİ ve EKSERJİ ANALİZİ**

Bu çalışmada, “binary” ve “flash buhar” çevrim santrallerinden bahsedilmiş, var olan donanımlar tanıtılmış; sistemin ve donanımlarının termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre enerji ve ekserji hesaplama denklemleri gösterilmiştir.

Denizli Bereket Enerji Binary Jeotermal Santrali ve Denizli Zorlu Kızıldere Flash Buhar Jeotermal Santrali tanıtılmış, sahaların özellikleri ve santrallerin akış özellikleri ve donanımları hakkında bilgi verilmiştir.

Ekserji analizinin amacı jeotermal güç santrallerini tanımlamak ve ekserji kayıplarını hesaplamaktır ayrıca Denizli Bereket Enerji Binary Jeotermal Santrali ve Denizli Zorlu Kızıldere Flash Buhar Jeotermal Santrali'nin birleştirildiği varsayılarak bu doğrultuda ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Böylece kayıpların nerelerde yoğunlaştığı, jeotermal sahalara göre ayrı ayrı saptanarak performans artırımı yapılabilir.

**Anahtar sözcükler:** Bereket Jeotermal Santrali, Zorlu Kızıldere Jeotermal Santrali, Binary çevrim, Ekserji, Ekserjetik verim, Jeotermal sistemler, Flash buhar santrali, Jeotermal enerji, Elektrik üretimi, Enerji.

## SUMMARY

### **ENERGY AND EXERGY ANALYSIS ON GEOTHERMAL SYSTEMS OF USAGE OF FLASH VAPOR AND BINARY SYSTEMS IN CONJUNCTION**

In this research; Binary and Flash steam cycle power plant has been mentioned, the existing equipments have been introduced, the equations of energy and exergy calculations according to 1st and 2nd Law of thermodynamics of the system and equipments have been showed.

Denizli Bereket Energy Binary Geothermal Power Plant and Denizli Zorlu Kızıldere Flash Steam Geothermal Power Plant have been determined and information about the features of the plants and flow specifications and equipments has been given.

The main objective of exergy analysis is to determine the geothermal power plants and calculate exergy loss of the system. These two systems have been assumed to be integrated and the calculations have been made following this way. As a result of this whereas the losses condensed have been examined and separately for geothermal plants to increase the performances of the plants.

**Key Words:** Bereket Geothermal Power Plant, Zorlu-Kızıldere Geothermal Power Plant, Binary Cycle, Exergy, Exergetic Efficiency, Geothermal systems, Flash steam power plants, Geothermal energy, Electricity generation, Energy.

## **1. GİRİŞ**

### **1.1 Genel**

Dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması gerçeğinin giderek daha geniş kesimlerce anlaşılması, hükümetleri enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerji savurganlığını önlemeye yöneltmiştir. Bu olgu bilimsel çevreleri de enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve var olan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye itmiştir.

Enerji, özellikle de elektrik enerjisi, insan yaşamı ve sanayi üretimi için olmazsa olmaz temel unsurlardan bir tanesidir. Elektrik enerjisinin olmadığı bir yaşam, neredeyse olasılık dışıdır. Gerek dünyada gerek ülkemizde nüfus artışı, teknolojinin gelişimi ile artan konfor ve buna bağlı olarak tüketimin artışı enerji talebini hızla artırmaktadır. Enerji açığı, ülkemizde de yeni enerji kaynakları ve enerji tüketiminin üzerinde daha fazla düşünülmesini, hızlı bir şekilde alternatif kaynak arayışını gerekli hale getirmiştir. Birincil enerji kaynağı olarak kullanılan fosil yakıtların sera gazı emisyonları ile küresel ısınma ve iklim değişikliğine yol açması, alternatif olarak sunulan nükleer enerjinin ise tehlikeli, toplumsal, çevresel ve ekonomik açıdan oldukça maliyetli olması, ülkelerin öz kaynaklarını daha etkin bir biçimde kullanımını zorunlu kılmaktadır. Günümüzde doğal dengenin kurulması, yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılmasının önemini giderek artırmaktadır.

### **1.2 Tezin Amacı**

Bu tezin amacı;

- Jeotermal sistemlerde elektrik üretiminin, flash buhar ve binary sistemlerinin birlikte kullanılması durumu için enerji ve ekzerji analizinin incelenmesi
- Flash buhar ve binary sistemlerin veriminin incelenmesi

- Türkiye’de jeotermal sistemlerden elektrik elde edilen santrallerin incelenmesi
- Jeotermal saha içerisinde üretim kuyularından çıkan akışkanın enerji ve ekzerji değerlerinin incelenmesi
- Çevre sıcaklık ve basıncının elektrik üretimi ve ekzerji verimliliği üzerine etkisinin incelenmesidir.

### **1.3 Tezin Önemi**

Jeotermal, yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, kimyasallar içeren sıcak su, buhar ve gazlardır.

Jeotermal Enerji ise bu jeotermal kaynaklardan ve bunların oluşturduğu enerjiden doğrudan veya dolaylı yollardan faydalanmayı kapsamaktadır. Yerkabuğunun derinliklerinde var olan bu ısı kaynağı, henüz soğumasını tamamlamamış bir mağma kütlesi veya genç bir volkanizma ile ilgilidir. Yerkabuğunun kırık ve çatlaklarından derinlere süzülen meteorik sular bu ısı kaynağıyla ısıtıldıktan ve mineralce zenginleştikten sonra yoğunluk farkı ve basınç nedeni ile yükselirler. Hidrotermal sistem olarak bilinen bu sistemde, akışkan, kırıklar aracılığı ile yeryüzüne ulaşarak termal kaynakları oluşturur; ya da sondajlarla çıkartılarak ekonomik kullanıma dönüştürülür.

Jeotermal akışkanı oluşturan sular, meteorik ve jüvenil kökenli veya her ikisinin çeşitli oranlarda karışım ile oluştuklarından, yerkabuğundaki hazneler sürekli olarak beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Beslenmedeki mevsimsel ve yıllık değişimlerin genellikle etkisi olmakla birlikte, pratikte beslenmenin üzerinde bir tüketim olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi söz konusu değildir.

Jeotermal enerji yenilenebilir, sürdürülebilir, tükenmez bir enerji kaynağıdır. Türkiye gibi jeotermal enerji açısından şanslı ülkeler için bir özkaynak teşkil eder, temiz ve çevre dostudur. Yanma teknolojisi kullanılmadığı için sifıra yakın emisyonu sebebiyet vermesi; konutlarda, serada, tarımda, endüstride ve benzeri alanlarda çok amaçlı ısıtma uygulamalar için ideal enerji kaynağıdır. Rüzgâr, yağmur, güneş gibi meteorolojik şartlardan bağımsızdır. Kullanıma hazır niteliği ile fosil enerji veya diğer enerji kaynaklarına göre çok daha ucuzdur. Arama kuyuları doğrudan üretim tesislerine ve bazen de reenjeksiyon alanlarına dönüştürülebilir. Yangın, patlama,



zehirleme gibi risk faktörleri taşımaz, güvenilir enerjidir. Üretiminde (hidroelektrik, güneş, rüzgâr, fosil enerji)'nin aksine tesis alanı ihtiyacı asgari düzeydedir.

Yerel niteliği nedeniyle uluslararası konjonktür, krizler, savaşlar gibi faktörlerden etkilenmez. Jeotermal enerji, konutlara fuel-oil, mazot, gaz, kömür, odun taşınması gibi problematikler içermediği için yerleşim alanlarında kullanımının rahatlığı gibi nedenlerle büyük avantajlar sağlar.

Jeotermal kaynakların gelişmiş teknoloji ile yüksek verimli ve entegre kullanılmalarına yönelik araştırma-geliştirme çalışmaları artırılmalıdır.

Bu araştırmada özellikle, jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm verimini artıran (çift buharlaştırıcı sistemler) ve düşük sıcaklıktaki jeotermal akışkanlardan elektrik üretimine imkan sağlayan yeni teknolojiler (ikili çevrim teknolojileri) üzerinde durulacaktır.

#### **1.4 Tezin Kapsamı**

Yeraltından çıkarılan jeotermal akışkanın tamamen buhar fazında olması yaygın değildir. Çıkarılan jeotermal akışkan genellikle sıvı-buhar karışımıdır. Bu durumlarda buhar yüzdesi yeterince yüksekse buhar sıvıdan ayrıştırılır ve buhar türbine gönderilirken kalan sıvı yer altına enjekte edilir.

Flash buhar sistemlerde yer altından çıkarılan jeotermal akışkanın sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda püskürtme işlemi birden fazla tekrarlanabilir. İlk püskürtmeden sonra elde edilen buhar türbine gönderildikten sonra kalan sıvının basıncı veya sıcaklığı hala yüksek ise bu sıvı ikinci bir püskürtme havuzunda tekrar püskürtülür. Sıvının belli bir yüzdesi buharlaşır ve bu buhar türbine gönderilir. İkinci püskürtmeden elde edilen buharın basıncı ilk püskürtmeden elde edilen buhar basıncından daha düşük olduğundan düşük basınçlı buharın, türbine daha düşük bir basınç kademesinde alınması sağlanır. Alternatif olarak santralde düşük basınçlı buhar için ikinci bir türbin kullanılabilir. Püskürtme sayısına göre jeotermal çevrim tek püskürtmeli ve çift püskürtmeli olarak adlandırılırlar. İkinci püskürtme, çevrimden elde edilecek gücü arttırmakla birlikte beraberinde gelen ek yatırım ve işletme masrafları dikate alındığında ekonomik olmayabilir. Pratikte çift püskürtmeli

jeotermal santrallere rastlanmakla beraber ikiden fazla püskürtme ekonomik olmadığı için uygulanmamaktadır.

Binary (İkili) sistemlerde düşük sıcaklıkta (genellikle 170 °C'nin altı) ve sıvı ağırlıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde ikincil çevrim diye adlandırılan bir sistem kullanılır. Bu sistemde türbinden geçen aracı akışkan jeotermal buhar değil fakat ikincil akışkan adı verilen ve kaynama sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığından çok daha düşük olan bir akışkandır. Bu çevrimde jeotermal akışkan çevrimin ısı kaynağını oluşturur. İzobütan, İzopentan, Pentan ve R-114, ikincil çevrim santrallerinde yaygın olarak kullanılan ikincil akışkanlardır. Çalışmada hem flash hem de ikili çevrim yapan santraller ele alınarak üretim yöntemleri incelenecek, santrallerin çalışma durumundaki enerji üretim ve tüketim özellikleri tanımlanarak gerekli hesaplamalar yapılacaktır. Bunun yanında her sistem için santrallerin I. ve II. yasa analizleri ile termodinamik hesapları yapılarak enerji-ekserji verimleri incelenecektir. Yapılan hesaplama sonuçları, yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılacaktır.

## 2. LİTERATÜR TARAMASI

### 2.1 Genel

Bu çalışmanın yöntemi oluşturulurken, araştırma konusu ile ilgili incelemelerin olduğu eserler incelenmiş, bu incelemeler sonucunda çalışmaya faydası olabilecek genel teorik kavramlar ve çeşitli veriler değerlendirilip, yorumlanarak genelden özele doğru ilerleyen tümdengelimci bir yaklaşım izlenmiştir. (Rogers ve Mayhew, 1993)

Bu tezin konusu jeotermal sistemlerde elektrik üretiminin, flash buhar ve binary sistemlerinin birlikte kullanılarak enerji ve ekserji analizinin yapıp incelenmesidir. Özellikle jeotermal enerjinin elektrik enerjisine dönüşüm verimini artırma üzerinde durulacaktır. (Rogers ve Mayhew, 1993)

Ekserjinin temeli 1870'li yıllara uzanmaktadır. İlk olarak J.W. Gibbs tarafından 1878 yılında ortaya çıkmıştır (Kestin ve diğ., 1980). "Ekserji" kavramı kelime olarak ilk defa 1953 yılında Z. Rant tarafından kullanılmıştır (Lee, 2001). Ekserji ile eş anlamlı olarak, kullanılabilir enerji (Bruges, 1959), kullanılabilir iş (Kestin ve diğ., 1980) ve kullanılabilirlik veya maksimum yararlı iş (Rogers ve Mayhew, 1993) kavramları ortaya çıkmıştır.

1904'ten beri İtalya'da Lardello sahasından elektrik üretimi yapılmasına rağmen, dünyada, jeotermal enerjiden elektrik üretilmesine yönelik çabaların artması 1950'li yılları bulmuştur. Buhar-baskın bir sahadan ilk elektrik üretimi İtalya'da, su-baskın bir sahadan ilk elektrik üretimi de Yeni Zelanda'da 1950'ler de olmuştur.

Sıcaklığı 200 °C ve daha fazla olan jeotermal akışkanlardan elektrik üretimi gerçekleştirilmektedir. Ancak günden güne gelişmekte olan yeni teknolojilere göre 150 °C'ye kadar düşük sıcaklıklı jeotermal sulardan da elektrik üretilebilmektedir. Ayrıca, son zamanlarda buharlaşma noktaları düşük gazlar (Freon, İzobütan vb.) kullanılarak 60-90 °C sıcaklıktaki sulardan da elektrik üretiminde yararlanma çalışmaları sürdürülmektedir.

Doldersum (1998), rafineride meydana gelen ekserji kayıplarını inceleyerek, yapılan iyileştirmelerin bu kayıpları ne kadar minimize ettiğini ortaya koymuştur. En çok ekserji kaybının ocaklarda ve damıtma ünitelerinde meydana geldiğini göstermiştir. Bunu göz önüne alarak yaptığı iyileştirmeler sonucunda toplam ekserji kayıplarının % 70'e varan oranlarda düşebileceği üzerinde durmuştur.

Kanoğlu (2000), ABD'nin Kuzey Nevada bölgesinde inceleme yaptığı 12,9 MW'lık ikili jeotermal güç santralinin, ekserji analizi uygulanarak santral performansını değerlendirmiştir. Araştırmasında santraldeki ekserji kayıplarına, türbin, aracı akışkanın yoğunlaştırılması, re-enjeksiyon ve buharlaştırıcı-önısıtıcının etki ettiğini göstermiştir. Çalışmanın sonucunda en büyük kaybın türbinden kaynaklandığı görülmüştür.

Jeotermal akışkandan elektrik üretimi, başta A.B.D. olmak üzere İtalya, Japonya, Yeni Zelanda, El Salvador, Meksika, İzlanda, Filipinler, Endonezya ve Türkiye vb. ülkelerde yapılmaktadır. Dünyada halen kurulu güç yaklaşık 9500 MWe (2006 yılı itibarıyla) olan jeotermal enerjiden elektrik üretimi gün geçtikçe artmaktadır.

Genelde elektrik üretimi, jeotermal kaynağın karakteristiğine bağlı olarak üç tip santralde yapılmaktadır.

- *Kuru buhar santralleri*; türbinü döndürmek için kuyudan üretilen kuru buharı direkt olarak kullanılır.

- *Flash buhar santralleri*; yüksek basınçla kuyudan gelen akışkan düşük basınçlı separatörlerde su ve buhar olarak ayrılır ve ayrıştırılan buhar ile türbinün döndürülmesi sağlanır.

- *Binary cycle santralleri (çift çevrim)*: Jeotermal akışkanın sıcaklığından faydalanılarak sudan daha az buharlaşma sıcaklığına sahip akışkan eşanjörde (heat-exchanger) buharlaştırılır ve buharlaşan bu akışkan ile türbinün döndürülmesi sağlanır.

Jeotermal çift-çevrim teknolojisi, düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan ve atık ısıdan elektrik enerjisi üretmek amacıyla geliştirilmiştir. Üzerinde tek buhar ayrıştırılmalı (single flash) elektrik santrali kurulu alanlarda, buhar ayırıcılar bu atık ısı kaynaklarından en fazla bilinendir. (Örneğin: Denizli-Kızıldere'de kurulu bulunan

tek buharlaştırmalı jeotermal santralde, 140 °C ve 700 ton/saat jeotermal akışkan buhar ayrıştırıcılardan dışarı atılmaktadır).

Su buharıyla karşılaştırıldığında daha düşük kaynama noktası ve daha yüksek buhar basıncına sahip bir akışkan, sistemin ikinci çevriminde kullanılır. Bu ikinci akışkan, normal Rankin çevriminde işletilir.

Çift çevrimli sistemler, uygun ikincil (çalışan) akışkanlar kullanılarak 85-170 °C arasındaki sıcaklıklarda çalışacak şekilde tasarlanabilirler. Üst çalışma sıcaklığı, organik ikincil akışkanların termal olarak bozuşma sıcaklıkları tarafından belirlenir.

Belirlenen kapasite için ısı eşanjörü büyüklüğünün pratik olmaması ve parazitik yüklerin (sirkülasyon pompası yükleri gibi) üretimin büyük bir oranını tüketmesi gibi pratik ve ekonomik nedenler alt çalışma sıcaklığını belirler.

Çomaklı ve arkadaşları (2004), Türbinde genişmeden önce, daha düşük bir basınç ve sıcaklıkta, jeotermal akışkanın ısıyı ikincil (çalışan) akışkana ısı eşanjörleri tarafından aktarılır ve ikinci akışkanın ısınması ve buharlaşması sağlanır.

Çomaklı ve arkadaşları (2004), Çift çevrim elektrik santralleri, suyun içerdiği ısı enerjisini mekanik enerjiye ve sonrada bir jeneratör vasıtası ile elektrik enerjisine çevirirler. Çalışan akışkan, kapalı bir devrede, yüksek sıcaklıklı jeotermal akışkan ile soğutma suyundan ibaret iki ısı kaynağı arasında bir termodinamik motor çevriminde çalışır. Çalışan akışkan genellikle izobütan gibi bir hidrokarbon, R12 gibi bir soğutma gazı veya CO2 gazıdır.

Çomaklı ve arkadaşları (2004), Dünyadaki uygulamalarda, çift çevrimli santrallerin yapım maliyetleri (jeotermal alanın geliştirilmesi ile ilgili giderler hariç) 1500 – 2000 \$/Kw arasında değişmektedir. Bu santrallerden üretilen elektriğin maliyeti ise 0.04 \$ ile 0.1 \$ arasında değişmektedir. Jeotermal enerji diğer enerji türlerine göre temiz enerji kaynağı olarak bilinmektedir. Çünkü, jeotermal santrallerde daha az karbondioksit (kömür ve petrol santralleri 1000-2000 kez daha fazla üretir) ve çok az miktarda da sülfüroksit gazı atmosfere salınır. Buhar santralleri çoğunlukla buhar emisyon eder. Binary cycle santralleri kapalı sistem olduğundan her hangi bir gaz atmosfere salınmaz.

İnsanlar tarafından üretilen veya başka bir şekilde dönüştürülen enerjinin çevresel etkilerinin olması kaçınılmazdır. Dolayısıyla, elektrik üretimi veya diğer nedenlerle

kullanılan derin jeotermal suların da çevreye geniş bir oranda etkisi vardır. Bu etkiler, yüzeyde oluşan çökmelerden (tasman) jeotermal akışkanın oluşturduğu doğal güzelliklerdeki (Pamukkale travertenleri) tahribatlara kadar değişebilmektedir. Bunların yanında jeotermal sıvının içerdiği bor, cıva, arsenik, kurşun, amonyak, antimuan, lityum, karbondioksit, hidrojen sülfür ve tuz çevreyi olumsuz şekilde kirletmektedir. Fakat santralde kullanılan akışkanın tekrar rezervuara enjekte edilmesiyle çevreye verilen zarar minimuma indirilebilir.

Çomaklı ve arkadaşları (2004), termal sistemlerin verimlerini ekserji analizi kullanarak incelemişler ve çeşitli süreçlerdeki ekserji kayıplarını ele almışlardır. Yaptıkları çalışmalarında, bir termal sistemin gerçek performansının, ekserji kaybı ve sistemden elde edilebilecek maksimum iş hesaplanarak bulunabileceğini savunmuşlardır.

Ünal ve arkadaşları (2004) , jeotermal kaynakları ekserji ile sınıflandırmaya çalışmışlar, Türkiye'deki jeotermal sahaların ekserjilerini hesaplayarak onları kategorize etmişlerdir.

Rosen ve arkadaşları (2004), yaptıkları çalışmada Kanada'nın Edmonton şehrinde kojenerasyon destekli bölge enerji sisteminin verim analizini incelemişlerdir. Mevcut chillerlerin dışında tek ve çift etkili absorpsiyonlu chillerleri de kullanılması halinde enerji veriminin % 83 ile % 94, ekserji verimliliğinin ise % 28 ile % 29 arasında değiştiğini hesaplamışlardır. Genel anlamda sistemi incelediklerinde ekserji veriminin sistem için daha anlamlı olduğunu savunmuşlardır.

DiPippo (2004), yaptığı çalışmasında İkili (binary) çevrim enerji sistemlerini ele alarak, bu sistemlerde en çok kullanılan çevrim olan Organik Rankin Çevrimi (ORC) ve Kalina Çevrimini incelemiştir. Yaptığı çalışmada bu iki çevrimin arasındaki karşılaştırmalarda ikinci kanunun en iyi yol olduğunu savunmuştur. Çalışmasını yaparken, çevre şartlarını göz önünde bulundurmuş, çevrim akışkanının tipini değiştirerek sistemleri karşılaştırmıştır.

## **3.ENERJİ**

### **3.1 Enerjinin Tanımı**

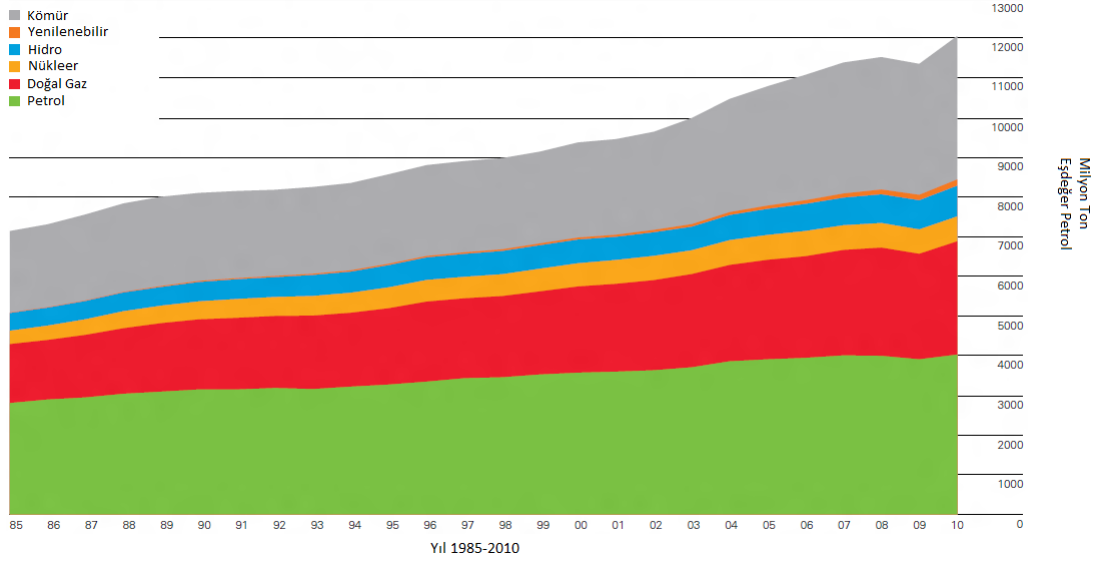
Enerji bilimsel anlamda bir maddenin veya maddeler sisteminin iş yapabilme yeteneğidir. Bir insanda, bir maddede, hareket eden bir cisimde her an iş yapabilme gücü olduğuna göre, bunlardan enerji elde etmek mümkündür. “Enerji, üretim işlemlerinde kullanılması zorunlu bir girdi ve toplumların refah düzeylerinin yükseltilmesi için gerekli bir hizmet aracı olarak, ekonomik ve sosyal kalkınmanın temel taşlarından birisidir.

Enerji; üretimin en temel girdilerinden biri olmasının yanı sıra, insanın günlük hayatının da vazgeçilmez bir parçasıdır. Evimizde ısınmak, serinlemek, televizyon seyretmek, yemek içmek gibi temel ihtiyaçlarımızı karşılayabilmek için hepimiz belli bir miktar enerji tüketmekteyiz. Bu ihtiyaçlarımızı gidermek için satın almak durumunda olduğumuz araç gerecin üretiminde de, yani sanayide de enerji vazgeçilmez bir gerekliliktir.

#### **3.1.1 Dünyanın Enerji Durumu**

Dünya enerji ihtiyacının önemli bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmektedir. Bu yüzyılın ikinci yarısında petrol ve doğalgaz gibi bazı fosil yakıtların rezervlerinin sonuna gelineceği tahmin edildiğinden, bütün enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanılması büyük önem taşımaktadır. (WEC, 2010)

Şekil 3.1; Dünyada yıllara göre tüketilen enerjiyi ve elde edildiği kaynakları göstermektedir.



Şekil 3.1 Dünyada Yıllara Göre Tüketilen Enerji ve Elde Edildiği Kaynaklar (BP, 2011)

Petrol, kömür ve gaz gibi fosil kökenli konvansiyonel enerji kaynaklarına bir alternatif olarak düşünülen ve 1970'lerde kurulmaya başlanan nükleer enerji santralleri de hızlı yükseliş trendini kaybetmiş gibi görünmektedir. (Kum, 2009)

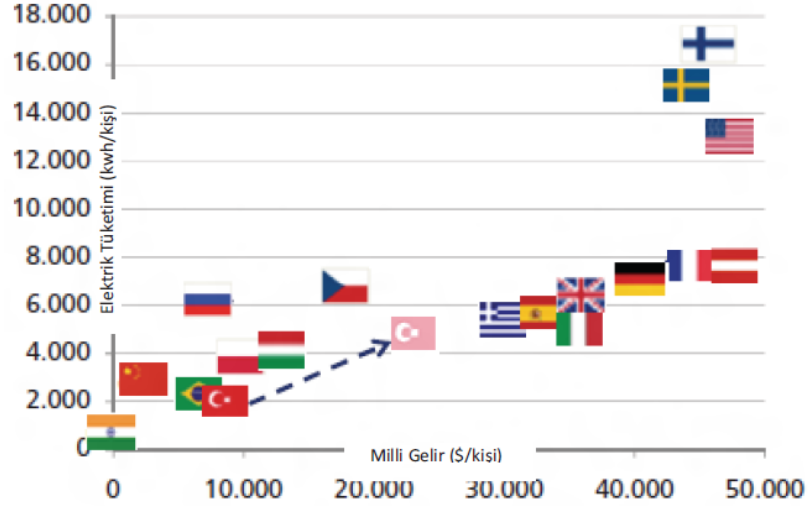
2008-2030 döneminde, dünya enerji talebindeki ortalama yıllık artışının %1,6 olacağı tahmin edilmektedir. Bu dönem sonunda, 2030 yılı itibariyle toplam enerji talebi artışının %45'e ulaşması beklenmektedir. (IEA, 2008)

Bütün bu gelişmeler ve gelecekle ilgili kaygılar, dünyadaki alternatif enerji arayışlarını yenilenebilir enerji kaynaklarına yöneltmeye başlamıştır. Yenilenebilir enerji kaynakları, bugün için dünya toplam enerji arzının %5'lik bir kısmını karşılamaktadır. Fakat bu kaynaklara geleceğin enerji kaynakları olarak bakılmaktadır. Sadece 2008 yılında 155,4 milyar dolar yatırım yapılan endüstrilerdeki yatırımların 2020 yılında 600 milyar dolara ulaşacağı tahmin edilmektedir. (Kum, 2009)



### 3.1.2 Türkiye'nin Enerji Durumu

Türkiye'de artan GSMH ve nüfusa paralel olarak enerji tüketimi de artmaktadır. Bu konuda Deloitte tarafından yapılmış olan istatistiksel bir analizde elektrik tüketimi ile kişi başına düşen gayri safi yurt içi hasıla (GSYİH) arasında yüksek bir ilişki tespit edilmiştir. Şekil 3.2, kişi başına düşen GSYİH ile elektrik tüketiminin mukayesesini göstermektedir. (WEC, 2010)



Şekil 3.2 Kişi Başına Düşen GSYİH ve Elektrik Tüketimi

Ülkemiz 2010 yılı itibariyle 9000 \$ seviyelerinde olan kişi başına düşen GSYİH'ya karşılık 2700 kWh/kişi mertebesinde elektrik tüketimi gerçekleşmektedir. Kişi başına düşen GSYİH 20000 \$ seviyelerine ulaştığında kişi başına tüketimimizin 5000 kWh'i aşması beklenmektedir. (WEC, 2010)

### 3.2 Enerji Kaynakları

Günümüzde olduğu gibi geçmiş yüzyıllarda da medeniyetlerin doğmasında, yükselmesinde ve çökmesinde enerjinin yeri çok önemliydi. Enerji, modern toplulukların hayat damarıdır. Bir ülkedeki yaşam standardının ülkede yaşayanlar tarafından tüketilen enerji miktarı ile doğrudan orantılı olduğu bir gerçektir. Gelişmiş ülkeler yaşantılarını devam ettirmek veya yaşam standartlarını artırmak için daha çok enerjiye gereksinim duyarlar; üçüncü dünya ülkeleri, daha fazla enerjiyi tarımsal yapıdan endüstriyel ekonomiye geçebilmek için isterler. Sosyal ve ekonomik kalkınma için enerji birinci sırada yer almaktadır.

İster endüstrileşmiş bir ülkede, ister gelişmekte olan bir ülkede yaşayalım yediğimiz yiyecekler, giydiğimiz giyecekler sahip olduğumuz işimiz, eğlencelerimiz, seyahatlerimizde hep enerji kullanılır. Gerçi enerji bolluğu kararlı ve mutlu bir topluluk için ön koşullu yeterlilik olmadığı halde, onun eksikliği ciddi bir yokluk ve ızdıraptır. Herkes için en azından anlamlı minimum bir enerjinin olması gereklidir. Fakat genelde dünyadaki nüfusun büyük çoğunluğu bundan yoksundur. Eğer bu eksikliğin devamlı bir mutsuzluk sebebi ve anlaşmazlıkların kaynağı olmasından sakınılması ve bununla birlikte dünya nüfusunun gelecekte artacağı düşünülürse dünyada çok daha fazla enerjinin yaratılması gerekir.

Günümüzde üretilen enerjinin ekonomik ve çevre dostu olması zorunludur. Olaya çevre kirliliği açısından bakıldığında, çağımızda en önemli atmosferik çevre sorunlarından sera etkisi, ozon tabakasının delinmesi veya incilmesi, asit yağmurları gibi olayların meydana gelişinde enerji üretiminde kullanılan fosil yakıtların payı yüksektir. Ayrıca fosil yakıtların yakılması sonucu ortaya çıkan SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub> katı maddelerde de toksik maddeler çeşitli hava kirliliği sorunları yaratmaktadır.

### **3.3 Enerji Kaynaklarının Sınıflandırılması**

Enerji ihtiyacını karşılamada yenilenemeyen enerjiler ve yenilenebilir enerjiler olmak üzere iki çeşit kaynak kullanılmaktadır. Fosil yakıtlar olarak da adlandırılan yenilenemeyen kaynaklar, ciddi ve tehlikeli boyutlarda çevre sorunlarına neden olmaktadır. Ayrıca bu kaynakların rezervleri sınırlı miktardadır ve bir gün tükeneceklerdir. Bu nedenle alternatiflerinin bulunması bir zorunluluktur. (Şahin, 1994)

Enerjiden yararlanma, insanlık tarihi ile başlamıştır. Sanayi devrimi ile beraber giderek gelişen ülkeler, önceleri sulardan, rüzgârdan ve bunların gücünden faydalanmış, daha sonraları petrol, doğal gaz, kömür, nükleer enerji, jeotermal enerji ve güneş enerjisi gibi kaynaklardan yararlanarak, başka bir ifadeyle enerji kaynaklarını çeşitlendirmişlerdir. (Url-1)

#### **Yenilenemez Enerji Kaynakları:**

##### **- Fosil Yakıtlar**

- *Gaz formdaki enerji kaynakları (doğal gaz)*

- *Sıvı formdaki enerji kaynakları (petrol, katran)*

- *Katı formdaki enerji kaynakları (Kömür)*

- **Nükleer Enerji**

- **Yenilenebilir Enerji Kaynakları**

- *Güneş Enerjisi*

- *Rüzgâr Enerjisi*

- *Jeotermal Enerji*

- *Biyokütle Enerjisi*

- *Biyogaz Enerjisi*

- *Hidrojen Enerjisi*

- *Hidrolik Enerji*

### **3.4 Yenilenemeyen enerji kaynakları**

Milyonlarca yıl önce ölmüş hayvan ve bitkilerin atıkları yüksek ısı ve basınç altında petrol, kömür ve doğalgaz gibi fosil yakıtları oluşturdu. Bu yakıtlar, gelişmeleri çok uzun yıllar aldığı için “yenilenmeyen yakıtlar” olarak adlandırılıyor.

#### **3.4.1 Gaz formundaki enerji kaynakları (doğalgaz)**

Doğalgaz günümüzden milyonlarca yıl öncesinde dünyamızda yaşayan canlıların artıklarının yer katmanları arasında basınç ve sıcaklık altında dönüşüme uğramasıyla büyük oranda metan gazından oluşan fosil kaynaklı gaz sınıfında bir yakıttır. Petrol gibi doğada yer altı katmanlarında bulunur. Doğalgaz büyük oranda metan daha az etan, propan, bütan, azot ve karbondioksit gazlarından oluşur. Kaynağından çıkarıldığı anda herhangi bir işlem yapılmaksızın kullanılabilir. (TMMOB, 2009)

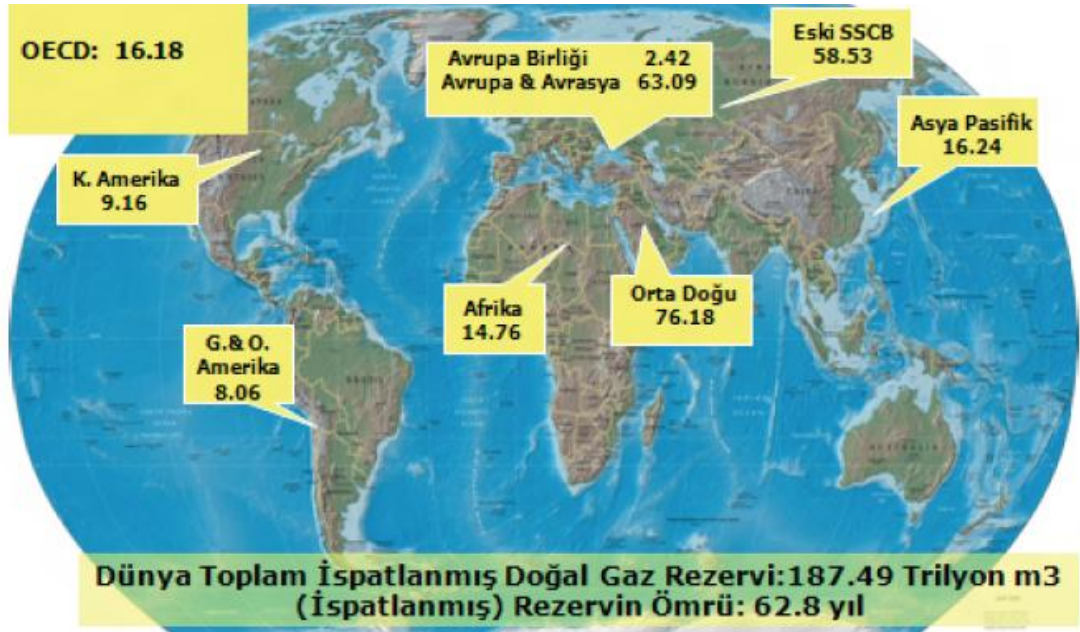
Doğalgaz zehirsiz, kokusuz, renksiz, kuru havadan hafif bir gazdır. Doğalgaz ucuz ve şu anda kömürden sonra en ekonomik fosil yakıttır. Yanma sonucu çevreye verdiği zarar diğer yakıtlara göre çok azdır. Depolama gerektirmez. Konut ve iş yerlerimize elektrik tesisatı, su tesisatı gibi bir boru tesisatıyla ulaştırılır. Elektrik ve su tesisatında olduğu gibi bir sayaçla ölçülerek fiyatlandırılır ve kullanıldığı kadar ödenir. (TMMOB, 2009)

### 3.4.1.1 Doğalgazın dünyadaki durumu

Son on yılda doğal gaz rezervleri %25 artış göstermiştir. 1999 sonu itibariyle 149 trilyon m<sup>3</sup> olan rezerv miktarı 2009 sonunda 185 trilyon m<sup>3</sup> olmuştur. En büyük artışın Katar ve Türkmenistan'da gerçekleştiği görülmektedir. (WEC, 2010)

Doğalgazın dünyadaki dağılımı incelendiğinde; özellikle bilinen üretilebilir doğalgazların Rusya Federasyonu topraklarında yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 3.3; Dünya ispatlanmış doğalgaz rezervlerini göstermektedir.



Şekil 3.3 Dünya İspatlanmış Doğalgaz Rezervleri, 2009 sonu (trilyon m<sup>3</sup>) (BP, 2010)

### 3.4.1.2 Doğalgazın Türkiye'deki durumu

Türkiye'de, ETKB tarafından yapılan projeksiyonlara göre 2020 yılı için petrol ve doğal gaz talebi Tablo 3.1'de görülmektedir.

Tablo 3.1 Türkiye Genel Enerji Tüketiminde Kaynakların Payları (ETKB, 2010)

	Kaynak Payları %		
	2000	2010	2020
Petrol	40.6	26.1	21.6
Doğalgaz	16.0	29.3	25.2
Kömür	30.4	37.3	42.5
Hidroelektrik	3.0	3.3	2.8
Diğer	10.0	4.0	7.9

2009 yılsonu itibariyle 17,5 milyar m<sup>3</sup> üretilebilir doğalgaz rezervimiz bulunmaktadır. Bunun 11,3 milyar m<sup>3</sup>'ü üretilmiş olup, kalan üretilebilir rezervimiz ise 6,2 milyar m<sup>3</sup>'tür. 2009 yılı sonu itibariyle kalan doğalgaz rezervimiz bugünkü üretim ve yeni keşifler olmaması halinde 2 aylık ihtiyacımızı karşılayabilecek seviyededir. (WEC, 2010)

Ülkemizde, 2009 yılında, birincil enerji tüketiminde doğal gazın payı ise %32 olmuştur. İhtiyaç duyulan doğalgazın %97'si ithal edilmiştir.

### **3.4.2 Sıvı formundaki enerji kaynakları (petrol, katran)**

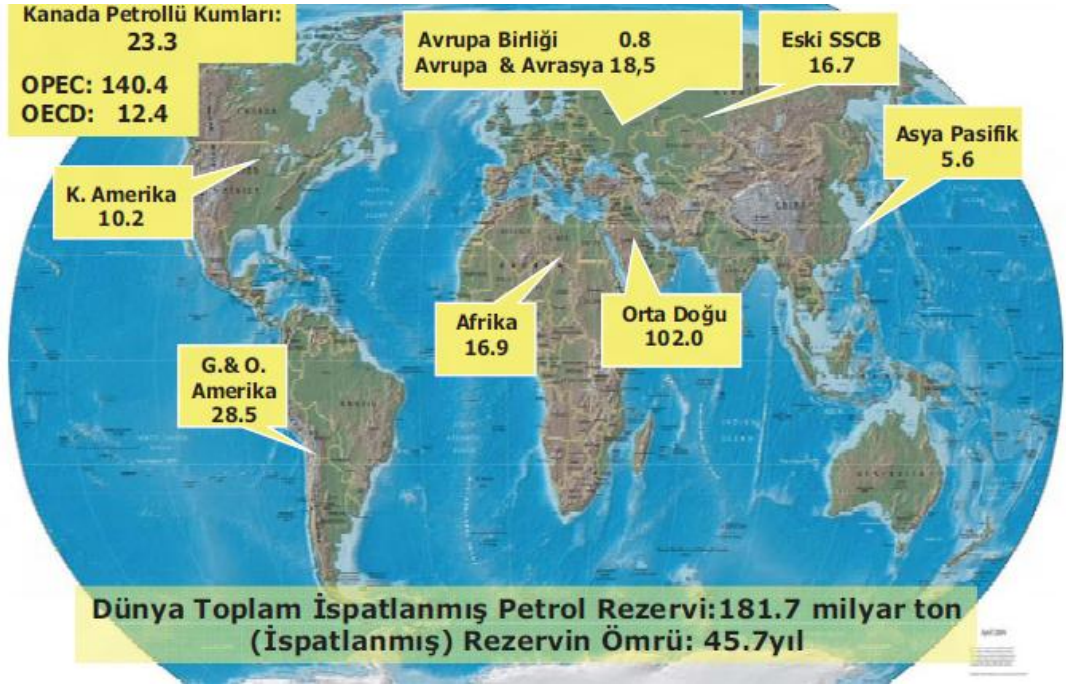
Petrolün oluşumuna ilişkin birkaç teori vardır. En önemlisi, tüm hidrokarbonların yaşamını yitirmiş canlıların artıklarının durgun deniz ve göl gibi ortamların tabanında birikmesiyle oluşmaya başladıklarını ortaya koymaktadır. Deniz, göl veya akarsularda yaşamını yitirmiş olan bitkisel ve hayvansal canlılar (yani ölü organizmalar) akarsuların bu ortamlara taşıdığı kum, kil ve mineral tanecikleri ile birlikte dibe çökerek yığılırlar. Birkaç milyon yıl sonra, yer bilim tabakalarının kayması sonucunda bu hammadde, yerini karmaşık bir karbon-hidrojen karışımına bırakmıştır. Bu karışımın sıvı haline petrol denir. (Uysal, 2006)

#### **3.4.2.1 Petrolün dünyadaki durumu**

Tüm dünyada, birincil enerji kaynakları arasında ilk sırada yer alan fosil yakıtlardan petrolün, stratejik konumunu uzun yıllar sürdürmesi beklenmektedir. (WEC, 2010)

Petrolün dünyadaki dağılımı incelendiğinde; özellikle bilinen üretilebilir petrol rezervlerinin büyük oranda Ortadoğu bölgesinde yoğunlaştığı görülmektedir.

Şekil 3.4; Dünya ispatlanmış petrol rezervlerini göstermektedir.



Şekil 3.4 Dünya İspatlanmış Petrol Rezervleri, 2009 Sonu (milyar ton) (BP, 2010)

#### 3.4.2.2 Petrolün Türkiye'deki durumu

2009 yılı sonu itibariyle 172,5 milyon ton üretilebilir ham petrol rezervimiz bulunmaktadır. Bunun 133,1 milyon ton'u üretilmiş olup, kalan üretilebilir rezervimiz ise 44,4 milyon ton'dur. 2009 yılı sonu itibariyle kalan ham petrol rezervimiz bugünkü üretim ve yeni keşifler olmaması halinde 15 aylık ihtiyacımızı karşılayabilecek seviyededir. (WEC, 2010)

Ülkemizde, 2009 yılında, birincil enerji tüketiminde petrolün payı %31 olmuştur. İhtiyaç duyulan petrolün %92'si ithal edilmiştir.

#### 3.4.3 Katı formundaki enerji kaynakları (kömür)

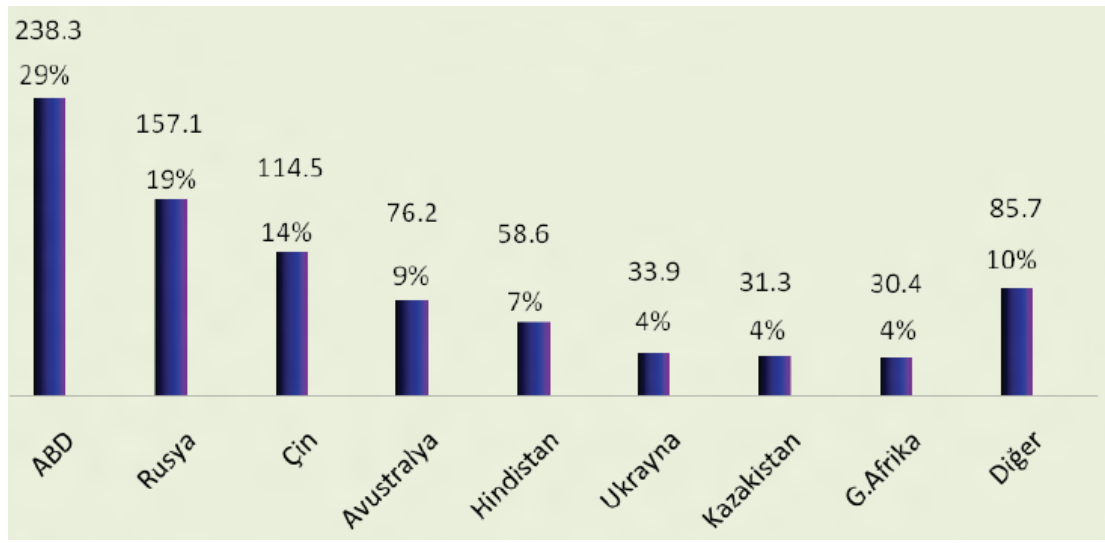
Kömür gerçekte, değişik oranlarda organik ve inorganik yapıcı ve bileşenler içeren tortul bir kayadır. Doğada; yapı, doku, bileşenler ve köken açısından birbirleriyle tam anlamda özdeş iki kömür oluşumuna rastlamak hemen hemen olanaksızdır. Kömürü ana elemanı karbondur. Kömürleşmenin başlıca kaynakları bitkiler, havadan veya yüzeysel sulardan alınan CO<sub>2</sub> 'dir (Kemal, 1991).

#### 3.4.3.1 Kömürün dünyadaki durumu

Kömürün gereksinimi ve dünyamızda rezerv oranını değerlendirecek olursak, kömür diğer enerji kaynaklarına kıyasla petrol, doğal gaz ve kömür en çok talep edilen

enerji kaynaklarıdır. Son yıllarda ülkemizde diğer kaynaklara eğilim, özellikle doğalgaza olan geçişin, kömürün geçmişe göre daha az talebine ve daha düşük tüketimine neden olacağı düşünülmektedir. (Safi, 2007)

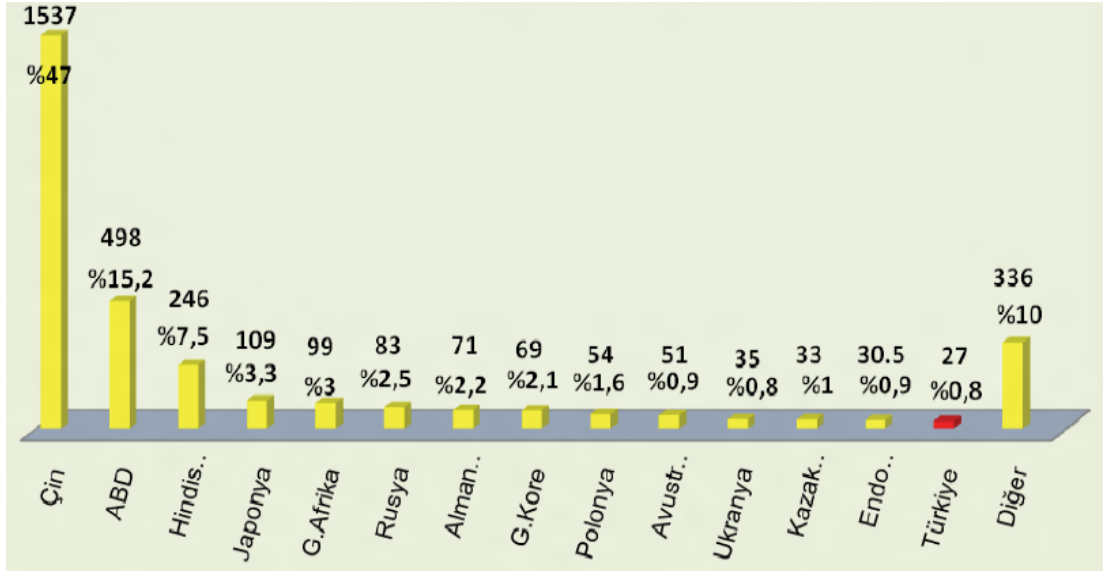
2009 yılı itibariyle dünyanın toplam kömür rezervleri 826 milyar ton'dur. Ülke bazında ABD 238 milyar ton olan kömür rezerviyle dünya kömür rezervlerinin %28,8'ine sahip iken Rusya %19, Çin %14, Avustralya %9,2, Hindistan % 7,1, Ukrayna % 4,1, Kazakistan %3,8, G.Afrika %3,7, diğer ülkeler ise %10,4'üne sahiptirler. Türkiye toplam 12,8 milyar ton kömür rezerviyle dünya kömür rezervinin %1,5'ine sahiptir. Şekil 3.5; 2009 yılı sonu dünya kömür rezervlerini göstermektedir.



Şekil 3.5 Dünya Kömür Rezervleri, 2009 Sonu (Milyar ton) (BP, 2010)

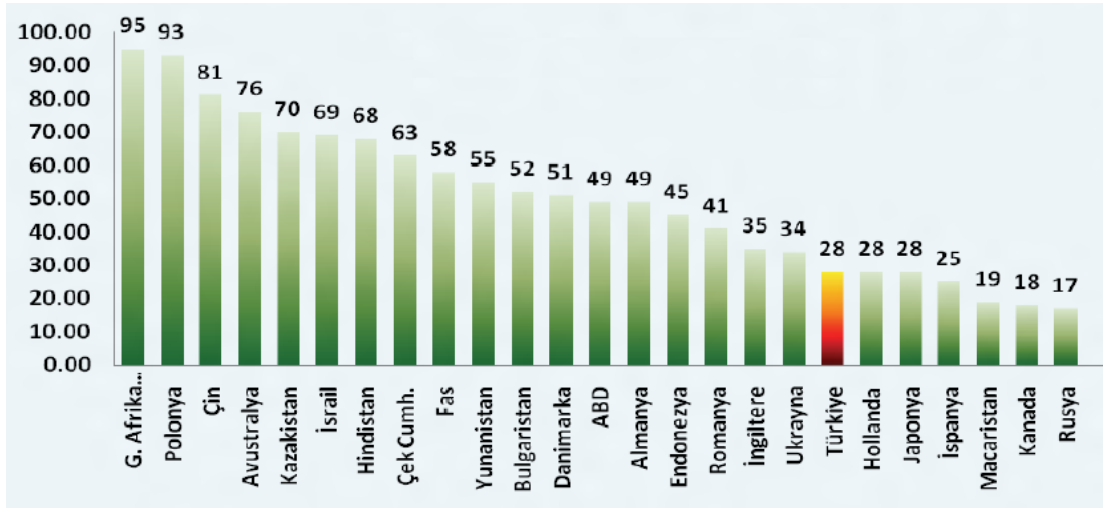
Dünyada 1999 yılından itibaren geçen on yılda, yıllık kömür üretimi %53 artmıştır. Kömür üretimindeki artışın, çok büyük kısmı Çin olmak üzere Asya kıtasındaki elektrik enerjisi talebinden kaynaklanmaktadır. Kömür tüketiminin, gelişmekte olan ülkelerde gelişmiş ülkelere göre daha fazla artmakta oluşunun nedenleri arasında; yüksek ekonomik büyüme oranları, artan elektrifikasyon ve başta Avrupa Birliği olmak üzere gelişmiş ülkelerin elektrik üretiminde doğalgazı tercih etmeleri gelmektedir. (WEC, 2010)

Şekil 3.6; 2009 Yılına ait verilere göre dünyadaki kömür tüketimini göstermektedir.



Şekil 3.6 2009 Yılı Dünya Kömür Tüketimi (Milyon tep) (BP, 2010)

2007 yılı itibariyle 8205,0 TWh olan dünya elektrik enerjisi üretiminde kömür %41,5 oranında kullanılmıştır. Değerlendirmelere göre dünya elektrik üretimi 2030 yılında 14596,0 TWh'e yükselecek ve kömürün elektrik içerisindeki payı %43,9 olacaktır. Şekil 3.7; 2007 Yılında elektrik üretiminde kömürün payını bazı ülkeler için göstermektedir. (IEA, 2009).



Şekil 3.7 2007 Yılı Ülkelerin Elektrik Üretiminde Kömürün Payı (Milyon tep)



### 3.4.3.2 Kömürün Türkiye'deki durumu

Ülkemizde, 535 milyon tonu görünür olmak üzere, yaklaşık 1,3 milyar ton taşkömürü ve 9,8 milyar tonu görünür rezerv niteliğinde toplam 11,5 milyar ton linyit rezervi bulunmaktadır. (ETKB, 2010)

Ülkemizde Zonguldak bölgesinde çıkarılan taşkömürü bitümlü kömür kategorisinde yer almakta olup ısı değeri 6200-7200 kcal/kg arasında değişmektedir. Türkiye'de bulunan taşkömürü Türkiye Taş Kömürü Kurumu (TTK) tarafından işletilmekte olup rezerv miktarı Tablo 3.2'de görülmektedir.

Tablo 3.2 TTK Ruhsatlı Kömür Sahalarına Ait Rezervler (2009) (ETKB,2010)

Yer		Rezervler (1.000 ton)				Alt Isıl Değer kcal/kg
İl	İlçe	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	
Zonguldak	Ereğli	11.241	15.860	7.883	34.984	6650
Zonguldak	Merkez	351.272	294.043	239.029	884.345	6650
Bartın	Amasra	172.107	115.052	121.535	408.694	6600
Bartın	Kurcaşile		1.000		1.000	6650
Kastamonu	Azdavay		5.593		5.593	6650
Toplam		534.620	431.548	368.447		

Linyit rezervleri ülke geneline yayılmıştır. Hemen hemen bütün coğrafi bölgelerde ve kırktan fazla ilde linyit rezervlerine rastlanılmaktadır. Linyit rezervlerinin %21'i TKİ, %42'si EÜAŞ, %23'ü MTA ve %13'ü ise özel sektör elindedir.

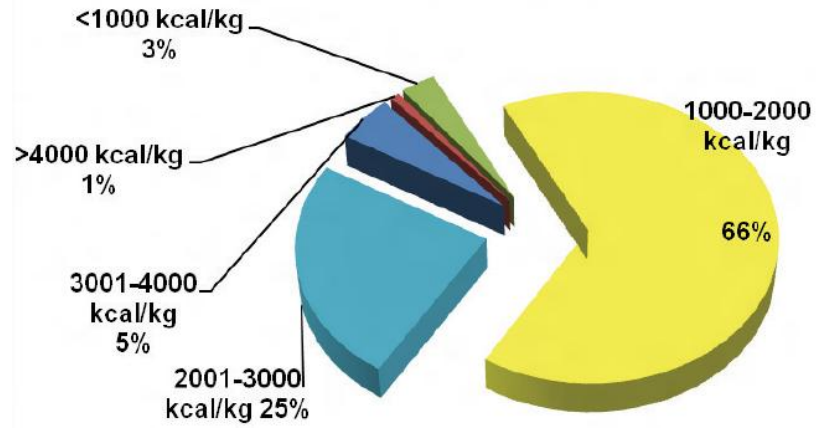
Tablo 3.3; Türkiye'nin linyit rezervlerini göstermektedir.

Tablo 3.3 2009 Sonu İtibarıyla Kurumlara Ait Linyit Rezervleri (ETKB, 2010)

Rezerv (1000 ton)					
Kurumlar	Görünür	Muhtemel	Mümkün	Toplam	Pay (%)
EÜAŞ	4.718	104		4.822	42
TKİ	2.239	218	1	2.458	21,5
MTA	1.803	685	123	2.611	23
Özel Sektör	1.077	337	138	1.554	13,5
Toplam	9.837	1.344	262	11.445	100,0

Türkiye'deki linyitler standartta belirtilen üst ısı değeri oldukça altındadır. Ülkemiz linyit rezervlerinin kalorifik değeri 1000 kcal/kg ile 4200 kcal /kg arasında değişiklik göstermektedir.

Şekil 3.8; Linyit rezervlerimizin kalorifik dağılımını göstermektedir.

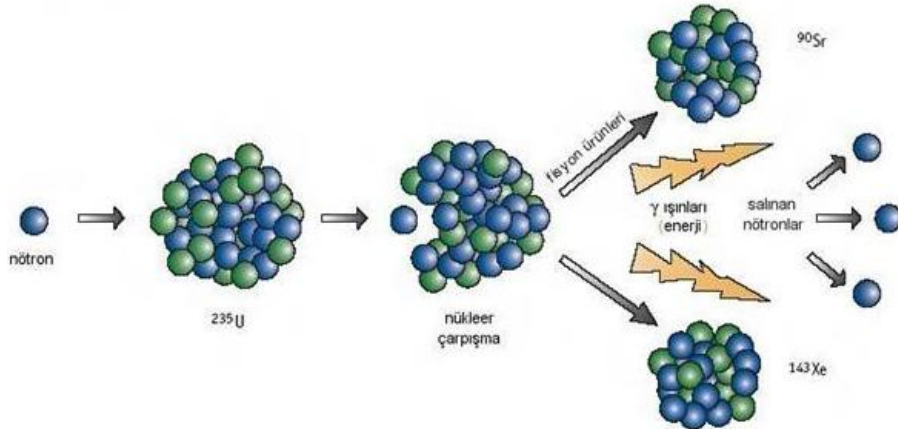


Şekil 3.8 Türkiye Linyit Rezervlerinin Kalorifik Dağılımı (ETKB, 2010)

### 3.4.4 Nükleer enerji

Bir nükleer reaktör, temel olarak, suyu kaynatacak ısıyı ve sonra elektriğin elde edildiği jeneratör türbinlerine yollanacak buharı üretir.

Nükleer reaksiyon, herhangi bir atom çekirdeğinin alfa parçacıkları, gamma ışınları, nötronlar, protonlar veya herhangi bir atom gibi diğer fiziksel bir varlıkla çarpışması sonucu değişmesiyle meydana gelir. Bu nükleer reaksiyonlardan ikisi olan fisyon ve füzyon, büyük miktarda enerji açığa çıkardıkları için özel ilgi çekmektedir. Günümüzde sadece fisyon reaksiyonundan elektrik üretimi için yararlanılmaktadır. Şekil 3.9; Tipik Bir Fisyon Reaksiyonunu göstermektedir. (Url-2)



Şekil 3.9 Tipik Bir Fisyon Reaksiyonu

#### 3.4.4.1 Nükleer enerjinin dünyadaki durumu

Nükleer enerjinin AB ortalaması %32, OECD ortalaması %23 boyutlarına çıkarken, Dünya ortalaması %16'yı geçmiştir. Tablo 3.4; bazı ülkelerdeki nükleer santral sayısı ve elektrik üretimindeki oranlarını göstermektedir.

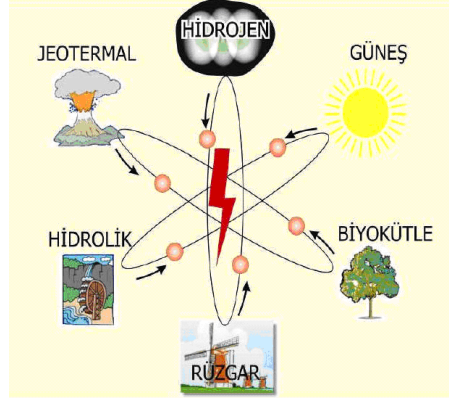
Tablo 3.4 Bazı Ülkelerin Nükleer Santral Sayısı ve Elektrik Üretimindeki Oranları (WNA, 2009)

Ülke	Nükleer Santral Sayısı	Elektrik Üretimindeki Oranları(%)
ABD	103	20
Fransa	59	80
Japonya	31	16
G.Kore	29	55
İngiltere	20	45
Ukrayna	19	20
İsveç	15	49
İspanya	10	45
Belçika	9	24
Slovakya	5	56
İsviçre	5	32
Bulgaristan	4	42
Litvanya	1	70
Ermenistan	1	43

Nükleer santrallerin yapımına 1960'lı yıllarda başlanmış hızla artarak şu anda 443 âdete ulaşmıştır. Ayrıca inşa halinde 28 adet, sipariş aşamasında ise 64 adet nükleer santral vardır. Projelendirme aşamasında ise 158 nükleer santral vardır.

#### 3.5 Yenilenebilir enerji kaynakları

Fosil yakıtların yerini artık yenilenebilir enerji kaynakları, yani doğada sürekli var olan, güneş, rüzgâr, biyokütle, biyoyakıtlar, jeotermal, hidrolik, okyanus kaynakları vb. enerji kaynakları alıyor. Yenilenebilir enerji kaynaklarının en büyük özelliklerinin başında sürekli tekrarlanabilir olmaları ya da kaynağın tükenme hızından daha hızlı bir şekilde kendilerini yenileyebilmeleri geliyor. Bunun yanında bu teknolojiler özellikle çevre dostu olmaları ve çevre dengesi açısından olumlu etkileri ile öne çıkıyor. Bu nedenle yenilenebilir enerji sistemleri “temiz enerji” olarak da adlandırılıyor. Şekil 3.10; yenilenebilir enerji kaynaklarını göstermektedir.



Şekil 3.10 Yenilenebilir Enerji kaynakları (Url-3)

Dünya nüfusunun artması, teknolojiye paralel olarak artan enerji ihtiyacının karşılanması, çevresel, sosyal ve ekonomik olarak sürdürülebilirliği sağlama isteği, Kyoto Protokolü gereğince CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazı emisyonlarının azaltılması zorunluluğu, yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırıyor. Bugün tüm dünyada çözülmesi gereken en önemli küresel sorunların başında, sürdürülebilir enerji güvenliği geliyor (Karadağ ve diğ., 2009).

Petrol ve doğal gaz gibi konvansiyonel enerji kaynaklarının tükenmesi, alternatif ve yenilenebilir çözümlerin ortaya çıkarılmasını zorunlu kılıyor. Yapılan uzun dönem tahminlerine göre, yenilenebilir enerji teknolojilerinin gelecekte daha etkin bir rol alması kaçınılmaz oluyor (Karadağ ve diğ., 2009).

Dünyadaki enerjilerin orijini güneş enerjisi olup, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının çoğu enerjisini güneşten doğrudan veya dolaylı olarak almakta ve dolayısıyla bu kaynaklar sürekli olarak yenilendiklerinden tükenmezler. Kömür, gaz, petrol gibi fosil yakıtlar ve nükleer enerji gibi kaynaklar tükenir ve yenilenemez enerji kaynağı olarak tanımlanırlar (Karadağ ve diğ., 2009).

### 3.5.1 Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünyadaki durumu

Her geçen gün enerji ihtiyacının artması yenilenebilir enerji kaynaklarını (YEK) ve yenilenebilir enerji teknolojilerini dünyanın yeni gözdesi haline getirmiştir. Fosil yakıtlardaki maliyet artışları ve çevreye verdiği zararlar, yenilenebilir enerjiyi stratejik sektör konumuna getirmiştir (Kum, 2009).

Dünyanın sürekli artan enerji talebini karşılamak için kullanmış olduğu kaynaklar ve bu kaynakların toplam enerji arzı içindeki payları Tablo 3.5’de gösterilmiştir. Tablo 3.5’ye göre; 1973 yılında %0,1 olan yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya toplam

enerji arzı içindeki payı 2008 yılında %2,1'e yükselmiştir. Bu yükselişin devam ederek 2030 yılında %11,8'e ulaşacağı öngörülmektedir (Kum, 2009).

Tablo 3.5 Enerji Kaynaklarının Dünya Enerji Arzındaki Payları (IEA, 2009).

Enerji Kaynakları (Dünya)	1973 (%)	2008 (%)	2030 Tahmini (%)
Petrol	48.1	34.3	30.1
Kömür	28.5	32.6	28.8
Gaz	19.6	22.9	21.6
Nükleer	1.9	5.9	5.3
Hidro	1.8	2.2	2.4
Yenilenebilir Kaynaklar	0.1	2.1	11.8

AB komisyonu da özellikle rüzgâr, güneş, biyokütle ve hidrolik enerji gibi YEK'nın gelişmesini enerji politikalarının merkezine yerleştirmiştir. Avrupa, Yenilenebilir Enerji Direktifi (RES Directive)'ne göre, 2020'deki her tür enerji talebinin %20'sinin yenilenebilir kaynaklardan karşılanması hedefinin gerçekleştirilmesini amaçlanmaktadır. 27 üye ülke tarafından bu Direktif hızlı ve etkin bir şekilde uygulanmaktadır. (WEC, 2010)

Avrupa Yenilenebilir Enerji Konseyi "RE-thinking 2050" raporuna göre, Tablo 3.6; Avrupa Birliği'nin nihai enerji talebi hakkında, Tablo 3.7; Avrupa Birliği'nin nihai enerji tüketiminde yenilenebilir enerji katkısı hakkında bilgi vermektedir.

Tablo 3.6 Yenilenebilir Elektrik Kurulu Gücü (GW) (EREC,2010)

YEK Türü	2007	2020	2030	2050
Rüzgâr	56	180	288.5	462
Hidro	102	120	148	194
PV	4.9	150	397	962
Biyoenjerji	20.5	50	58	100
Jeotermal	1.4	4	21.7	77

Tablo 3.7 Nihai Enerji Tüketimine Yenilenebilir Enerji Katkısı (Mtoe) (EREC, 2010)

YEK Türü	2007	2020	2030	2050
Rüzgâr	8.9	41	72	133.5
Hidro	27.9	33	34.2	38.5
PV	0.5	15.5	48	116
Biyoenjerji	77.8	175.5	226	359.1
Jeotermal	1.4	9.7	35.5	188
Güneş Termal	0.9	12	70	122

### 3.5.2 Yenilenebilir enerjinin Türkiye'deki durumu

Türkiye, yenilenebilir enerji kaynaklarının çeşitliliği ve potansiyeli bakımından zengin bir ülkedir. Ülkemiz birçok ülkede bulunmayan jeotermal enerji de dünya potansiyelinin %8'ine sahiptir. Ayrıca coğrafi konumu nedeniyle büyük ölçüde güneş enerjisi almaktadır. Türkiye hidrolik enerji potansiyeli açısından da dünyanın sayılı ülkeleri arasındadır. Rüzgâr enerjisi potansiyeli yaklaşık 160 TWh olarak tahmin edilmektedir (Dönmez ve Özyurt, 2005).

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanı'nın 2010 yılı bütçesi ile ilgili olarak yaptığı konuşmada rüzgâr kurulu gücünün 20.000 MW mertebesine, jeotermal kurulu gücünün 600 MWe mertebesine ulaşmasının hedeflendiği ifade edilmiştir.(EİE)

2009 sonu itibariyle işletmeye alınan santrallerin 375 MW'ı rüzgâr, 564 MW'ı hidroelektrik, 47,4 MW'ı jeotermal ve 21 MW'ı çöp gazı ve biyogazdır. .(EİE)

Yenilenebilir enerji kaynaklarına ilişkin temel hedef, bu kaynakların elektrik enerjisi üretimi içerisindeki payının 2023 yılında en az %30 düzeyinde olmasının sağlanmasıdır. .(EİE)

### 3.5.3 Güneş enerjisi

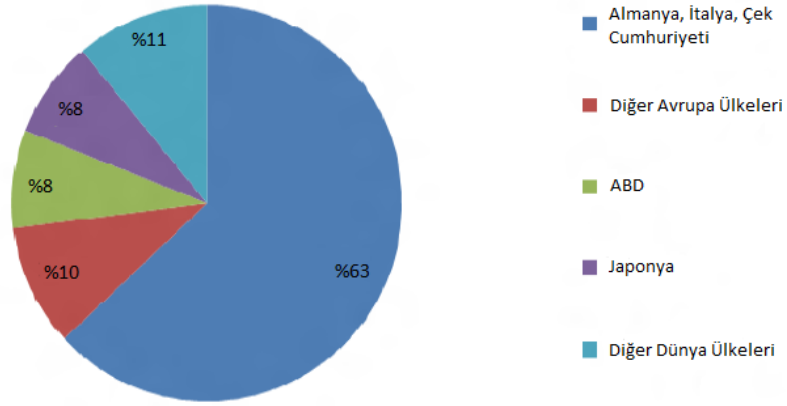
Güneş çekirdeğindeki hidrojen gazının helyuma dönüşmesi şeklinde tanımlayabileceğimiz füzyon süreci sonucunda açığa çıkan ışıma enerjisi, güneş enerjisidir. Dünyadan 330000 kat daha büyük olan güneş, doğal bir füzyon reaktörüdür. Güneş dünyamız için temiz ve tükenmez bir enerji kaynağıdır. Sadece çöllerin kapladığı bölgelere gelen yıllık güneş radyasyonunun, günümüzde tüketilen her çeşit enerjinin yüzlerce katı olduğu ileri sürülmektedir. (Karabulut, 2000)

Sera etkisine yol açan gazlar üretilen kirlilik yaratmayan, temiz, yenilenebilir enerji kaynağıdır. Kaynağının sonsuz olması ve kaynağa kolay ulaşılabilmesi nedeniyle, yenilenebilir enerji kaynakları içerisinde fotovoltaiik enerjinin önemi ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerine düşen toplam güneş enerjisinin miktarı, modern hayatın sürekliliğini koruyabilmesi için gerekli olan toplam dünya enerji tüketiminden 5 kattan daha fazla büyüklüğe sahiptir. (Ulu, 2010).

Coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli yüksek olan Türkiye'nin ortalama yıllık toplam güneşlenme süresi 2.740 saat (günlük toplam 7,2 saat), ortalama toplam ışınım şiddeti 1.311 kWh/m<sup>2</sup>-yıl (günlük toplam 3,6 kWh/m<sup>2</sup>) olduğu tespit edilmiştir. Güneş Enerjisi potansiyeli 380 milyar kWh/yıl olarak hesaplanmıştır. (EİE, 2010)

### 3.5.3.1 Güneş enerjisinin dünyadaki durumu

Küresel güneş pili pazarı, 2009 yılında 7,2 GW kurulu güç artışı ile dünya çapında 22 GW kurulu güce ulaşmıştır. Dağılımı Şekil 3.11'deki gibidir.

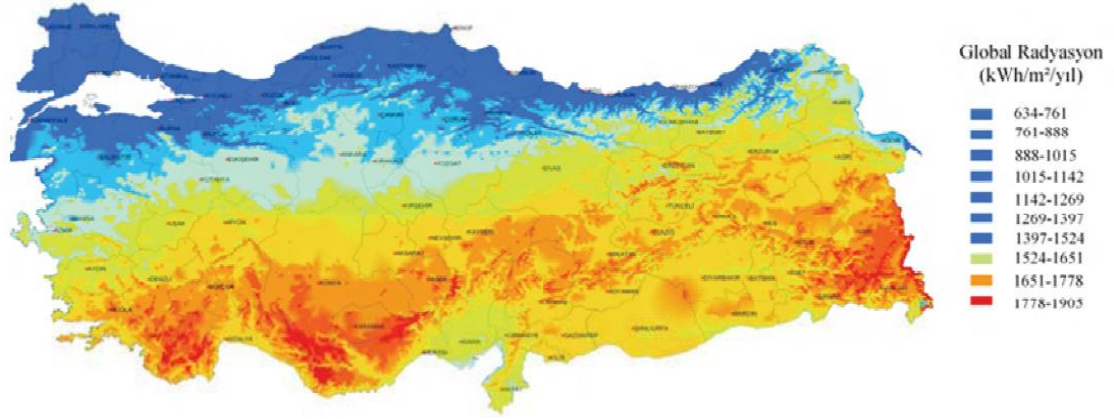


Şekil 3.11 2009 Yılı Dünyadaki Güneş Pili Kurulu Güç Dağılımı (IEA,2010)

Uluslararası Enerji Ajansı'nın (IEA) güneş pili (PV) ve yoğun toplaç (CSP) Teknolojileri Yol Haritalarına göre; 2050'ye kadar güneş elektriği, küresel elektrik üretiminin %20 ila %25'ini oluşturabilir. PV ve CSP'nin kombinasyonu, enerji güvenliğini sağlaması yanında 2050'de yılda 6 milyar ton CO<sub>2</sub> emisyonu azaltılmasında önemli bir katkı sağlayacaktır (IEA,2010).

### 3.5.3.2 Güneş Enerjisinin Türkiye'deki durumu

Ülkemiz coğrafi konumu nedeniyle sahip olduğu güneş enerjisi potansiyeli açısından birçok ülkeye göre şanslı durumdadır. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yapılan çalışmalara göre elde edilen "Güneşlenme Süresi Dağılımı" haritası ile Türkiye Güneş Enerjisi Potansiyel Atlası verilerine göre Türkiye'nin güneşlenme süresi Şekil 3.12'deki gibidir. Türkiye'nin yıllık ortalama güneşlenme süresi 2740 saattir.



Şekil 3.12 Türkiye Güneşlenme Haritası

### 3.5.4 Rüzgâr enerjisi

İnsanoğlunun yararlandığı ilk enerji kaynağı, rüzgârdır. Tarihin en eski dönemlerinden itibaren itici güç olarak kullanılan rüzgâr enerjisini, ilk olarak Mısırlılar ve Çinliler kullanmışlardır. Özellikle deniz taşımacılığında rüzgâr temel enerji kaynağı olmuştur (Ulu, 2010).

Rüzgâr enerjisi, ısıları farklı olan hava kütlelerinin yer değiştirmesiyle oluşur. Güneşten yeryüzüne ulaşan enerjinin %1-2'si rüzgâr enerjisine dönüşmektedir.

Rüzgâr türbinleri, yenilenebilir nitelikte olan hava akımını elektrik enerjisine dönüştürmektedir. Yani rüzgâr enerjisi kinetik enerjiye dönüşmüş güneş enerjisidir denebilir. Rüzgârın hızı yükseklikle, gücü ise hızının küpü ile orantılı olarak artar. Sağlayacağı enerji, gücüne ve estiği süreye bağlıdır (Uçar, 2007).

Rüzgâr türbinlerinin çalışması çevreye zararlı gaz emisyonuna neden olmadığından enerji geleceğimizde ve iklim değişikliğini önlemede büyük bir role sahiptir.

Geleneksel güç santrallerinin aksine, enerji güvenliği açısından yakıt maliyetlerini ve uzun dönemli yakıt fiyatı risklerini eleyen ve ekonomik, politik ve tedarik riskleri açısından diğer ülkelere bağımlılığı azaltan yerli ve her zaman kullanılabilir bir kaynaktır (ETKB, 2010).

Dev kulelerin üzerine monte edilen kanatlar yardımıyla rüzgârdan elektrik enerjisi üretilebilir. Rüzgârla gelen hava kanatları döndürür, kanatların bağlı olduğu mil de jeneratörü çalıştırır. Kanatların birleştiği yükseklikte bulunan bölmeden aşağıda sadece elektriği ileten kablo bulunmaktadır. İşletme maliyetinin olmadığı hesaba katılırsa rüzgâr, çok ekonomik bir enerji kaynağı olarak gözükmektedir (EİE, 2010).

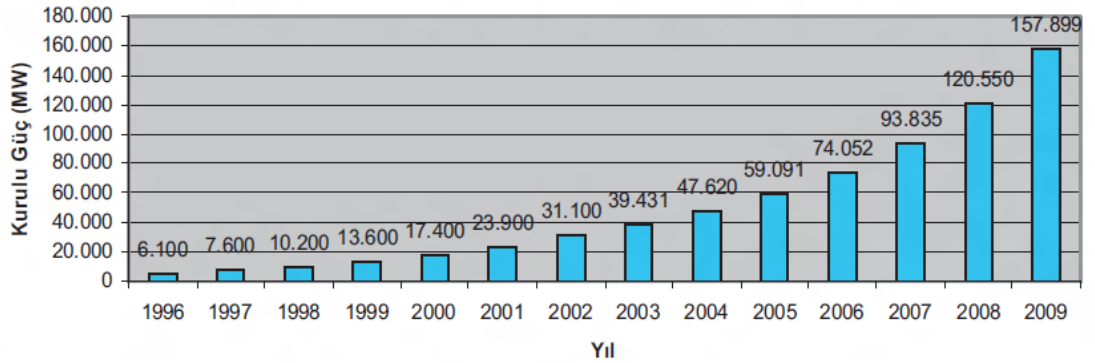


Ancak rüzgâr türbinlerinin büyük alan kaplaması, gürültü kirliliği oluşturması ve üretilen elektriğin kalite sorunları gibi bazı dezavantajları bulunmaktadır. Ama bu dezavantajlar fosil yakıtların verdiği zarar ile kıyaslandığında yok denecek kadar azdır.

#### 3.5.4.1 Rüzgâr enerjisinin dünyadaki durumu

2009 yılında, 2008 yılına göre küresel rüzgâr enerjisi pazarında %31’lik büyüme görülmüştür. 2009 yılı süresinde AB’de devreye alınan toplam 25.963 MW gücündeki elektrik enerjisi santralleri içinde 10.163 MW’lık kurulum ile rüzgâr enerjisi santralleri ilk sırada yer almaktadır (WEC, 2010).

Şekil 3.13 Yıllara göre küresel birikmiş rüzgâr kurulu güç değişimini, Tablo 3.8 küresel rüzgâr enerjisi pazarındaki önde gelen ülkeleri göstermektedir.



Şekil 3.13 Küresel Kümülatif Rüzgâr Kurulu Gücü (1996-2009) (GWEC, 2009)

Tablo 3.8 Küresel Rüzgâr Enerjisi Pazarındaki İlk On Ülke (2009) (EWEA,2010)

Ülkeler	Kurulu Güç (MW)	Pazar Payı %
ABD	35.159	22.3
Almanya	25.777	16.3
Çin	25.104	15.9
İspanya	19.149	12.1
Hindistan	10.926	6.9
İtalya	4.850	3.1
Fransa	4.492	2.8
İngiltere	4.051	2.6
Portekiz	3.535	2.2
Danimarka	3.465	2.2
En Büyük 10 Pazar	136.508	86.5
Dünyanın Geri Kalanı	21.391	13.5
Dünya Toplam	157.899	

### **3.5.4.2 Rüzgâr Enerjisinin Türkiye’deki durumu**

Rüzgâr Enerjisi Potansiyeli Atlasına (REPA) göre Türkiye’deki teorik rüzgâr enerjisi potansiyeli 48.000 MW civarındadır. Mevcut elektrik şebeke alt yapısı dikkate alındığında ise elektrik şebekesine bağlanabilir rüzgâr enerjisi potansiyeli 10.000 MW düzeyinde hesaplanmıştır. Ayrıca elektrik şebekesinde yapılabilecek olası yenileme çalışmaları sonucu orta vadede elektrik şebekesine bağlanabilir rüzgâr enerjisi potansiyelinin 20.000 MW seviyesine yükselmesi olası gözükmemektedir.

Türkiye’de 2005 yılında 20,1MW olan rüzgâr kurulu gücü Mayıs 2010 itibariyle 1.044 MW’a yükselmiş durumdadır.(REPA)

### **3.5.5 Jeotermal enerji**

Jeotermal enerji yerin derinliklerindeki kayalar içinde birikmiş olan ısının akışkanlarca taşınarak rezervuarlarda depolanması ile oluşmuş sıcak su, buhar ve kuru buhar ile kızgın kuru kayalardan yapay yollarla elde edilen ısı enerjisidir. Jeotermal kaynaklar yoğun olarak aktif kırık sistemleri ile volkanik ve magmatik birimlerin etrafında oluşmaktadır. (Url-4)

Jeotermal enerjiye dayalı modern jeotermal elektrik santrallerinde CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> gazlarının salınımı çok düşük olduğundan temiz bir enerji kaynağı olarak değerlendirilmektedir. Jeotermal enerji, jeotermal kaynaklardan doğrudan veya dolaylı her türlü faydalanmayı kapsamaktadır (Url-4).

Tezimin konusu kapsamında, ilerleyen bölümlerde jeotermal enerji ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

#### **3.5.5.1 Jeotermal enerjinin dünyadaki durumu**

2009 yılı itibariyle jeotermal enerji kullanımı 438.071 TJ/yıl (121.696 GWh/yıl) olup 2005 yılından itibaren %60 artış ve yaklaşık %9.9 oranında yıllık büyüme göstermektedir.

Enerji tasarrufu yılda 307.8 milyon varil (46.2 milyon ton) petrol eşdeğeridir. Ayrıca, 46.6 milyon ton karbon ve 148.2 milyon ton CO<sub>2</sub> gazının atmosfere karışmasını engellenmiş olmaktadır (Url-9).

Dünyada, jeotermal elektrik santrali bulunan 27 ülke mevcuttur. Bu ülkelerden Yunanistan, Tayvan ve Arjantin' in ekonomik ve çevresel etkenler nedeniyle santrallerini kapatmaları sonucu, santral bulunan ülke sayısı bugün itibariyle 24 olmuştur. Bu ülkeler; Avustralya, Avusturya, Çin, Kosta Rika, El Salvador, Habeşistan, Fransa, Almanya, Guatemala, İzlanda, Endonezya, İtalya, Japonya, Kenya, Meksika, Yeni Zelanda, Nikaragua, P. Yeni Gine, Filipinler, Protekiz, Rusya, Tayland, Türkiye ve A.B.D'dir (Url-9).

Tablo 3.9; Dünya çapında jeotermal elektrik santrallerinin toplam kurulu kapasitesini, Tablo 3.10; jeotermal kullanımın kıtalara göre dağılımını göstermektedir.

Tablo 3.9 2010 Yılı İtibariyle Toplam Jeotermal Kapasite ve Kullanım

Kullanım	Kurulu Güç (MW)	Yıllık Enerji Kullanımı (GWh/yıl)	Kapasite Faktörü	Kullanımın Olduğu Ülke Sayısı
Elektrik Üretimi	10.715	67.246	0.72	24
Doğrudan Kullanım	50.583	121.696	0.27	78

Tablo 3.10 2010 Yılı İtibariyle Jeotermal Kullanımın Kıtalara Göre Dağılımı

Bölge	Elektrik Üretimi			Doğrudan Kullanım		
	%MWe	%GWh/yıl	Ülkeler	%MWe	%GWh/yıl	Ülkeler
Afrika	1.6	2.1	2	0.1	0.6	7
Amerika	42.6	39.9	6	28.9	18.4	15
Asya	34.9	35.1	6	27.5	33.8	16
Avrupa	14.5	16.2	7	42.5	45.0	37
Okyanusya	6	6.7	3	1.0	2.2	3

Tezimin konusu kapsamında, ilerleyen bölümlerde dünyada jeotermal enerjinin durumu daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

### 3.5.5.2 Jeotermal enerjinin Türkiye'deki durumu

Alp-Himalaya orojenik kuşağı üzerinde olması nedeniyle genç tektonizma ve volkanizmanın yoğun olduğu ülkemiz, jeotermal enerji teorik potansiyel açısından dünya sıralamasında yedinci uygulamalar açısından dünyada beşinci ve Avrupa'da ise birinci durumdadır. Fakat Haziran 2007 itibariyle jeotermal kaynak potansiyelimizin ancak %7'si değerlendirilmektedir.

Tezimin konusu kapsamında, ilerleyen bölümlerde Türkiye’de jeotermal enerjinin durumu daha ayrıntılı bir şekilde ele alınacaktır.

### 3.5.6 Biyokütle enerjisi

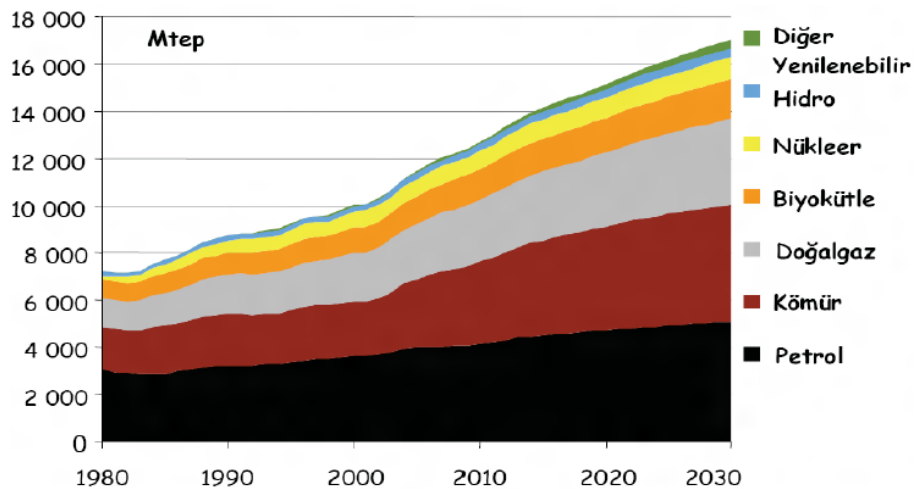
Biyokütle, yeşil bitkilerin güneş enerjisini fotosentez yolu ile kimyasal enerjiye dönüştürerek depolaması sonucu meydana gelen biyolojik kütle ve buna bağlı organik madde kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Karbon içeren organik maddeler oksijenle reaksiyona girdiklerinde ısı açığa çıkartırlar. Hızlı büyüyen bitkilerle enerji ormanları oluşturmak ve bu bitkileri bir yandan yetiştirip diğer yandan yakmak suretiyle elde edilecek buhardan elektrik üretilebilmektedir.

Bioyakıtlar biyokütlenin enerjiye dönüştürülmüş formu olup fosil yakıtlarla birlikte ve/veya fosil yakıtların yerine kullanılacak yenilenebilir enerji seçenekleridir. Karada, denizde, havada ulaştırma yakıtı olarak bilinmesinin yanı sıra elektrik ve ısı (sıcak-soğuk) üretiminde de kullanılmaktadır.

Biokütleyi çekici hale getiren unsurlar yenilenebilir olması, kendisiyle birlikte pek çok ilgili sektörde yeni açılımlar ve iş hacmi yaratması, bitkisel biokütle ve algler söz konusu olduğunda oluşumu sırasında önemli derecede karbondioksit absorblaması olarak sayılabilir.

#### 3.5.6.1 Biokütle enerjisi ve bioyakıtların dünyadaki durumu

Uluslararası Enerji Ajansının verilerine göre, Şekil 3.14’de görüldüğü gibi biokütle enerjisi önümüzdeki yıllarda da istikrarlı artışını sürdürecektir.



Şekil 3.14 Dünya Birincil Enerji Talebi İçin Referans Senaryo (IEA, 2009)

Önemli bir biyoyakıt olan bioetanol mercek altına alındığında dünyada, 2008 yılında 78,89 milyar litre olan dünya bioetanolün üretimi 2009 yılında %11,2'lik bir artışla 87,70 milyar litreye ulaşmıştır. Dünyanın en büyük etanol üretici ülkeleri son yıllarda olduğu gibi 2009 yılında da A.B.D ve Brezilya olmuştur. Tablo 3.11; dünyanın önde gelen bioetanol üretici ülkelerini ve bioetanol üretim verilerini göstermektedir.

Tablo 3.11 Dünya Bioetanol Üretimi (milyon litre) (WSS, 2010)

Ülkeler	2008	2009
ABD	35.315	41.072
Brezilya	22.551	27.165
Çin	4.050	4.450
Fransa	1.545	1.850
Hindistan	2.075	1.725
Kanada	900	1.200
Almanya	689	1.040
İngiltere	350	580
Rusya	559	529
İspanya	438	570
Tayland	396	700
Ukrayna	370	400
Kolombiya	283	325
Polonya	198	400
Arjantin	212	250
Endonezya	190	250
Güney Kore	175	175
İtalya	118	115
Diğer Ülkeler	9.516	4.907
Dünya Toplam	78.885	87.703

### 3.5.6.2 Biokütle enerjisi ve biyoyakıtların Türkiye'deki durumu

Ülkemizde, yasal düzenlemeleri Tütün ve Alkol Piyasası Düzenleme Kurumu tarafından yapılan bioetanol sektöründe mevcut durumda 3 üretim tesisi bulunmaktadır. Bununla birlikte Eskişehir Şeker Fabrikası Alkol Üretim Tesisi de yakıt alkolü üretecek şekilde revize edilmiştir. Ülkemizdeki biyoetanol tesislerinin en büyüğü Pankobirlik bünyesinde bulunan Konya Şeker AŞ'ye ait Çumra Şeker Fabrikasında kurulan ve Şeker pancarından üretim yapan 84 milyon litre kapasiteli biyoetanol tesisidir. Diğer 2 tesisten biri Bursa Kemal Paşa'da kurulu olup 40 milyon litre kapasitelidir. Tarkim'e ait olan tesis mısırdan üretim yapmaktadır. Adana'da

kurulu olan ve Tezkim'e ait olan biyoetanol tesisinin kapasitesi ise 40 milyon litre olup buğday ve mısırdan üretim yapılmaktadır.

Türkiye'de Kurulu biyoetanol kapasitesi yaklaşık 180 milyon litre olup yaklaşık %8 benzin gereksinimimizi karşılayacak durumda olmasına rağmen ulaştırma yakıtı olarak biyoetanol kullanımı çok azdır.

### **3.5.7 Biyogaz Enerjisi**

Hayvansal ve bitkisel atıkların çürütülmesiyle üretilen metan gazını depolayarak tehlikeli ve çevreye zararlı olabilecek bir gazı enerjiye dönüştürmek mümkündür. Çöp içinde biriken metan gazı, açılan kuyulardan borularla enerji üretim tesisine pompalanarak üretim gerçekleşmekte, aktif gaz depolama sistemiyle depolanan gazların arıtılmasıyla elde edilen metan gazı, yakılarak elektrik enerjisine dönüştürülmektedir. (Hekim, 2011)

### **3.5.8 Hidrojen Enerjisi**

Hidrojen 1500'lü yıllarda keşfedilmiş, 1700'lü yıllarda yanabilme özelliğinin farkına varılmış, evrenin en basit ve en çok bulunan elementi olup, renksiz, kokusuz, havadan 14.4 kez daha hafif ve tamamen zehirsiz bir gazdır. (ETKB, 2010)

1 kg hidrojen 2.1 kg doğal gaz veya 2.8 kg petrolün sahip olduğu enerjiye sahiptir. Ancak birim enerji başına hacmi yüksektir. Hidrojen doğada serbest halde bulunmaz, bileşikler halinde bulunur. En çok bilinen bileşiği ise sudur. (ETKB, 2010)

Yakıt hidrojenin temelde, sudan yenilenebilir enerjilerle üretilmesi ana ilkedir. Hidrojen üretim yöntemlerinin başında suyun direkt elektrolizi gelir. Elektroliz için elektrik gereksinimi fosil yakıtlardan, hidroelektrik kaynaktan, nükleer güçten, jeotermal enerjiden, güneş, rüzgâr ve deniz dalgaları enerjilerinden elde olunabilir. Gelecek için üzerinde en çok durulan yöntem fotovoltaik güneş üreteçlerinin kullanılmasıdır. (Şenaktaş, 2005)

Dünyanın enerji gereksiniminin büyük bölümünü karşılayan fosil kaynaklar hem gittikçe azalmakta hem de çok ciddi çevre ve hava kirliliğine sebep olmaktadır. Hidrojen, bir enerji taşıyıcısı olarak bu sorunların çözümü için bir potansiyel oluşturmaktadır. Bu sebeple son yıllarda hidrojen enerjisi üzerinde yoğun araştırma ve geliştirme faaliyeti sürdürülmektedir. (Görkem, 2010)

### **3.5.9 Hidrolik Enerji**

Hidroelektrik santraller; nehirler, akarsular, göller veya kanallar üzerine kurulabilir. Hidroelektrik santrallerin en önemli özellikleri: yakıt masraflarının olmaması, verimlerinin zamanla azalmaması, enerji birim maliyetinin düşük olması ve kaynaklarının yenilenebilir olması şeklinde sıralanabilir. Suların kinetik ve potansiyel enerjilerinden faydalanabilmek için hidroelektrik santraller kurulmuş, böylece elektrik enerjisi üretiminde çok uzun ömürlü ve ucuz bir kaynak hizmete konulmuştur ( Çetin, 2010).

Hidrolik enerji temiz, yenilenebilir enerji seçeneklerinin en önemlisi olarak kabul edilmektedir. Bugünkü santraller %90-95 dolayında en yüksek verimli enerji dönüşüm işlemi sağlamaktadır. Hidroelektrik diğer büyük ölçekli enerji üretim seçenekleriyle kıyaslandığında, en düşük işletme maliyetine ve en uzun işletme ömrüne sahiptir (WEC, 2010).

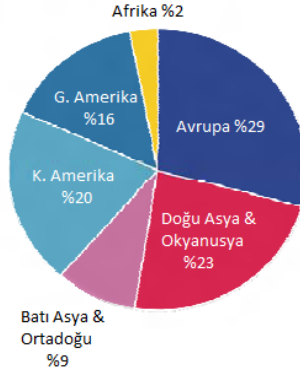
Depolamalı Hidroelektrik santraller kullandıkları suyu biriktirerek suyun diğer amaçlar için (tarım, içme suyu vb.) kullanılabilirliğini artırır. Suyun akışını düzenleyerek taşkın zararların önler veya azaltır. Suyun enerji üretimi yanında diğer kullanımlar için de kullanılacak şekilde depolanabilmesi ve işletilebilmesi, suyun artan ve gelecekte daha da artacak olan önemi göz önüne alındığında; bu projelerin önemini daha da artıracaktır (WEC, 2010).

En az düzeyde olumsuz çevresel etki yaratmaları, kırsal kesimlerde ekonomik ve sosyal yapıyı canlandırması gibi nedenlerle diğer enerji üretim tesislerine göre üstünlük arz etmektedir. Bu nedenlerle, hidroelektrik projelerin bir an evvel geliştirilerek realize edilmesinde yarar görülmektedir.

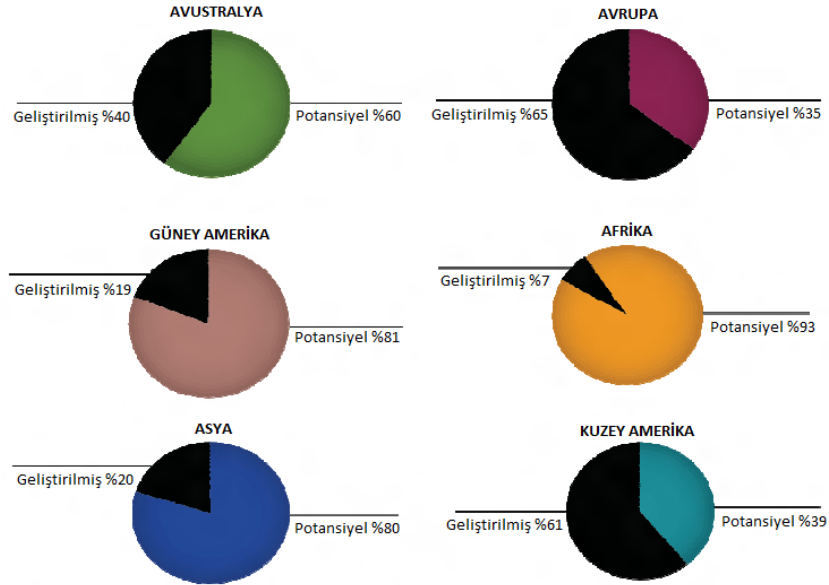
#### **3.5.9.1 Hidrolik enerjinin dünyadaki durumu**

Asya'da geliştirilen hidrolik enerji potansiyeli Çin sayesinde toplam kurulu güç bakımından Avrupa ve Kuzey Amerika'yı geçmiş durumdadır “Şekil 3.15”; dünyada kurulu hidrolik güç dağılımı göstermektedir. Asya, Güney Amerika ve Afrika hala büyük oranda geliştirilmemiş hidrolik enerji potansiyeline sahiptir. Avrupa ve Kuzey Amerika hidrolik enerji potansiyellerinin %60'ından fazlasını geliştirmiştir. Buna karşın; Asya, Afrika ve Güney Amerika mevcut kullanılmaya hazır potansiyellerinin küçük bir bölümünü kullanmaktadır (WEC, 2010).

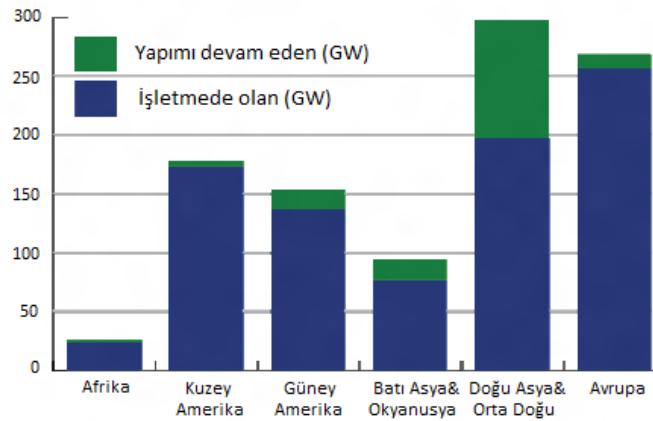
Şekil 3.16; Dünyada hidrolik enerji potansiyeli ve geliştirilme durumlarını, Şekil 3.17; Dünyada kurulu hidrolik güç dağılımını göstermektedir. (WEC, 2010).



Şekil 3.15 Dünyanın Kurulu Hidrolik Güç Dağılımı (IHA, 2010)



Şekil 3.16 Dünyanın Hidrolik Enerji Potansiyeli ve Geliştirilme Durumları (IEA, 2010)



Şekil 3.17 Dünyada Kurulu Hidrolik Güç Dağılımı (IHA, 2010)



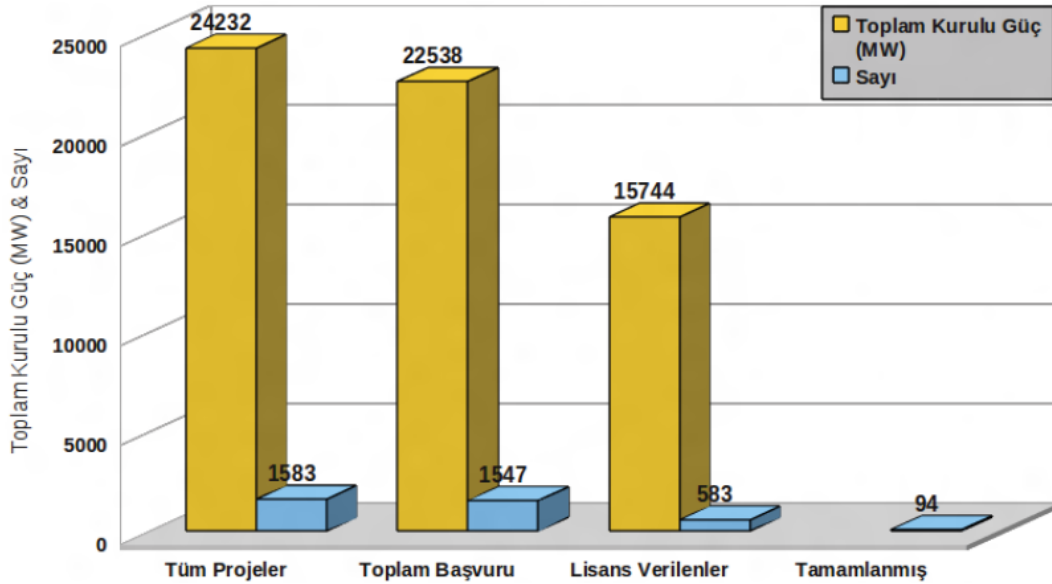
### 3.5.9.2 Hidrolik enerjinin Türkiye'deki durumu

Ülkemizin ortalama yükseltisi 1.131 metre olup 1000 m'den yüksek alanlar toplam yüzeyin %55.5'ini kaplamaktadır. Ülkemiz arazisinin %64'ünün eğimi %12'nin üzerindedir. Ortalama yüksekliği bir kilometrenin üstünde olan ülkemizde akarsu eğimleri de fazladır. Bu topoğrafik yapı ve hidrolojik koşullar ülkemizi hidroelektrik enerji üretimi açısından avantajlı kılmaktadır. (WEC, 2010)

2007 yılı itibariyle, Türkiye'de üretilen elektrik enerjisinin % 18.7'si hidrolik enerji kaynaklarından karşılanmaktadır. (TEİAŞ), (2009), Türkiye Elektrik Üretim – iletim istatistikleri, Ankara. Türkiye'nin brüt hidroelektrik enerji potansiyeli 433 milyar kWh civarında olup, Türkiye'nin teknik hidroelektrik enerji potansiyeli 216 milyar kWh/yıl mertebesindedir (Balat, 2007).

Yıldan yıla küçük farklılıklar göstermekle birlikte bugün için Türkiye'nin teknik ve ekonomik hidroelektrik potansiyeli 129.9 milyar kWh'dır. Bu potansiyelin % 35.5'i işletmede, % 11.1'i inşa halinde ve geri kalan % 53.4'ü çeşitli proje seviyelerinden oluşmaktadır. Şekil X.X EPDK'na başvuran HES projelerinin gelişme durumlarını ve bu konudaki ilerlemenin yavaş olduğunu ortaya koymaktadır. (Kömürcü, Akpınar, 2009)

Şekil 3.18; EPDK'na başvuran HES projelerinin gelişme durumları görülmektedir.



Şekil 3.18 EPDK'na Başvuran HES Projelerinin Gelişme Durumları (EPDK, 2010)

## 4. JEOTERMAL ENERJİ

### 4.1. Jeotermal Enerjinin Tanımı

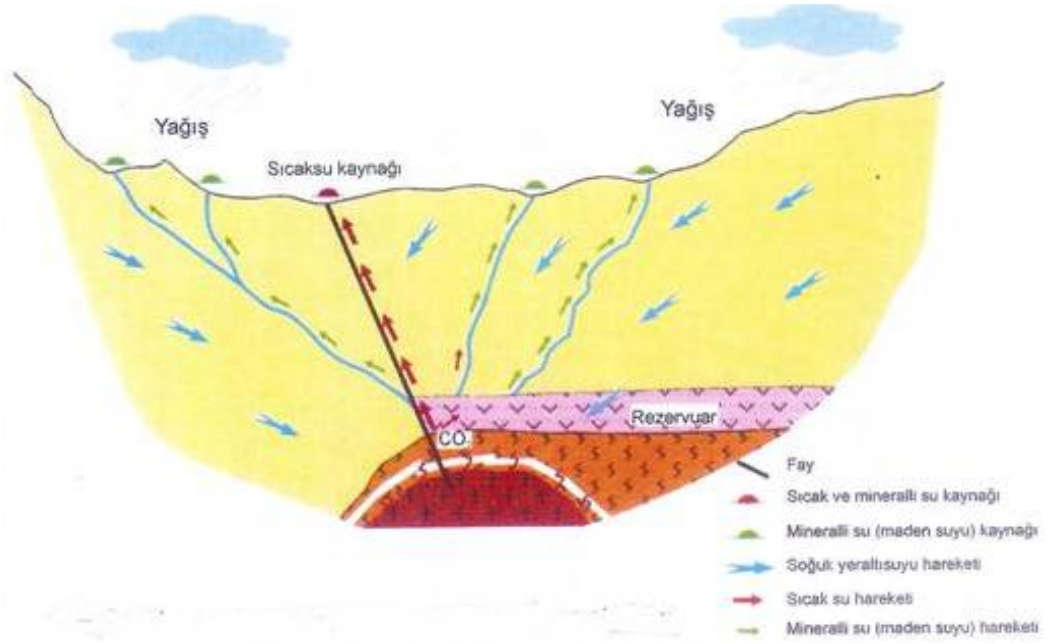
Jeotermal kelimesi Yunan kökenli geo (dünya) ve termal (ısı) kelimelerinin birleşmesinden oluşmaktadır (İnce, 2005).

Jeotermal enerji temelde dünyanın alt katmanlarında bulunan ve önemli bir yenilenebilir enerji kaynağı olarak kabul edilen bir çeşit termal enerjidir. Bu enerji kaynağı asırlardır su ve yeryüzü ısınmasında, tıbbi amaçlı tedavilerde ya da pişirme amacıyla kullanılmaktadır (Dur, 2005).

Jeotermal enerjinin bilimsel tanımını yapmak gerekirse; Jeotermal enerji: Yerkabuğunun çeşitli derinliklerinde bulunan ve yeryüzündeki havzalardan beslenen sularla potansiyelini oluşturan birikmiş ısının meydana getirdiği sıcaklıkları bölgesel olarak değişen ve bünyesinde daha çok, erimiş mineral tuzlar ve gazlar içeren su ve buhardan oluşan bir hidrotermal küttedir. Yeraltındaki bazı granit gibi sert kayaların oluşturduğu sistemler de bünyelerinde su içermemesine rağmen bir jeotermal enerji kaynağı olarak nitelendirilir (Arslan, 2006).

Bu kayalar herhangi bir akışkan içermemesine rağmen bazı teknik yöntemlerle ısısından yararlanan, yerin derinliklerindeki sıcak kuru kayalardır. En geniş anlamda yerkabuğunda depolanan ısıl enerji, jeotermal enerjiyi oluşturmaktadır. (Etemoğlu vd., 2004).

Jeotermal akışkanı oluşturan sular meteorik kökenli olduklarından rezervuar sürekli olarak beslenmekte ve kaynak yenilenebilmektedir. Bu yüzden beslenmenin üzerinde tüketim olmadıkça jeotermal kaynakların tükenmesi mümkün değildir. Şekil 4.1; jeotermal enerjinin oluşumunu göstermektedir (Yolcu, 2003).



Şekil 4.1 Jeotermal Enerjinin Oluşumunu

Yerkürede sıcaklık her kilometre derine indikçe  $8^{\circ}\text{C}$ 'den  $50^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar değişen değerlerde (ortalama  $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ) artar. Ancak bazı jeolojik yapılarda  $100^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ' ye varan sıcaklık değişimi görülebilir. Böyle yapılarda  $300^{\circ}\text{C}$  sıcaklığa 4 km' den daha az derinliklerde ulaşılabilir (Lineau, Lunis, 1991).

Şekil 4.2; yerkürenin bileşenlerini ve sıcaklık dağılımını, Şekil 4.3; jeotermal sistemin kaynağını göstermektedir.

### Yerkürede sıcaklık dağılımı

Kalınlık(km)

0-100	Kabuk ve litosfer
100-2886	Manto
2886-5156	Dış Çekirdek
5156-6371	İç Çekirdek



Şekil 4.2 Yerkürenin Bileşenlerini ve Sıcaklık Dağılımı



- 1841: Larderello'da yeni teknikler kullanılarak jeotermal kuyularının açılmasına başlandı.
- 1860: Kaliforniya eyaletinde The Geysers bölgesinde jeotermal kaynağını değerlendirmeye dönük tesisler açıldı.
- 1870: A.B.D'de kaplıca ve benzeri yerlere büyük talep doğdu.
- 1891: Idaho eyaletinin Boise şehrinde (A.B.D) ilk jeotermal bölgesel ısıtma sistemi uygulaması gerçekleşti.
- 1900: Kaliforniya eyaletinin Calistoga bölgesinde otuzdan fazla kaplıca merkezi açıldı.
- 1904: İtalya'da Larderello'da jeotermal buhardan ilk elektrik üretimi sağlandı.
- 1920: Kaliforniya eyaletindeki The Geysers tesislerinde ilk jeotermal kuyular açıldı.
- 1929: Oregon eyaletinde (A.B.D) Klamath Falls'da evler jeotermal enerji ile ısıtmaya başlandı.
- 1930: İzlanda'da büyük ölçekli merkezi ısıtma projesi çalışmaları başladı.
- 1930: İzlanda, A.B.D, Japonya ve Rusya'da jeotermal akışkanın kullanımı yaygınlaştı.
- 1943: İtalya'da Larderello'da jeotermal sahasından elektrik üretimi 132 MWe kapasiteye erişti.
- 1945: Süt pastörizasyonunda ilk kez jeotermal akışkandan yararlanıldı.
- 1945: A.B.D'de buzlanmaya karşı yer ısıtmasında, hacim ısıtmasında ve sera ısıtmacılığında jeotermal ısı kullanıldı.
- 1958: Yeni Zelanda'da Flash Metodu ile jeotermal elektrik üretimine başlandı.
- 1960: Kaliforniya, The Geysers jeotermal alanında ticari elektrik üretimi için ilk kez kuru buhar kullanıldı.
- 1963: Türkiye'de ilk jeotermal sondaj kuyusu Balçova, İzmir'de açıldı.
- 1966: Japonya'da ilk jeotermal elektrik santrali kuruldu.

- 1968: Türkiye'de Kızıldere, Denizli jeotermal alanının keşfedilmesiyle elektrik üretimi amaçlı ilk jeotermal kuyunun inşaatına burada başlandı.
- 1969: İkincil çevrim jeotermal teknolojiler Kaliforniya'da başarı ile uygulandı.
- 1969: Fransa'da büyük jeotermal ısıtma projeleri başladı.
- 1970: Çin'de ilk kez elektrik üretiminde jeotermal akışkandan yararlanıldı.
- 1975: Kaliforniya'da The Geysers jeotermal alanındaki kaynaklardan 500 MWe 'lık elektrik üretimi kapasitesine ulaşıldı.
- 1978: Nevada eyaletinde (A.B.D) ilk jeotermal gıda kurutma tesisi kuruldu.
- 1978: New Mexico eyaletinde (A.B.D) kızgın kuru kayada jeotermal rezervuar oluşturulup test edilmeye başlandı.
- 1979: Endonezya'da ilk jeotermal elektrik üretimi gerçekleştirildi.
- 1980: A.B.D'nin batı eyaletlerinde pek çok yeni jeotermal elektrik santralleri kuruldu.
- 1981: Hawaii eyaletinin (A.B.D) Puna bölgesinde kurulan jeotermal tesisler faaliyete geçti.
- 1982: Türkiye'de Germencik, Aydın jeotermal alanı keşfedildi.
- 1983: Türkiye'de kuyu içi eşanjörlü ilk jeotermal ısıtma sistemi Balçova, İzmir'de kuruldu.
- 1984: Türkiye'nin ilk ve Avrupa'nın İtalya'dan sonra ikinci jeotermal enerji santrali (20.4 MWe kapasiteli) Kızıldere, Denizli'de hizmete açıldı.
- 1984: Oregon eyaletinde (A.B.D) mantar yetiştiriciliğinde jeotermalden yararlanıldı.
- 1985: Jeotermal elektrik santrallerinde dünya çapında yaklaşık 2.000 MW'lık elektrik üretim kapasitesine ulaşıldı.
- 1987: Nevada'da jeotermal akışkan altın madenciliğinde kullanıldı.
- 1987: Türkiye'nin ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi Gönen, Balıkesir ve Kozaklı 'da işletmeye açıldı.

- 1990: A.B.D'de jeotermal elektrik üretimi kurulu kapasitesi 3.000 MWe'e yükseldi.
- 1992: Dünyada 21 ülkede jeotermal elektrik üretimi toplam yaklaşık 6.000 MWe'e ulaştı.
- 1996: Türkiye'de 15.000 konut ana kapasiteli Balçova, İzmir jeotermal merkezi ısıtma sistemi devreye girdi.
- 2000: Tüm dünyada jeotermalden yaklaşık 8000 MWe jeotermal elektrik üretimi ve 17.000 MWt civarında jeotermal kaynaklar doğrudan kullanımı gerçekleştirildi.
- 2001: Türkiye'nin jeotermal kurulu ısıtma gücü 493 MWt'a ulaştı. Türkiye böylece jeotermalin elektrik dışı uygulamalarda dünyanın 5. büyük ülkesi durumuna geldi.
- 2009: Türkiye'nin en büyük jeotermal santrali olan (47,4 MWe) Aydın-Germencik Jeotermal Enerji Santrali devreye alındı. (Url-5)

### 4.3 Jeotermal Enerjinin Üstünlükleri

Jeotermal enerjinin akışkan sıcaklığına göre başlıca faydalanılma alanları şunlardır (Lund, Freeston, 2001):

- Isı enerjisinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi
- Doğrudan ısı enerjisinden endüstriyel amaçlı ısıtma ve kurutma işlemlerinde yararlanılması (şeker, tekstil, kâğıt, ilaç, konservecilik vb. ürünlerde)
- Merkezi sistemle ısıtma ve soğutmada kullanımı (sera, toplu konut, kampüs vb. ısıtılması ve soğutulması)
- Kimyasal madde üretimi (tatlı su, mineral ve kimyasal tuz üretimi vb.)
- Turistik ve tedavi amaçlı kaplıca, yüzme havuzu ve turistik tesislerde kullanımı

Jeotermal enerjinin temel avantajları ise şunlardır (Lund, Freeston, 2001):

- Jeotermal enerjinin öncelikle, birden çok amaca gerekirse aynı anda hizmet etmesi, çevre ve ekonomik açıdan sahip olduğu önemli avantajlarının başında gelmektedir.

- Jeotermal kaynaklar, yeraltındaki rezervuarlar tarafından sürekli beslenmekte, ayrıca kullanılan jeotermal akışkanın yeraltına tekrar basılmasıyla kaynak yenilenebilmektedir.
- Diğer enerji kaynaklarına göre oldukça ekonomiktir. Doğaldır, kendi kaynağımız olan jeotermal enerji dışı bağımlı değildir ve politik ilişkilerden etkilenmez. Büyük yatırımlar gerektirmemesi, yapılan yatırımı kısa sürede geri ödeyebilmesi ekonomik fayda oranının yüksekliğini işaret eder.
- İhtiyaç duyduğu teknoloji seviyesini çok yüksek olmaması jeotermal enerjiye yapılacak yatırımı cazip kılmaktadır.
- Jeotermal enerjinin kullanılması ile havaya karbonmonoksit, azot oksitler ve kükürt oksitler atılmamakta ve çevre kirletilmemektedir.

Yerli enerji kaynaklarımızdan olan jeotermal enerjinin, yurdumuzun içinde bulunduğu enerji darboğazı da göz önüne alındığında, enerji açığının karşılanmasında petrole olan bağımlılığın azaltılmasında ve döviz kaybının önlenmesi için öncelikle değerlendirilmesi gerekmektedir. Jeotermal enerji hidrolik, güneş, rüzgâr vb. gibi tükenmez enerji gurubundandır. Bu nedenle er ya da geç tükenirliği olan kömür, petrol doğal gaz, bitümlü şist, nükleer enerji kaynaklarına oranla çok uzun ömürlüdür. (Şamilgil, 1992)

Jeotermal enerjinin maliyeti gerek elektrik üretiminde, gerekse ısıtma yönünden diğer kaynaklardan üretilen enerji maliyetine oranla %50-80 daha ucuzdur. Bu oran gün geçtikçe artmaktadır.

Fosil ve nükleer kaynaklı enerji üretimlerine kıyasla, çok daha az ve genellikle kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalan bir ölçüde çevre sorunlarına neden olur. Jeotermal enerjide özellikle elektrik dışı uygulamalarda ulusal teknoloji kolaylıkla geliştirilebilir (Başol, 1985).

Jeotermal enerjinin yenilenebilirliği, tükenmezliği ve bunlara bağlı olarak maliyetinin diğer enerji türlerine göre %50 –70 oranında ucuz olması, devreye girme çabukluğu, ülkemiz düzeyinde olumlu dağılımı, ulusal enerji kaynağımız olması, özellikle elektrik dışı uygulamalarda ulusal teknolojinin yeterliliği diğer enerji kaynaklarına göre önemini göstermektedir (Başol, 1985).



#### 4.4 Jeotermal Enerji Kaynakları

Genellikle tektonik levha sınırları diye bilinen ve depremlerin sık ve şiddetli olmasıyla veya volkanik faaliyetlerle de tanımlanan bölgelerde, yer kabuğunda kırıklar olduğundan bu bölgeler genellikle jeotermal enerji açısından zengin bölgelerdir. Jeotermal enerji kaynakları şu şekilde sınıflandırılabilir:

- *Normal ısı gradyanlı sahalar:* Jeotermal olarak yüksek ısı akışı gösteren alanların dışındaki alanlardır. Bu alanlarda yaklaşık her 100 metrede sıcaklık 2.5 °C artar. Eğer 150 °C'lik bir sıcaklık elde etmek istiyorsak yaklaşık 5000m derinliğinde kuyu kazılması gerekir. Bu uygulama şu anda ekonomik değildir (Url-6).

- *Radyojenik sahalar:* Bu tür bölgeler kayaların içerisindeki radyoaktif elementlerin bozulmasıyla ortaya çıkan ısıyla, sıcaklıkları normal ısı gradyanının üzerine çıkmış bölgelerdir. Genellikle granit gibi kaya tabakalarında toplanan bu enerji, granit tabakalarının su geçirgenliği az olduğundan doğal olarak suya aktarılma olasılığı pek yüksek değildir.

- *Yüksek ısı akışlı bölgeler:* Yeraltından yeryüzüne ısı transferi iletim mekanizmasıyla olur. Dünyanın bazı bölgelerinde yer kabuğunun ısıl geçirgenlik katsayısı çok düşük olabilir. Eğer bu yüksek ısı akışı ile bir arada bulunuyorsa sıcaklıklar normal gradyanın üzerine çıkabilir. Örneğin Macaristan'da sıcaklık değişimi 40-75 °C/km civarındadır. Bu değer normal gradyanın yaklaşık üç misli civarındadır. Bu tür yüksek ısı akışlarının oluşmasının sebebi bu bölgelerde yer kabuğunun göreceli olarak ince olması veya kabuğun içine sıkışmış yüzeye yakın bir magma tabakasının olması olabilir.

- *Basınç altındaki jeotermal sahalar:* Bazı sedimenter kaya oluşumlarının arasında sıkışmış fosil su kaynakları bulunabilir. Bu tür su kaynakları basınç olarak normal basınç gradyanının üzerinde değerlere sahip olabilir. Eğer basınç gradyanı metre başına 10.5 kPa değerinin üzerindeyse bu tür alanlara basınç altında jeotermal alanlar adı verilir. Bu tür alanların çekici tarafı genelde basınç, sıcaklık ve metan kaynakları olarak üç enerji kaynağının kullanılmasını sağlayacak bir ortam oluşturmalarıdır.

- *Nokta ısı kaynakları:* Bu tür ısı kaynakları en kolay kullanılabilen jeotermal enerji kaynaklarıdır. Termal kaynak, ya yerin içinde oldukça yüksekte bulunan bir magma bölgesi veya çatlaklar boyunca yükselmiş bir magma (ergimiş bazalt) tabakasıdır.

Genelde yerin 7-15 km altında bulunur. Bu magmadan direk olarak enerji sağlanması için çalışmalar varsa da eğer çatlaklardan kaynaklanan su sızıntıları magmaya yakın bir bölgede gözenekli kayalar içerisinde bir su rezervuarı oluşturabiliyorsa, su buharı enerji elde edilebilmesi için daha elverişli bir kaynak oluşturur (Url-7).

#### **4.5 Sıcaklığa Göre Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları**

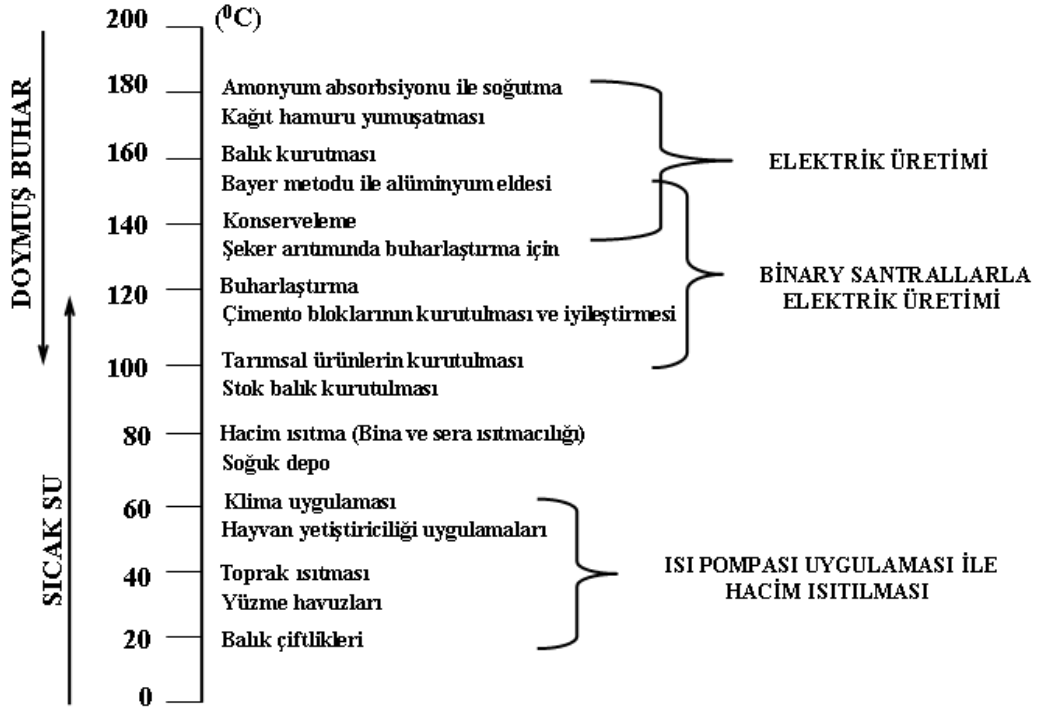
Fosil kökenli enerji kaynaklarının sınırlı rezervi, çevreye olumsuz etkisi ve 1970'li yıllardaki petrol krizi; yeni ve yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasına hız kazandırmış ve mevcut kullanılan sistemlerde enerji tasarrufuna yönelik çalışmalara önem kazandırmıştır. Bugün dünyada jeotermal enerji, güneş enerjisi, biyokütle enerjisi, rüzgâr enerjisi, hidrojen enerjisi ve sanayi tesislerindeki atık enerji gibi ucuz ve ek bir kirlilik yaratmayan enerji kaynaklarının kullanılması yönünde araştırmalar hızlanmıştır. Bu nedenle tüm dünyada jeotermal enerji birden bire büyük önem kazanmıştır. Bugün bilindiği üzere birçok ülkede jeotermal enerjiden direkt ve dolaylı yollardan faydalanılmaktadır (Tuğcu, 2002).

Yüksek sıcaklıklı jeotermal kaynakların (>150 °C) en önemli kullanım alanı elektrik üretimidir. Düşük ve orta sıcaklıklı jeotermal kaynaklar (<150 °C) çok farklı kullanım alanlarına sahiptir. 85 °C'nin üzerindeki jeotermal kaynakların binary cycle santrallerinde elektrik üretiminde kullanılması da göz önünde bulundurulmalıdır. 60 °C'nin altındaki jeotermal kaynaklardan ise ısı pompaları ile ısıtma ve soğutmada faydalanılmaktadır (Özdemir, 2008).

Jeotermal sistemlerde entegrasyon, jeotermal akışkanların çeşitli sıcaklık kademelerine göre farklı alanlarda değerlendirilmesi, jeotermal yatırımları daha da ekonomik hale getirmektedir. Jeotermal enerjinin başlıca kullanım alanları; elektrik üretimi ile konut ve sera ısıtmacılığıdır. Jeotermal enerji, ayrıca tropikal bitki ve balık yetiştirilmesinde, hayvan çiftlikleri ile cadde ve hava alanı pistlerinin ısıtılmasında, yüzme havuzu, termal tedavi merkezleri ve diğer turistik tesislerde kullanılmaktadır. Bunların yanı sıra yiyeceklerin kurutulması ve sterilizasyonunda, konservecilik, kerestecilik ve ağaç kaplama sanayinde, kâğıt ve dokuma endüstrisinde, ağartma maddesi olarak derilerin kurutulması ve işlenmesinde, şeker, ilaç ve pastörize süt fabrikalarında ve soğutma tesislerinde kullanılmaktadır. Ayrıca jeotermal akışkandan çeşitli kimyasal maddelerde elde edilmektedir. Jeotermal

enerjiden maksimum düzeyde yararlanmak, söz konusu akışkanın enerjisini en verimli şekilde kullanmak için, dış hava sıcaklığının ve uygulama yerinin ortam sıcaklığının bilinmesi gerekir (DPT, 1996) (Tuğcu, 2002).

Kolaylık olması bakımından jeotermal sıcaklıklar Şekil 4.4'te görüldüğü gibi üç aralığa ayrılmıştır: düşük sıcaklıklar (<90 °C), orta seviyedeki sıcaklıklar (90°C – 150 °C), yüksek sıcaklıklar (> 150 °C).



Şekil 4.4 Sıcaklığa Göre Jeotermal Enerjinin Kullanım Alanları (Yılcı, 2003)

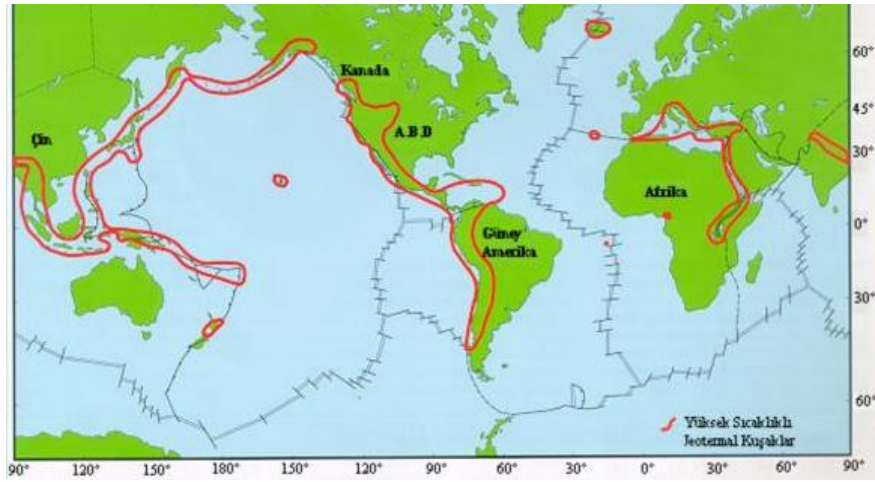
#### 4.6 Dünyada Jeotermal Enerjinin Durumu

Dünyada coğrafi olarak sadece yaklaşık %5'lik bir alanda jeotermal kaynaklar vardır. Jeotermalciler bu kuşağı "ateş halkası" olarak adlandırırlar. Dünyadaki en büyük kuşaklar arasında yer alan Alp-Himalaya kuşağı Hindistan Plakası ile Avrasya Plakasının çarpışması sonucunda oluşmuştur. 150 km genişliğinde 3000 km uzunluğundadır. İtalya, Yugoslavya, Yunanistan, Türkiye, İran, Pakistan, Hindistan, Tibet, Çin ve Tayland'ı içine almaktadır. Şekil 4.5; Dünyanın Yüksek sıcaklıklı jeotermal kuşaklarını göstermektedir (Yolcu, 2003).

Filipinler’de toplam elektrik üretiminin %27’si, Kaliforniya Eyaleti’nde %7’si, Papua Yeni Gine’de 56 MWe kapasiteli jeotermal elektrik üretimi yapılmakta olup, Altın Madenciliği İşletmesinin enerji ihtiyacının %75’i jeotermalden karşılanmaktadır. İzlanda’da toplam ısı enerjisi (şehir ısıtma) ihtiyacının %86’sı jeotermalden karşılanmaktadır. Tablo 4.1; 2007 itibariyle ülkelerin jeotermal elektrik kurulu gücünü göstermektedir (Url-7).

Dünyada jeotermal elektrik üretimindeki ilk beş ülke A.B.D., Filipinler, Meksika, Endonezya ve İtalya’dır.

Dünyada jeotermal ısı ve kaplıca uygulamalarındaki ilk beş ülke A.B.D, İsveç, Çin, İzlanda ve Türkiye’dir.



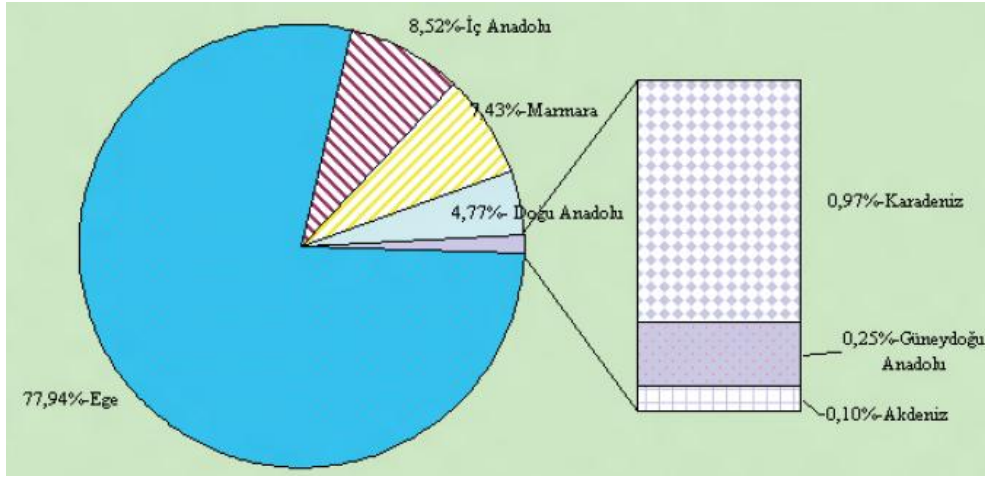
Tablo 4.1 2007 İtibariyle Ülkelerin Jeotermal Elektrik Kurulu Gücü

Ülkeler	Kurulu Güç 2000 Yılı (MW)	Kurulu Güç 2005 Yılı (MW)	Kurulu Güç 2007 Yılı (MW)	2010 Yılı İçin Tahmini Kurulu Güç (MW)
Avustralya	0,2	0,2	0,2	0,2
Avusturya	0	1,1	1,1	1
Çin	29,2	27,8	27,8	28
Kosta Rika	142,5	163	162,5	197
El Salvador	161	151	204,2	204
Habeşistan	7,3	7,3	7,3	7
Fransa	4,2	14,7	14,7	35
Almanya	0	0,2	8,4	8
Guatemala	33,4	33	53	53
İzlanda	170	202	421,2	580
Endonezya	589,5	797	992	1192
İtalya	785	791	810,5	910
Japonya	546,9	535	535,2	535
Kenya	45	129	128,8	164
Meksika	755	953	953	1178
Yeni Zelanda	437	435	471,6	590
Nikaragua	70	77	87,4	143
P. Yeni Gine	0	6	56	56
Filipinler	1909	1930	1969,7	1991
Portekiz	16	16	23	35
Rusya	23	79	79	185
Tayland	0,3	0,3	0,3	0,3
Türkiye	20,4	20	38	83
Amerika	2228	2564	2687	2817
Toplam	7973	8933	9732	10993

#### 4.7 Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Durumu

Türkiye Alp-Himalaya kuşağı üzerinde yer aldığından oldukça yüksek jeotermal potansiyele sahip olan bir ülkedir. Ülkemizin jeotermal potansiyeli 31.500 MW’tır. Ülkemizde potansiyel oluşturan alanlar Batı Anadolu’ da (%77,9) yoğunlaşmıştır. Bu güne kadar potansiyelin %13’ü (4000 MW) MTA tarafından kullanıma hazır hale getirilmiştir (Jeotermal Derneği, 2008).

Şekil 4.6 Türkiye’de jeotermal potansiyel alanların bölgelere göre dağılımını göstermektedir (EİE, 2010).



Şekil 4.6 Türkiye'de Jeotermal Potansiyel Alanların Bölgelere Göre Dağılımı

Ülkemiz potansiyeli ile dünyada 7. Avrupa'da ise 1. sırada yer almaktadır. Bu potansiyelin yaklaşık %12,5' i (3928 MWt) görünür hale getirilmiş ve bu görünür kapasitenin de %33'ünden doğrudan veya dolaylı olarak yararlanılmaktadır. Jeotermal alanların %39'u konut ısıtması %6'si elektrik üretimi ve %55'i ise diğer kullanımlar için uygundur. Türkiye'nin bugün jeotermal enerjiyi kullanım kapasitesi 1195MWt' dir. Bu kapasite ile dünyada 5. sıradadır. Tablo 4.2 de Türkiye'deki elektrik üretimine uygun jeotermal sahalar yer almaktadır(EİE, 2010).

Tablo 4.2 Türkiye'de Elektrik Üretimine Uygun Sahalar

Sahanın Adı	°C	Sahanın Adı	°C
Denizli – Kızıldere	242	Kütahya - Simav	162
Aydın - Germencik - Ömerbeyli	232	İzmir - Seferihisar	153
Manisa - Alaşehir – Kuyudere	184	Manisa - Salihli - Caferbey	150
Manisa - Salihli – Göbekli	182	Aydın - Yılmazköy	142
Çanakkale – Tuzla	174	İzmir - Balçova	136
Aydın – Pamukören	173	İzmir – Dikili	130
Aydın – Salavatlı	171		

Ülkemizdeki jeotermal kaynakların %95'i ısıtmaya uygun sıcaklıkta olup (40 °C'in üzerinde toplam 140 adet jeotermal alan) çoğunlukla Batı, Kuzeybatı ve Orta Anadolu'da bulunmaktadır. Türkiye'nin toplam jeotermal ısı elektrik potansiyeli;

- 5 milyon konut ısıtma eşdeğeri veya 150 bin dönüm sera ısıtması,
- 1 milyonun üzerinde kaplıca yatak kapasitesi,
- 29 milyar \$/yıl fueloil eşdeğeri (30 milyon ton/yıl),
- 30 milyar m<sup>3</sup>/yıl doğalgaz eşdeğerindedir. (Kılıç, 2008)

Türkiye’de jeotermal enerji kullanımına ilk olarak ısıtma amacı ile 1964 yılında Gönen’de bir otelde başlanmıştır. 1987 yılından bu yana Gönen’de 56 tabakhanein proses suyunun 3400 konutun ve ayrıca otellerin mekan ısıtılmasında jeotermal kaynak başarı ile kullanılmaktadır. Ülkemizdeki jeotermal ısı ve elektrik potansiyeli kullanımının dağılımı Tablo 4.3’te gösterilmiştir.

Tablo 4.3 Türkiye’deki Mevcut Jeotermal Kullanım Kategorileri

Değerlendirme	Kapasite
Jeotermal Merkezi Isıtma (şehir, konut, termal tesis, sera vb.)	117.000 Konut Eşdeğer (983 MWt)
Termal Turizm (kaplıca) Kullanımı	215 Kaplıca (402MWt) (yılıda 10.000.000 kişi)
Toplam Isı Kullanımı	1385 MWt (1.000.000 ton/yıl petrol (kalorifer yakıtı) karşılığı 1.4 Milyar TL/ yıl, 2007 itibarıyla)
Elektrik Üretimi	1) 20 MWe (Denizli-Kızıldere) işletiliyor.
	2) 25/50/(100) MWe kapasiteli Germencik Jeotermal Elektrik Santrali yatırımının çalışmaları devam etmektedir. (Hedef 100 MWe ‘dir)
	3) Aydın Salavatlı’da 167°C ile yaklaşık 8 MWe Binary Cycle santrali kurulmaktadır.
	4) Kızıldere Jeotermal Santrali`nin atığı olan 140°C ‘lık jeotermal sudan 6,85 MWe kapasiteli jeotermal santrali lisans almıştır.
	5) Çanakkale-Tuzla Jeotermal alanında 7,5MWe kapasiteli bir jeotermal santral üretim lisansı almıştır.
	6) 10MWe Simav Jeotermal Elektrik Üretim Santrali proje aşamasındadır.
	7) 10/20 MWe Seferihisar santrali proje aşamasındadır.
Karbondioksit Üretimi	120.000 ton/yıl

Ülkemizde, jeotermal enerji kullanılarak 1200 dönüm sera ısıtması yapılmakta ve 15 yerleşim biriminde 100.000 konut jeotermal enerji ile ısıtılmaktadır. Jeotermal enerji arama çalışmaları son yıllarda canlandırılmış, 2003 yılından itibaren MTA Genel Müdürlüğü tarafından yapılan arama çalışmaları sonucu 840 MW jeotermal enerji kaynağı tespit edilmiştir. Jeotermal enerji potansiyelimizin 1.500 MW’lık bölümünün elektrik enerjisi üretimi için uygun olduğu değerlendirilmekte olup

kesinleşen veri şuan için 600MWe'dir. 2009 yılı itibari ile jeotermal enerjisi kurulu gücümüz 77,2 MW düzeyine ulaşmıştır (ETKB, 2010).

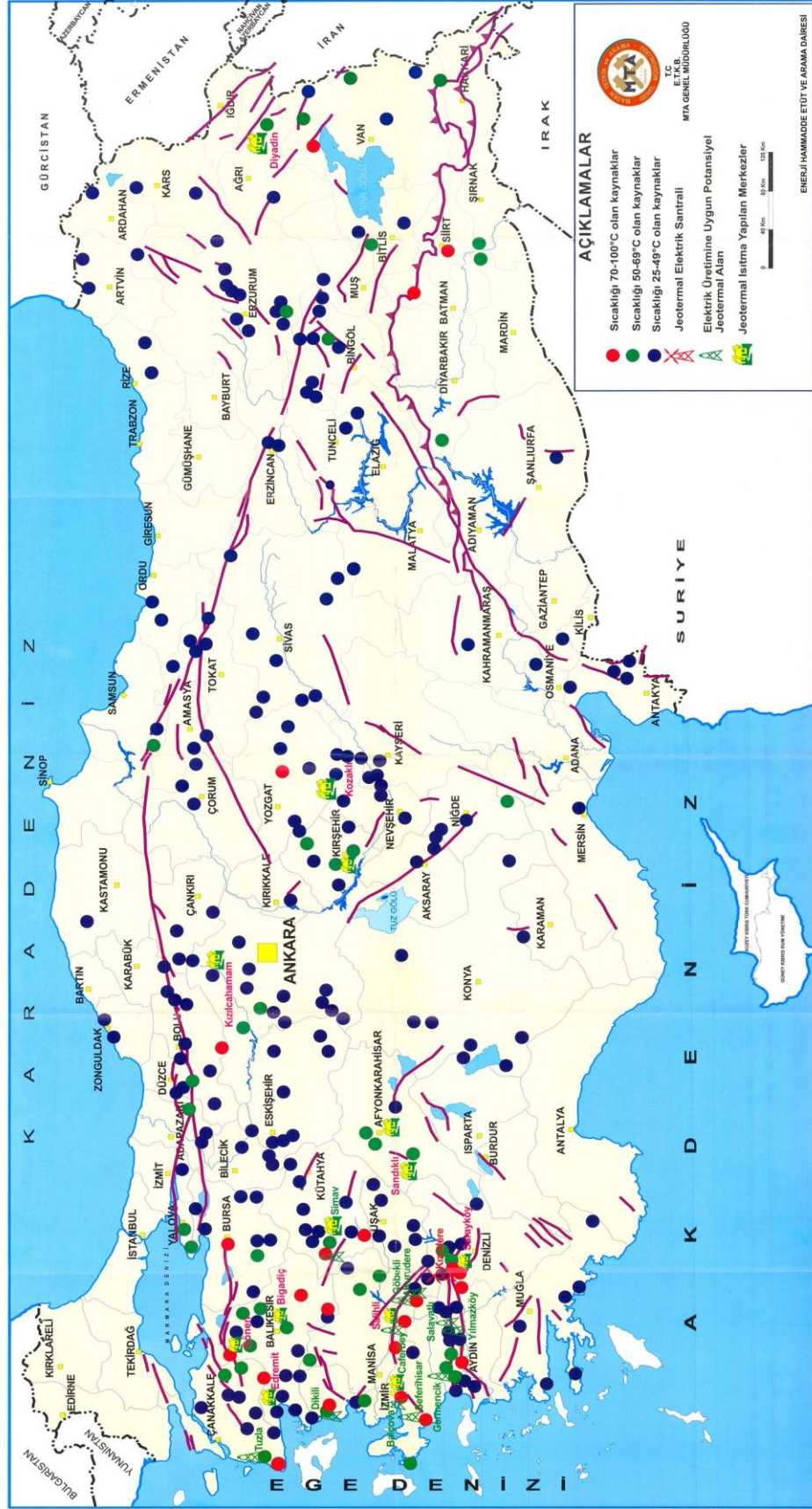
Ülkemizin toplam jeotermal potansiyelinin kullanımı ile toplam elektrik enerjisi ihtiyacımızın %5'ini ısı enerjisi ihtiyacımızın %30'unu karşılayabilmemiz olanaklıdır. Bu değerlerin ağırlıklı ortalaması alındığında Türkiye enerji ihtiyacının (elektrik + ısı) yaklaşık 14'ü jeotermal kaynaklardan karşılanabilir (ETKB, 2010).

Ülkemiz jeolojik konumu ve buna bağlı tektonik yapısı nedeniyle jeotermal enerji açısından büyük potansiyele sahiptir. 1962 yılında MTA tarafından bir sıcak su envanter çalışması olarak başlatılan Türkiye'nin jeotermal enerji araması ile bugün toplam 600'den fazla termal kaynak (sıcak ve mineralli su kaynağı) bilgisine ulaşılmıştır. Türkiye'de 45 yıldan uzun bir süredir jeotermal faaliyetler devam etmesine rağmen, düşük ve orta sıcaklıklı kaynaklar detaylıca araştırılıp değerlendirilmemiştir (Korkmaz ve diğ, 2008).

Şekil 4.7 ve Şekil 4.8, Türkiye'de bulunan jeotermal kaynakların içerdiği akışkan sıcaklığına göre sıralanmış olarak elektrik üretimine uygun jeotermal sahaları göstermektedir (EİE, 2010).

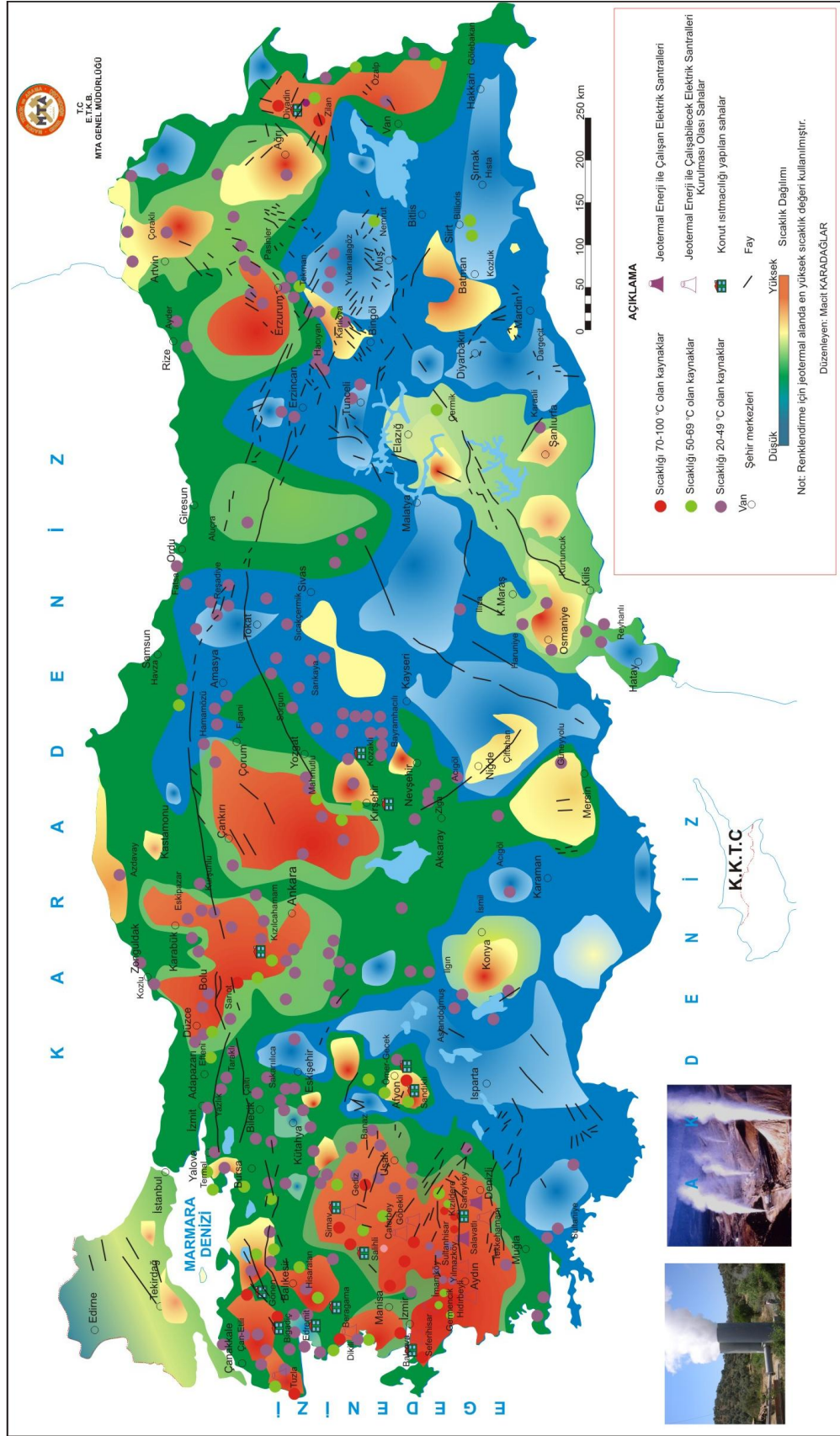


## TÜRKİYE JEOTERMAL KAYNAKLAR DAĞILIMI VE UYGULAMA HARİTASI



Şekil 4.7 Türkiye Jeotermal Kaynaklar Dağılımı ve Uygulama Haritası

## Jeotermal Kaynaklar ve Uygulama Haritası



Şekil 4.8 Türkiye Jeotermal Kaynakları ve Uygulama Haritası

## **4.8 Jeotermal Enerji ve Çevre**

Dünyadaki tüm yerleşim merkezleri ve sanayi tesisleri, kabul edilebilir sınırların üstünde havayı ve biyosferi kirletici maddeyi dışarı atmaktadır. Dünyadaki sosyal gelişmenin devamı için daha fazla enerji üretme amacı ile atmosfere atılan ve asit yağmuruna yol açan gazların etkilerinin azaltılması ihtiyacı bugünün enerji üretim sistemleri ile çelişmektedir (Başkır, 1993).

Jeotermal enerji, fosil yakıtlarının tüketimi ve bunların kullanımından doğan sera etkisi ve asit yağmurları gibi çevre sorunlarının önlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Bu durum öncelikle, jeotermal enerjinin çevre yönünden diğer enerji türlerine kıyasla sahip olduğu doğal üstünlüklerden kaynaklanmaktadır. Öte yandan, jeotermal enerjinin kullanımıyla ilgili olarak söz konusu edilebilecek çevre sorunlarının çözümü konusunda son zamanlarda önemli gelişmeler sağlanmıştır. Bu durum, jeotermal enerjinin çevre açısından önemini daha da artırmıştır (Kaymakçıoğlu, Çirkin, 2005).

Kömür katkılı santrallerdeki CO<sub>2</sub> atımı, jeotermal santrallerine göre 1600 kat daha fazladır. Bu karşılaştırmaların ışığında, jeotermal enerjinin avantajı kesin olarak görülebilmektedir. Jeotermal enerjinin diğer enerji kaynaklarına göre avantajlı olan yönleri; yenilenebilir ve kesintisiz olması, fosil enerji kaynaklarına göre düşük maliyetli olması ve çevre kirlenmesinin yok denecek kadar az olması ile en önemlisi yerli enerji kaynağı olmasıdır (Kaymakçıoğlu, Çirkin, 2005).

### **4.8.1 Çevreye Fiziksel Etkiler**

#### **4.8.1.1 Gürültü**

Jeotermal aktivitede gürültü, çevreye özellikle inşa ve operasyon aşamalarında zarar veren önemli etkilerden biridir. Gürültü “istenmeyen ses” olarak tanımlanabilir ve her aşamada bu etkinin azaltılmasına özen gösterilmelidir. Çoğu jeotermal alanlar gürültü seviyesi düşük ve ekstra gürültünün dikkat çektiği uzak alanlardadır. Genellikle doğrudan kullanım projelerin uygulanması ile oluşan gürültü çok fazla değildir. Delme ve teçhizatları, yapım teçhizatları, pompalar, kompresörler, başlıca gürültü kaynaklarıdır. Yüksek sıcaklık kaynakları ile karşılaşıldığı takdirde test kuyularından ya da susturucu çıkarılmış kaynaklardan belirgin gürültü beklenebilir

(Webb ve diğ, 1984). İnşaat sahasında gürültünün halkı rahatsız etmemesi için gürültü duvarlarına ihtiyaç duyulabilir (Lineau, Lunis, 1991).

#### **4.8.1.2 Sondaj**

Çevre üzerindeki ilk belirgin etki sondaj sırasında oluşur. Sondaj donanımının kuruluşu, kuyu başına ulaşımı sağlayacak yol ve kuyu çevresindeki gerekli altyapıyı gerektirir. Kuyu çevresinde, 300-500 m<sup>2</sup> (küçük bir sondaj kulesi, maksimum derinlik 300-700 m) ile 1200-1500 m<sup>2</sup>'lik (küçük-orta bir sondaj kulesi, maksimum derinlik 2000 m) bir alana ihtiyaç vardır. Yapılan işlemler, bu alandaki yüzey morfolojisini değiştirir, yerel bitki örtüsü ve vahşi yaşama zarar verebilir. Potansiyel akiferler geçildiğinde yer altı suları ile sondaj akışkanlarının karışmasını önlemek için kuyuların duvarları kaplanmalıdır. Sondaj ve testler sırasında ortaya çıkan bir diğer problem gürültü kirliliği ve bu işlem sırasında istenmeyen gazların atmosfere verilmesidir. Sondajda kullanılan çamur çevreye zararlı olduğundan kullanıldıktan sonra temizlenmeli ve sıvıdan ayrılmalıdır. Sondaj sırasında çıkarılan katı maddeler özel atık tanklarında ya da havuzlarında depolanmalıdır. Sondaj tamamlandığında çevreye verdiği zararlarda sona erer, sürekli değildir (Atalay, 2004).

#### **4.8.1.3 Doğal alana etkiler**

Sıcak su kaynakları, çamur havuzları, gayzerler, fümeroller gibi doğal yüzey özellikleri çoğu jeotermal sistemler ile çağrışım yaparlar. Hepsinin ortak doğal özelliği, turistler tarafından ilgi çekmeleri ve bölgesel yerleşimlerde kullanılmalarıdır. Aynı rezervuardan jeotermal kullanım bu türlerin potansiyelini etkiler. Jeotermal aktivitenin görünen belirtisi, ülkenin mirası ve her jeotermal gelişmede, çevresel etki raporu boyunca dikkate alınmalıdır (Atalay, 2004).

Araştırma safhasında, doğal çıkışlar normal olarak sıcaklık, sıvı akışı, ısı akışı, kimya ve derin rezervuar hakkında bilgi almak için araştırmalar gibi bilgilerle analiz edilirler. Bu bilgi ayrıca özellikler için düzenli ölçüm programının çekirdeği olmalıdır (Atalay, 2004).

Bölgesel hava durumu ve yağışlar gibi bölgesel sismoloji ve çökme gayzerlerin bir etkisinin olabileceği işaretlenmelidir. Jeotermal gelişmelerin yüzeydeki jeotermal türlere direkt etkisini tahmin etmek zordur. Bununla birlikte, işletilen jeotermal alanlarda gözle görülen bir tecrübe vardır ve genel fikirler yapılabilir.

Su baskın sistemlerde, derin jeotermal suyun akışına bağlı yüzeylemeler derin rezervuarın üretilmesi ise azalma eğilimi gösterirler. Wairakei’de başlangıç üretimi boyunca derin rezervuarda su seviyesinin 200 m’ye düştüğü yerde, gayzerlerin ve doğal kaynakların olduğu Wairakei Geysir Valley’deki termal alan yok olmuştur. Buhar baskın jeotermal sistemlerde ki başlıca hareketli sıvı buhardır; rezervuar basıncındaki azalma direkt olarak yüzey deşarjlarında azalmayı etkiler. Bu doğal aktivitenin buhar ve gaz jetlerinden oluşan Larderello’da kanıtlanmıştır (Badruk, 1998).

#### **4.8.1.4 Hidrotermal püskürme**

Çok nadir olmakla birlikte, hidrotermal püskürmeler aktif jeotermal sahalarda potansiyel zarar vericidir ve çevresel etki değerlendirme içine dahil edilmelidir. Aşağıdaki noktalar, hidrotermal püskürme olasılığının incelenmesinde dikkate alınmalıdır.

- Daha önceleri hidrotermal püskürmelerin oluşması yada kanıtları
- Rezervuar basıncı düşmesi yada buhar zonu artışından yüzeye buhar akışının artışı
- Güçlü yayımlı yada aşırı ısınmış buhar emisyonu ve yoğun olmayan düşük yoğunluklu sığ formasyonlar
- Yüzeye yakın akifer sıcaklıklarının derinlikle kaynama noktasına yaklaşması
- Sondaj süresince sığ gaz cepleri, dolaşım yada blowout (Badruk, 1998)

#### **4.8.1.5 Yüzey çökmesi**

Rezervuardan büyük miktarlarda akışkan çekimi, bölgenin morfolojisine bağlı olarak toprak yüzeyinde kademeli olarak ortaya çıkan çökmelerle kendini gösterebilir. Bu geri dönüşü olmayan bir olaydır. Geniş bölgelerde görülen yavaş bir proses olduğu için bu bir felaket değildir. Ancak yıllar sonra farkedilebilir derecelere ulaşır. Önleme ya da azaltmanın yolu ise enjeksiyondur. Örneğin Wairekei, Yeni Zelanda’da enjeksiyon olmaması nedeniyle 1960’tan bu yana görülen toplam çökme 10 m’ye ulaşmıştır (Atalay, 2004).

#### **4.8.1.6 Mikrodepremler**

Jeotermal sahalar genellikle yüksek sismik aktiviteli alanlarda oluşurlar. Bu durumda, tümüyle jeotermal alandan çekimle ilgili olmayan depremler sürekli olur. Düşük ölçekli mikro depremler sismik olaylardır ve sadece cihazlar ile ölçülebilir. Bu sismik aktivite jeotermal sistemler aktif olarak üretilsin ya da üretilmesin vardır ve yeraltı yüzeyi kolları boyunca suyun akışı ile ilişkisi olduğu düşünülmektedir.

Pek çok jeotermal sahada mikro deprem aktivitesinin araştırılması yapılmaktadır ve bölge fay yapılarının pozisyonu hakkında bilgi verebilecek yer kanıtları vardır. Üretim ve reenjeksiyonu direkt etkileyen mikro depremler Geysers'de gözlemlenmiştir. Fakat dünyada herhangi bir yerde sismiğin neden olduğu üretim zararı kayıtlanmamıştır. Sıvının derin formasyonlara enjeksiyonunda depremlere neden olduğu gözlemlenmiştir. Bu olay; Colorado'da Rock Flats alanında 3000 m derinliğe atık suyun enjeksiyonundan sonra bölgeye yakın şehirlerde pek çok sayıda depremin hissedilmesi ile saptanmıştır. Benzer şekilde, Wairakei'de jeotermal sahasında yüksek basınç altında reenjeksiyon bölgede depremlerin hissedildiğinde durdurulmak zorunda kalınmıştır. (Badruk, 1998).

#### **4.7.1.7 Su**

Jeotermal santrallerden atılan sular, doğal su kaynaklarından daha yüksek sıcaklığa sahip olduklarından potansiyel ısıl kirleticilerdir. Bu akışkanlar, eğer kimyasal olarak çevreye zarar vermiyorlarsa soğutulduktan sonra yüzey sularına atılabilirler.

#### **4.8.2 Kimyasal etkiler**

Jeotermal araştırma ve uygulamalar boyunca çevreye verilen kimyasalların olası kirlilik etkilerinin belirlenmesi ve bu zararlı etkilerinden korunulması gereklidir. Kirleticilerin etkileri insan sağlığı, evcil hayvanlar, ürünler ile susal yada karasal yaşam üzerindeki etkileri özellikle dikkate alınmalıdır (Badruk, 1998).

Toprak, su ve havadaki kimyasal kirlilik konusundaki endişeler gün geçtikçe artmaktadır. Kirliliğin insan sağlığı, evcil hayvanlar ve yaban hayatı üzerine etkileri, hükümetleri çevre koruma üzerine kanunlar düzenlemeye itmektedir. Sonuç olarak çoğu ülkelerde endüstriyel Gelişimler bu kanunlara tabidir. Sorumlulukları, kendi atıklarının etkilerini belirleme ve bu atıkların kimyasal kalitesini gözlemlemektir. Jeotermal güç santralleri sık sık fosil yakıtlara ve nükleer güç santrallerine göre

"temiz" bir alternatif olarak göz önüne alınır. Soğutma suyu atımı, gaz, buhar ve kuyu yoluyla indirgenebilir ya da tamamen ortadan kaldırılabilir (Atalay, 2004).

#### **4.9 Jeotermal Enerji İle Elektrik Üretimi**

Jeotermal kaynakların elektrik üretiminde kullanılması 1904 yıllarında başlamış ise de artan gelişmeler neticesinde 1980'li yıllarda üretim kapasitesi artırılmış gelişen teknoloji ve malzeme teknikleri ile kapasitenin 12000 MW sınırlarına ulaşmıştır. Bu hızlı artışın en büyük sebeplerinden biri jeotermal enerjinin çevre dostu olmasıdır.

Çıkarılan jeotermal akışkanın haline bağlı olarak elektrik üretmek için farklı çevrimler kullanılır. Aşağıda anlatılacak olan çevrimlerin termodinamikteki çevrimin katı tanımına uymadığını belirtmek gerekir. Termodinamikte çevrim bir aracı akışkanın çeşitli hal değişimlerinden geçtikten sonra tekrar ilk haline döndüğü ve bunun tekrarlandığı durumlar için tanımlanmıştır. Bu tanıma Rankine çevrimi tam olarak uyar. Jeotermal elektrik santrallerinde ise jeotermal akışkan yer altından çıkarıldıktan sonra elektrik üretmek için kullanılır ve sonrasında ya atmosfere atılır ya da yer altına enjekte edilir. Dolayısı ile tam bir çevrim söz konusu değildir (Kanoğlu, 2000a).

#### **4.10 Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretmek İçin Kullanılan Güç Çevrimleri**

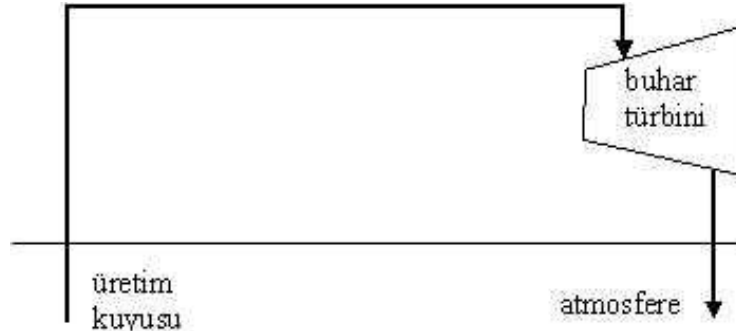
Jeotermal kaynaklar çok farklı termodinamik, kimyasal, çevresel ve fiziksel özelliklere sahiptir. Bu nedenle en uygun kullanımın sağlanabileceği bir model hazırlanırken, tek tip bir çevrimin kullanılması mümkün değildir. Her kaynağın belirli özellikleri için en uygun güç çevrimi veya çevrim kombinasyonu belirlenmelidir. Literatürde, jeotermal enerjiden elektrik üretmeye yönelik çok sayıda çevrim önerilmiştir. Bu bölümde, önerilen çevrimlere ait kısa bilgilere yer verilerek, incelenen kaynak ve diğer kaynaklar için en uygun çevrimin belirlenmesine ışık tutulması hedeflenmiştir.

#### 4.10.1 Kuru buhar santralleri

Tüm jeotermal santral türleri arasında en basit olanı kuru buhar santralleridir. Bu tür santraller temel olarak doymuş veya kızgın jeotermal buhar bulunan bölgelerde kullanılabilir. Dünyada doymuş veya kızgın jeotermal sıvı bulunan jeotermal alanlar oldukça sınırlıdır (Lund, Freeston, 2001).

Jeotermal kaynaktan çıkan buhar, kuru buhar veya hafif kızgın buhar şartlarında ise doğrudan buhar türbini-jeneratör grubuna gönderilerek elektrik üretilebilir. Dünyada bu özelliklere sahip kaynaklara örnek olarak, İtalya-Larderello'da ki ve A.B.D-The Geysers'deki kaynaklar verilebilir (DiPippo, 1999).

En basit ve en ekonomik jeotermal çevrim Şekil 4.9'da gösterilen kondensersiz kuru buhar çevrimidir. Bu çevrimde, jeotermal kuyudan çıkarılan buhar bir türbinden geçtikten sonra atmosfere atılır. Türbinin çıkışı doğrudan atmosfere açık olduğundan buhar, türbini atmosfer basıncında terk eder. Bu çevrimin avantajı kondenser olmadığı için santralin yapım ve işletme masraflarının kondenserli santrallere göre daha az olmasıdır. Bu çevrimin istenmeyen bir sonucu ise jeotermal buharın doğrudan atmosfere atılmasının çevre kirliliğine yol açmasıdır. (Çengel, 2000)



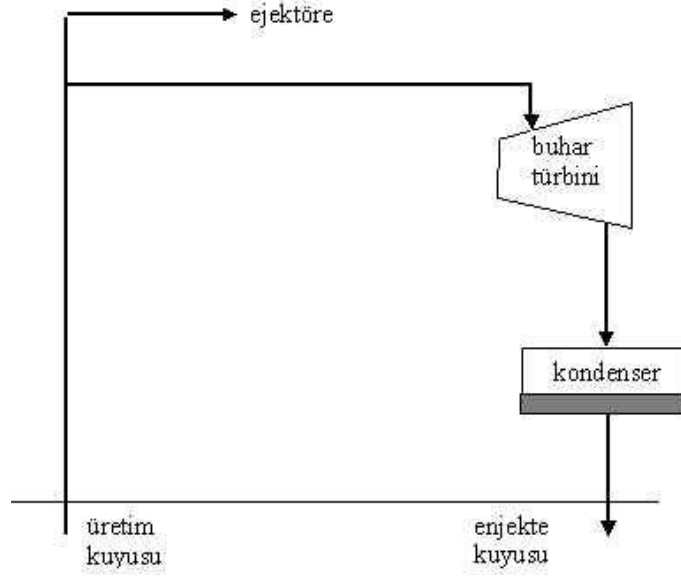
Şekil 4.9 Kondensersiz Kuru Buhar Çevrim Jeotermal Elektrik Santrali

Kondenserli kuru buhar çevrimlerinde, türbinin çıkışında kondenser bulunur. Jeotermal buhar türbinden geçtikten sonra bir kondensere girer. Kondenserde yoğunlaştırılan buhar ideal olarak tekrar yer altına enjekte edilir veya atık olarak bir ırmağa veya göle dökülür. Kondenser sayesinde türbinin çıkışında atmosfer basıncının altında bir basınç yani vakum oluşturulur. Buhar, türbini daha düşük basınçta ve daha düşük sıcaklıkta dolayısıyla daha düşük bir entalpide terk eder. Böylece buharın ısı enerjisinin daha büyük bir oranı güce çevrilmiş olur. Bu nedenle kondenserli kuru buhar çevrimleri kondensersiz olanlardan benzer şartlar altında



daha çok elektrik üretirler. Fosil yakıtlı buharlı elektrik santrallerinde türbin çıkış basıncının atmosfer basıncının çok altında tutulması aynı nedendir (Kanoğlu, Çengel, 2000)

Kondenserli kuru buhar çevrim jeotermal elektrik santralinin akış seması Şekil 4.10'da görülmektedir.



Şekil 4.10 Kondenserli Kuru Buhar Çevrim Jeotermal Elektrik Santrali

Dünyada üretilen tüm jeotermal elektrik enerjisinin yaklaşık yarısı, altı adet buhar ağırlıklı sahadan üretilmektedir. Bu sahalara; Larderello (İtalya), Mt. Amiata (İtalya), The Geysers (ABD), Matsukawa (Japonya), Karnojang (Endonezya) ve Darajat (Endonezya)'dır. Bu tip sahalardan elde edilen buharın entalpisi genellikle 2800 kJ/kg (670 kcal/kg) civarındadır (Kanoğlu, 2000b).

Ancak yeryüzünde bu şekilde doğrudan buhar üretebilen kaynak sayısı çok değildir. Üretilen akışkanın durumu bakımından, mevcut jeotermal kaynakların yaklaşık %10'u buhar ağırlıklı kaynak, %60'ı su ağırlıklı kaynak ve %30'u da sıcak su kaynağıdır.

Kondensersiz doğrudan buhar çevrimli santralde 1 kWh elektrik enerjisi üretmek için gereken buhar 15-25 kg civarındadır. Bu teknolojiye sahip türbinin güç kapasitesi, 20 MWe ile 120 MWe arasındadır. Su anda İtalya'da 20 MWe kapasiteli standart modüler üniteler de kullanılmaya başlanmıştır. Buhar içerisindeki yoğuşmayan gaz içeriği oldukça yüksek ise (%50'den fazla) kondensersiz sistem kullanılmalıdır. Çünkü kondenserde yoğuşmayan bu gazların sistemden uzaklaştırılması için büyük

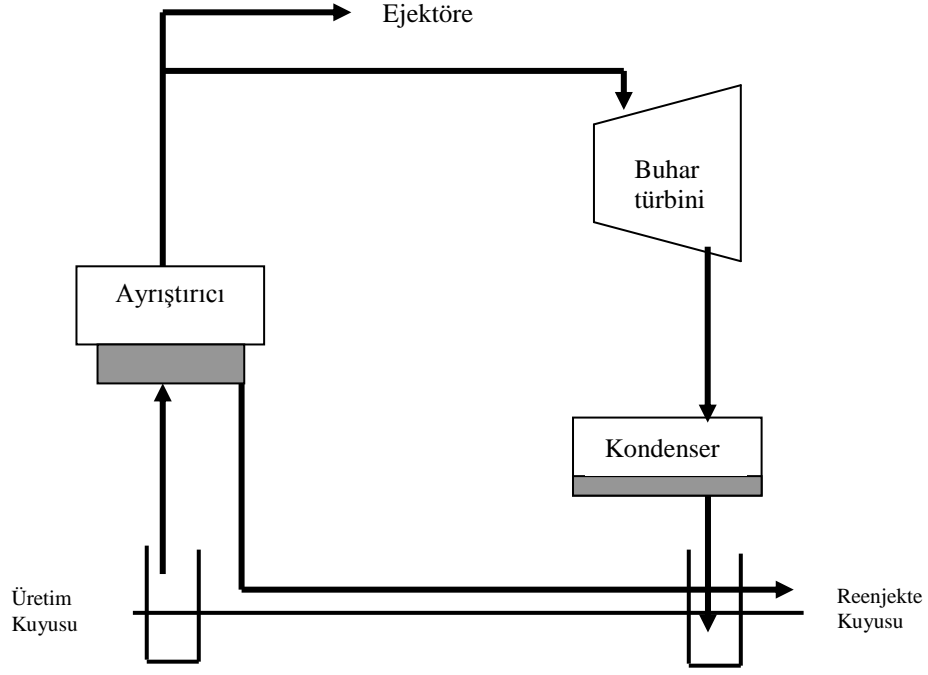
güçlere ihtiyaç duyulur. Eğer buhardaki yoğuşmayan gaz içeriği %15'den daha düşük ise, kondenserli santrallerde 1 kWh elektrik enerjisi üretmek için gereken buhar miktarı 6-10 kg arasındadır. Bu ünitelerin özgül buhar tüketimi türbin giriş basıncından oldukça etkilenir. Giriş basıncı azaldıkça buhar tüketimi artar. 15 bar ile 20 bar (1,5-2,0 MPa) arasındaki basınçlardaki özgül buhar tüketimi 6 kg/kWh'e yakın olur. 5 bar ile 15 bar arasında ise 7-9 kg/kWh buhar tüketilir. Daha düşük basınçlarda ise özgül buhar tüketimi daha da artar (Kanoğlu, 2000b).

#### **4.10.2 Flash buhar santralleri**

Yeraltından çıkarılan jeotermal akışkanın tamamen buhar fazında olması yaygın değildir. Çıkarılan jeotermal akışkan genellikle sıvı-buhar karışımıdır. Bu durumlarda buhar yüzdesi yeterince yüksekse buhar sıvıdan ayrıştırılır ve buhar türbine gönderilirken kalan sıvı yer altına enjekte edilir.

##### **4.10.2.1 Tek püskürtmeli sistemler**

Bu sistemlerde, buhar sıvıdan ayrıştırıldıktan sonra buhar türbine elektrik üretmek için gönderilirken, kalan sıvı yer altına enjekte edilir. Türbinden çıkan buhar bir soğutma kulesinde veya püskürtme havuzunda elde edilmiş soğutma suyu ile yoğuşturulur ve yer altına enjekte edilir. "Şekil 4.11"de tek buharlaştırmalı bir sistemin akış şeması görülmektedir. Jeotermal santralin bulunduğu yerde ırmak ve göl gibi bir soğuk su kaynağı varsa kondenserde bu su da kullanılabilir. Bütün kondenserli jeotermal buhar çevrimlerinde kondenserlerde vakum oluşturmak için buhar ejektörleri kullanılır. Belli miktarda buhar ejektörlerde kullanılır (Kanoğlu, 2000a).



Şekil 4.11 Tek Buharlaştırma Sistemi Akış Şeması

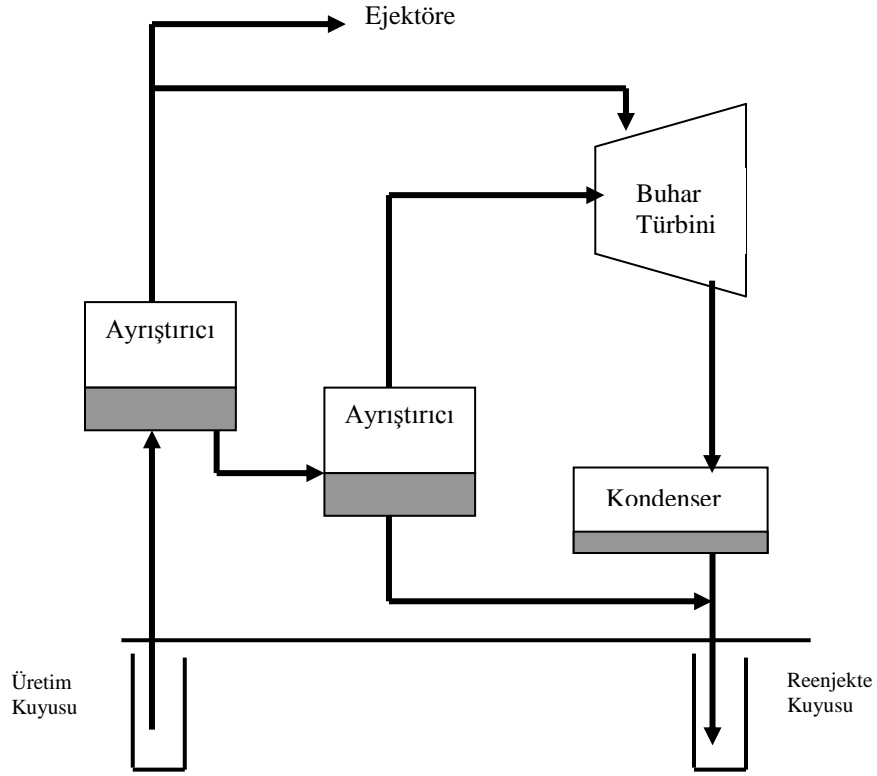
#### 4.10.2.2 Çift püskürtmeli sistemler (veya ikiden fazla buharlaştırma)

Yer altından çıkarılan jeotermal akışkanın sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda püskürtme işlemi birden fazla tekrarlanabilir. İlk püskürtmeden sonra elde edilen buhar türbine gönderildikten sonra kalan sıvının basıncı veya sıcaklığı hala yüksek ise bu sıvı ikinci bir püskürtme havuzunda tekrar püskürtülür.

Sıvının belli bir yüzdesi buharlaşır ve bu buhar türbine gönderilir. İkinci püskürtmeden elde edilen buharın basıncı ilk püskürtmeden elde edilen buhar basıncından daha düşük olduğundan düşük basınçlı buharın, türbine daha düşük bir basınç kademesinde alınması sağlanır. Alternatif olarak santralde düşük basınçlı buhar için ikinci bir türbin kullanılabilir.

Püskürtme sayısına göre jeotermal çevrim tek püskürtmeli ve çift püskürtmeli olarak adlandırılırlar. İkinci püskürtme, çevrimden elde edilecek gücü arttırmakla birlikte beraberinde gelen ek yatırım ve işletme masrafları dikkate alındığında ekonomik olmayabilir. İkiden fazla püskürtme ekonomik olmadığı için uygulanmamaktadır (Kanoğlu, 2000a).

Çift buharlaştırma sisteminin akış şeması Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



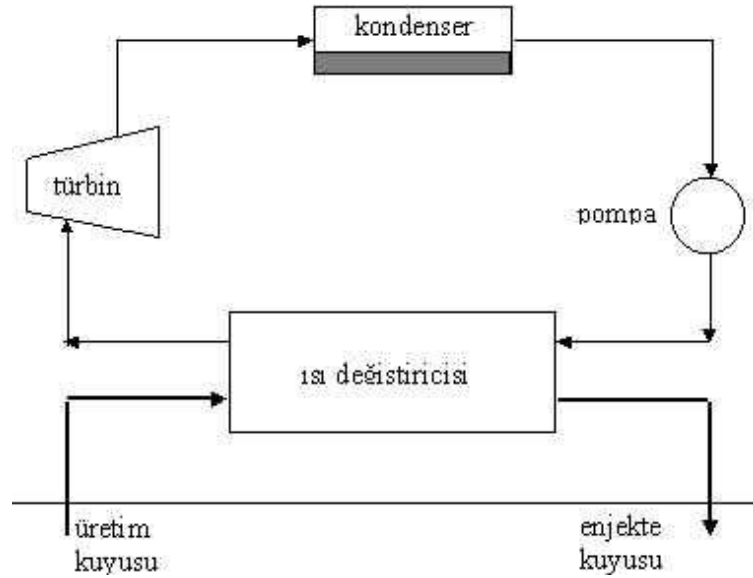
Şekil 4.12 Çift Buharlaştırılmalı Sistem Akış Şeması

#### 4.10.3 Binary cycle santralleri (ikili çevrim)

Binary (ikili) çevrim santrallerinin temel çalışma prensibi, gelen jeotermal enerjiyi başka bir akışkana aktarıp kapalı çevrimde enerji üretilmesidir. Şekil 4.13; ikili çevrim sistemi akış şemasını göstermektedir (Serpen, 2000).

Binary çevrimleri kapalı devre "Rankine" çevrimleri olup jeotermal akışkandan ikinci bir çalışma sıvısına ısı geçişinin bir ısı değiştiricide sağlanması ve onun da türbinde genişleşip kondansörde yoğunlaşarak, artık ısının soğutma kulesinden dışarı atılmasını sağlayan sistemlerdir. Bu akışkan, termodinamik özelliklerine bağlı olarak jeotermal akışkanın ısısı ile buharlaşma ve yoğunlaşma çevrimini tam sağlayacak şekilde seçilmektedir (DiPippo, Marcille, 1984)

Düşük sıcaklıkta (genellikle 170°C'nin altı) ve sıvı ağırlıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde ikili çevrim diye adlandırılan bir sistem kullanılır.



Şekil 4.13 İkili Çevrim Sistemi Akış Şeması

Çalışma sıvısı olarak dikkate alınan bileşimler, su buharı ile kıyaslandığında İzobütan, İzopentan, Pentan ve R-114 gibi yüksek molekül ağırlıklı hidrokarbonlardır, ikincil çevrim santrallerinde yaygın olarak kullanılan ikincil akışkanlardır (Barbier, 2002).

Binary santrallerin güç kapasiteleri genellikle, 100-200 kWe'den 3 MWe'ye kadardır. 10-50 MWe'lik daha büyük sistemler için genellikle birkaç küçük modüler ünitenin bir araya getirilmesiyle sağlanabilir. Akışkan sıcaklıkları düşük olduğu için binary güç çevriminin termal verimleri % 10 ile % 17 arasındadır. Fakat yine de dünyanın hemen hemen her yerinde bulunan düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklardan, güvenilir ve uygun maliyetlerle elektrik üretmek için bu sistemi kullanmak oldukça avantajlıdır (Barbier, 2002).

#### 4.11 Tekrar basma (Re-Enjeksiyon)

Jeotermal sahanın işletilmesinde, üretim ve tekrar basmanın birlikte düşünülmesi, planlanması, tasarlanması ve uygulanması gerekmektedir. Sahadaki üretim ve tekrar-basma uygulamasının incelenerek, uygulamaların teknik ve ekonomik başarısı hakkında kesin yargılara varabilmek için üretim ve tekrar basma verilerinin değerlendirilmesi gerekmektedir. Sahanın geliştirilme aşamasında olması durumunda veya gerekli verilerin yetersizliği nedeniyle teknik ve ekonomik başarı hakkında kesin yargılara varmak mümkün olmayabilir (Atalay, 2004).

#### 4.11.1 Tekrar basmanın yararları

Jeotermal rezervuarlardan üretilen akışkanların enerjisi farklı amaçlarla kullanılmaktadır; elektrik üretimi, yerleşim alanlarının ısıtılması, endüstriyel amaçlı, seracılık, vb. Üretilen akışkanın enerjisinden yararlandıktan sonra kalan atık veya artık suyun ya yararlı alanlarda kullanılması veya çevreye zarar vermeden ortadan kaldırılması gerekmektedir. Atık veya artık suyun değerlendirilmesi uygulamada ve saha işletiminde önemli bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Bu sorun için en uygun çözüm kullanılmayan sıcak suyun rezervuara tekrar basılmasıdır. Söz konusu işlem tekrar basma veya reenjeksiyon olarak tanımlanmaktadır.

Jeotermal rezervuara tekrar-basma işleminin aşağıda sıralanmakta olan çok yönlü yararları vardır (Satman, 1981):

-Kullanılmayan sıcak suyun çevreyi kirletmesi önlenecektir.

-Üretilen su rezervuara tekrar basıldığından dolayı rezervuarın su dengesi bozulmayacak, rezervuarın basıncı korunmuş olacaktır. Her ne kadar üretilen suyun bir bölümü doğal beslenme yoluyla karşılanabilirse de, genellikle doğal beslenme yoluyla rezervuara giren miktar üretilen miktar kadar olmayacaktır. Böylece doğal beslenme için gereksinim azalmış olacaktır.

- Jeotermal rezervuarlardan üretilen orijinal akışkanla elde edilen enerji üretimi, rezervuarın yerinde enerjisi göz önüne alındığında, çok düşük bir düzeyde olacaktır. Söz konusu oran %5-15 kadardır ve akışkanın içerdiği enerjinin toplam rezervuar enerjisine oranı olarak tanımlanır. Dolayısıyla rezervuardan ek enerji üretimi için en uygun çözüm rezervuara göre daha soğuk olan kullanılmayan suyun rezervuara basılması olacaktır. Tekrar basma işleminin uygulanmasıyla rezervuarın üretim dönemi uzar.

- Üretimden dolayı rezervuar hacmindeki azalmanın sonucunda oluşan yeryüzü çökmeleri en aza indirgenmiş olur.

## 5. ENTROPİ

### 5.1 Entropinin Tanımı

Entropi'nin ilk tanımı 1865 yılında Clausius tarafından aşağıdaki şekilde yapılmış olup bu tanıma Entropi'nin Clausius Formu denir:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Burada S Entropi'yi, Q Sistem'in Isı Muhteviyâtı'nı ve T de Sistem'in sıcaklığını temsil etmektedir. Bu dönemde Gaz'ın çok küçük moleküllerden meydana geldiği ve Sıcaklık'ın da bu moleküllerin ortalama kinetik enerjileri olduğu henüz bilinmiyordu. Carnot ve Clausius, "Termal Akışkanlar Teorisi" ne uygun olarak Isı'yı bir sistemden diğerine akan bir "akışkan" olarak kabul etmekteydiler; bir istisna olarak sâdece Thomson, Mekanik İşin Isı'ya dönüştürülebilmesi ile bağdaştırılamaması yüzünden bu fikri kabul edilemez olarak telakki etmiş görünmektedir (Url-8).

Daha sonra, yine 19ncu yüzyılda Maxwell, Thomson ve Boltzmann'ın çalışmaları ile Moleküler Teori'nin baskın hâle gelmesi sonucunda Entropi kavramı geliştirilmiş olup, bu sebeple Q, "Sistem'in Isı Muhteviyatı" olarak değil, "Sistemin İç (Isı) Enerjisi" olarak adlandırılması tercih edilmektedir (Url-8).

Entropi'nin Clausius Formu'na sadık kalarak, Entropi'den Entropi Değişimi'ne şöyle geçilmektedir: Termodinamik denge hâlindeki bir sistemin belirli bir T sıcaklığında Q değerinde  $\Delta Q$  gibi bir değişme olduğu takdirde S entropisinde de  $\Delta S$  gibi bir değişme olacak ve bu suretle, sistemdeki Entropi Değişimi de şu şekilde ifade edilecektir:

$$S = k \ln(1) = 0T \rightarrow 0 = \frac{\Delta Q}{T}$$

Entropi'nin birimi Cal/K, Joule/K'dir.

## 5.2 Spesifik (Özgül) Entropi

Bir sistemin birim kütlesinin entropisine o sistemin özgül entropisi denir. Birimi, Cal/g.K ve/ya Joule/kg.K'dir (Url-8).

Yukarıdaki son bağıntıdan hareket ederek,  $\Delta S$  'in ani değeri de aşağıdaki hâle getirilebilir:

$$s = \int \frac{dQ}{T}$$

Entropi Değişimi matematiksel olarak şöyle tanımlanır: Bir sistem sabit bir T sıcaklığında bir hâlden diğer bir hâle geçerken bir dQ ısıyı alırsa, dQ/T oranı bir S fonksiyonunun tam diferansiyeli olur. Buna Entropi Değişimi denir. Burada dQ/T'ye "İndirgenmiş Isı" tabir edilir; birimi (Cal/K) veya (Joule/K)'dir. dQ = mcdT alındığı takdirde yukarıdaki ifade aşağıdaki şekli alır (Url-8) :

$$s = \int \frac{mcdT}{T}$$

Söz konusu bu termal işlem bir "yarı kararlı" işlem olmalıdır. İlk hâl ve ikinci hâl denge halleridir; işlem "tersinir"dir. Bu sebeple dQ sembolü, dQ<sub>r</sub> şeklinde de temsil edilebilir (Url-8).

Entropi'nin değeri sâdece sistemin hâline tâbî olup, geçmişinden bağımsızdır. Buna göre, bir "tersinir yol" için,

$$ds = \int \frac{dQ}{T}$$

bağıntısından;

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{ilk}^{son} dS = \int_{ilk}^{son} \frac{dQ_r}{T}$$

yazabiliriz. Sisteme ısı girerse dQ > 0, yâni Entropi Değişimi pozitif olur ki bunun anlamı Entropi'nin artmasıdır; aksi hâlde, yâni Sistemden ısı çıkması durumunda, dQ < 0, yâni Entropi Değişimi negatif olur, bunun anlamı da Entropi'nin azalmasıdır (Url-8).

dQ, dQ = mcdT şeklinde değişiyor ve T de sabit değil ise, Entropi Değişimi'nin alacağı ifade şöyledir:



$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_{T_{ilk}}^{T_{son}} \frac{dQ_r}{T} = \int_{T_{ilk}}^{T_{son}} mc \frac{dT}{T} = mc \ln \left[ \frac{T_{son}}{T_{ilk}} \right]$$

### 5.3 İsentropik (Sabit Entropili) İşlem

$\Delta S = 0$  olan işlemdir. Bunun içinde  $dQ = 0$  olmalıdır ki bu da Adiyabatik İşlem'e tekabül eder. Yâni, İsentropik (Sabit Entropili) İşlem, bir adiyabatik işlemdir (Url-8).

- İzole edilmiş sistemler düzensizliğe doğru meylederler; yâni düzensizlikleri artar, o sebeple entropileri de artar.

Entropi değişimi, bir sistemin sâdece ilk ve son denge durumlarına bağlıdır; bu özellik

$$\Delta s = S_2 - S_1 = \int_{ilk}^{son} \frac{dQ_r}{T}$$

denkleminde de açıkça görülmektedir.

## **6. EKSERJİ ANALİZİ**

### **6.1 Giriş**

Dünyanın enerji kaynaklarının sınırlı olması giderek daha geniş kesimlerce anlaşılması, hükümetlerin enerji politikalarını yeniden gözden geçirmeye ve enerji savurganlığını önlemeye yöneltmiştir. Bu olgu bilimsel çevreleri de enerji dönüşüm araçlarını yeniden değerlendirmeye ve varolan sınırlı enerji kaynaklarından daha çok yararlanabilmek için yeni yöntemler geliştirmeye itmiştir (Cengel, Boles, 2000)

Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliği ile ilgilidir, enerjinin var veya yok edilemeyeceğini vurgular. Bu yasa bir hal değişimi sırasında enerjinin hesabını tutmak için bir yöntem ortaya koyar ve uygulamada mühendis için bir zorluk çıkarmaz. (Cengel, Boles, 2000)

Termodinamiğin ikinci yasası ise enerjinin niteliği ile ilgilidir. Daha açık söylenirse, bir hal değişimi sırasında enerjinin niteliğinin azalması, entropi üretimi, is yapma olanağının değerlendirilmemesi bu yasanın inceleme alanının içindedir. Mühendislik sistemlerinde enerjinin niteliğini öne çıkaran yönden iyileştirmeler yapılması, mühendisin bilgi ve becerisini zorlayan bir konudur. Termodinamiğin ikinci yasası, karmaşık termodinamik optimizasyonu için güçlü bir araçtır. (Cengel, Boles, 2000)

### **6.2 Ekserjinin Tanımı**

Ekserji, en kısa ifade ile “kullanılabilir enerji” olarak tanımlanmaktadır (Çomaklı ve dig., 2004) (Ünal, Serpen, 2003). Verilmiş bir durumda bütün diğer enerji türlerine dönüştürülebilen enerji miktarının bir ölçüsü olarak da ifade edilen ekserji, bir sistemde iş yapabilme yeteneğidir. Diğer enerji türlerine dönüşebilme özelliği enerjinin değer ölçüsü olarak alınır, çeşitli enerji türleri üç grupta toplanabilir (Çomaklı ve dig., 2004)

- i. Diğer enerji türlerine sınırsız veya tamamen dönüştürülebilen enerji (örneğin mekanik enerji, elektrik enerjisi, potansiyel enerji, kinetik enerji vb.)
- ii. Diğer enerji türlerine sınırlı (kısmen) dönüştürülebilen enerji (örneğin iç enerji, ısı enerjisi vb.)
- iii. Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi imkânsız olan enerji (örneğin çevrenin iç enerjisi vb.)

Diğer enerji türlerine dönüştürülmesi olanak dışı olan enerjiye kullanılmaz enerji, bağlı enerji ya da anerji adı verilmektedir. Dolayısıyla bütün enerji türleri en genel ifade ile eşitlik “5.1” gibi yazılabilir (Çomaklı ve diğ., 2004).

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji} \quad (6.1)$$

Elektrik ve mekanik enerji gibi enerji türlerinin anerji bölümü sifıra eşittir. Aynı şekilde çevrenin iç enerjisinin tamamı anerji olduğu için çevre enerjisinin ekserjisi de sifıra eşit olmaktadır (Çomaklı ve diğ., 2004).

Ekserji, mühendislik biliminde çevre ve ekonomi olarak iki temel konuyu da kapsamaktadır. Ekserji eko-teknolojik bakımdan üç temel kavram kapsamında ele alınmaktadır (Çomaklı ve diğ., 2004).

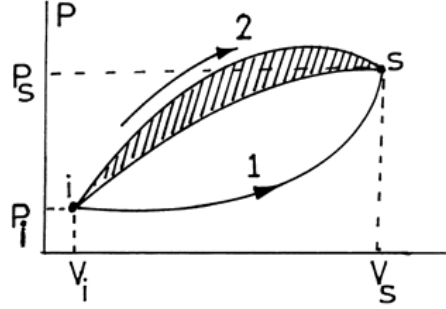
- i. Minimum çevresel etki, maksimum enerji ve enerji kaynaklarının ideal koşullarda işletileceği teknolojiler,
- ii. Çevreyi kirletme potansiyelleri yüksek olan maddelerin çevresel davranışları,
- iii. Çevresel değerlendirme, enerji ve toplum güvenliği.

Tablo 6.1 Enerji ve Ekserji Kavramlarının Karşılaştırılması (Wall, Gong, 2001)

<b>Enerji</b>	<b>Ekserji</b>
Termodinamiğin I. Kanunu ile ilgilidir.	Termodinamiğin II. Kanunu ile ilgilidir.
Daima korunur. Yoktan var edilemez, veya yok edilemez.	Tersinir proseslerde korunur, tersinmez proseslerde daima kaybolur.
Enerji, hareket veya hareket üretebilme kabiliyetidir.	Ekserji, iş veya iş üretebilme kabiliyetidir.
Niceliğin bir ölçütüdür.	Niceliğin ve kalitenin bir ölçütüdür.
Sadece madde ve enerji akış parametrelerine bağlı, çevre parametrelerinden bağımsızdır.	Madde ve enerji akış parametrelerinin yanı sıra çevre parametrelerine de bağlıdır.

### 6.3 Tersinir ve Tersinmez Süreçler

Şekil 6.1; Sistemin Tersinir ve Tersinmez Süreçlerini göstermekir.



Şekil 6.1 Tersinir ve Tersinmez Süreçler

- 1: Tersinir Süreç,
- 2: Tersinmez Süreç,
- i: İlk Denge Konumu,
- s: Son Denge Konumu

#### 6.3.1 Bazı temel tanımlar

• **Termal Denge:** Bir gazın hâlini belirleyen en temel iki kategorisi “basınç” ve “hacim” dir; bu iki kategoriden birisi veya ikisi tayin edilemeyen bir gaz “belirsiz” bir hâldedir. **Termal Denge** ise bu “belirlenebilirliğin” kavramsal bir ifadesi olup, belirli bir miktar gazın belirli (muayyen) bir basınca ve belirli bir hacme sahip olduğu hâli anlatır; Termal Denge’nin diğer adı da “**Kararlı Hâl**” dir. Şimdi, böyle bir tanımın yapılabilmesi için bu şartların her ikisi birden mevcut olmalıdır. Ne var ki, bu durum, yâni termal denge durumu, mutlak anlamda bir hareketsizlik, mutlak anlamda bir kıvılcımsızlık demektir; çünkü her hareket bir hâl değiştirme, yâni bir hâlden diğer bir hâle geçiş demektir ki bu geçiş esnasında geçen süre ne kadar kısa olursa olsun, bir süre için denge bozulur (Hocaoğlu, 2008).

• **Termal Denge ve Kararlı Süreç:** Görüldüğü gibi, termal dengede bulunan bir gaz “kararlı”dır ve bu bakımdan da “değişme” demek olan “süreç”ten bağımsızdır. Yâni, “kararlı” kelimesini tam gerçek anlamında kullanacak olursak, “kararlı” ve “süreç” kavramları birbirinin zıddı olduğu için, **Kararlı Süreç** diye bir kavram tanımlanamaz. Evren’de bütün fiziksel olayların **tersinir** değil **tersinmez** (irreversible, geriye dönüşümsüz) oluşunun sebeplerinden birisi de budur. Çünkü Evren’de mutlak anlamda sakini, hareketsiz olan hiçbir şey yoktur; evren, sonsuz ve bitimsiz hareketlerden oluşur: Madde, hareketsiz olduğu ânda yok olur; diğer bir

ifadeyle, mutlak anlamda hareketsizlik, madde için ölüm demektir. Termodinamik işlemler kendiliğinden sürekli olarak devam etmez, bir yerde kesilir. Termodinamik işlemler, aynı zamanda, izotermaldir; termal denge şarttır. Isı arttıran veya azaltan yâni termal dengeyi bozan etkiler tersinir işlemi ortadan kaldırır.

Ancak, biz **Tersinir Süreç** kavramını, birbiri ardınca gelen âdeta nokta şeklindeki ve sonsuz denebilecek kadar çok sayıdaki “yarı-kararlı süreçler”den oluşan hâl değiştirmelerinin bütünü olarak tanımlayacağız (Hocaoğlu, 2008).

- **Yarı-Kararlı Süreç:** Gerçek bir termal işlemde tersinir süreç, ardarda gelen çok sayıda denge durumlarından oluşmakta olduğundan, bir “**yarı-kararlı süreç**”tir. (Hocaoğlu, 2008).

- **Tersinir Süreç:** Gerçek bir termal işlemde bir tersinir süreç, ardarda gelen çok sayıda, geçici denge durumlarından oluşmakta olduğundan, bir “**yarı-kararlı süreç**”tir, veya daha doğru bir nitelendirme ile, bir “**yarı-kararlı süreçler bütünü**”dür. Böyle bir sürecin bir başlangıcında ve bir de bitiminde olmak üzere iki denge durumu kabul edilir ki buna göre, **Tersinir Süreç** (veya tersinir olduğu kabul edilebilecek süreç), ilk denge ve son denge durumları arasındaki sürecin, birbirini takip eden (ardışık) denge durumlarından oluşması hâlidir. Bu vaziyette, her bir noktanın P ve V değeri belirlenebileceğinden, süreç bir çizgi ile gösterilebilir (şekil 5.1 ile gösterilen P-V eğrisi) (Hocaoğlu, 2008).

- **Tersinmez Süreç:** Sadece ilk ve son denge durumları için P ve V değeri belirlenebildiği, dengesiz hâllerin ardışık olarak birbirini takip ettiği süreçtir. Bu hâller için P ve V değerlerinin her ikisini birden tam olarak belirlemek imkânsızdır. Ancak, genel olarak, V'nin tam belirlenebilmesi daha mümkündür, bu durumda P'nin belirsizliği artar. Bu sebeple Tersinmez Süreç, P-V diyagramında bir sürekli (eğri) olarak değil de, bir belirsizlik alanı olacak şekilde gösterilir (Hocaoğlu, 2008).

#### 6.4 Ölü Hal (Dead State)

Bir sistemin ölü halde olması, çevresi ile verilen sistemin termodinamik denge halinde olması demektir (DiPippo, 2005). Termodinamik denge, bir sistemin verilen bir zamanda her noktasındaki hali aynı ise veya özelliklerin farkı sonsuz küçük

mertebede ise oluşmaktadır. Başka bir ifadeyle, sistem ayırık bir sistem haline getirildiğinde özellikleri değişmiyorsa, bu sistem için denge söz konusu olmaktadır.

Termodinamik dengede tüm kısıtların sağlanması gerekmektedir. Bunlar ısı, mekanik, kimyasal ve faz dengeleridir. Sistem ölü halde iken, sistem çevre ile aynı sıcaklığa ve basınca sahip olup çevre ile termodinamik kısıtların sağlandığı denge halindedir. Ayrıca, sistemin çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjileri sıfırdır.

Sistemin ölü hal özellikleri  $P_0$ ,  $T_0$ ,  $h_0$ ,  $u_0$  ve  $s_0$ 'dır.

Termodinamiğin birinci kanununa göre enerji, yoktan var edilemez, diğer bir deyişle yaratılamaz veya vardan yok edilemez; ancak, bir biçimden başka bir biçime dönüştürülebilir. İkinci kanun ise, enerjinin niceliğinin yanında niteliğinin de önemliliğini vurgulamakta ve sistemlerin enerji niteliğini azaltan yönde gerçekleştiğini belirtmektedir.

Ekserji tanımlarından hareketle Termodinamiğin I. ve II. Kanunları kısaca şöyle ifade edilebilmektedir. I. Kanun; bütün termodinamik süreçlerde enerji ve ekserjinin toplamı sabit kalır, II. Kanun ise; tersinir süreçlerde ekserji sabit kalır, yani tersinmez süreçlerde ekserjinin bir kısmı veya tamamı enerjeye dönüşür veya enerji ekserjiye dönüşmez şeklinde ifade edilebilir. Bu ifadeler ışığında ekserji için şöyle bir matematiksel denklem yazılabilmektedir (Çomaklı, ve ark, 2004).

$$J = J_k + J_p + J_{fz} + J_{km} \quad (6.2)$$

J: Ekserji

$J_k$ : Kinetik ekserji

$J_p$ : Potansiyel ekserji

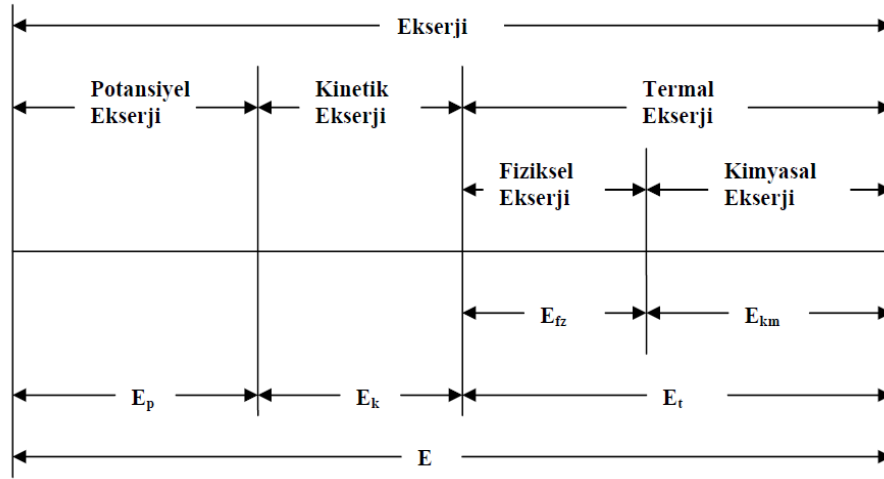
$J_{fz}$ : Fiziksel ekserji

$J_{km}$ : Kimyasal ekserji

Potansiyel ve kinetik ekserjiler, sırasıyla, potansiyel ve kinetik enerjilere eşittir.

## 6.5 Ekserji Çeşitleri

Şekil 6.2; Oluşturulan tabloda ekserji çeşitleri gösterilmektedir.



Şekil 6.2 Ekserji Çeşitleri

### 6.5.1 Fiziksel Ekserji

Sistemin sıcaklığı  $T$  ve basıncı  $P$  ilk durumundan  $T_0$ ,  $P_0$  halindeki çevre şartları ile termodinamik denge haline getirildiğinde sistemden elde edilecek maksimum iş fiziksel ekserji olarak tanımlanır. Verilen herhangi bir durumdaki sistemin fiziksel ekserjisi Şekil 5.3'te T-s diyagramında gösterilmiştir (Çomaklı ve diğ., 2004). Herhangi durumdaki bir sistemin fiziksel ekserjisi Şekil 6.3'ten de görüleceği gibi,

$$f_{fz} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (6.3)$$

$f_{fz}$  : Fiziksel özgül ekserji

$h$  : Entalpi

$s$  : Entropi

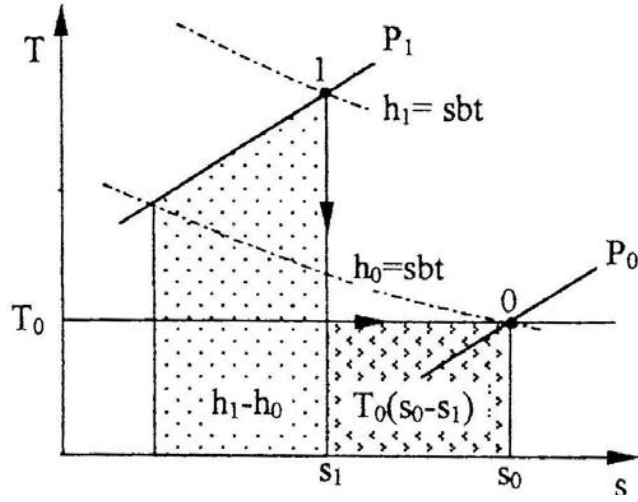
$h_0$  : Ölü hal entalpisi

$s_0$  : Ölü hal entropisi

$T_0$  : Ölü hal sıcaklığı (K veya °C)

Şeklinde ifade edilebilir (DiPippo, Marcille, 1984, 1994).

Ayrıca verilen iki durum arasındaki sistemin fiziksel ekserji farkı Şekil 6.3' de T-s diyagramında gösterilmiştir (Çomaklı ve diğ., 2004).



Şekil 6.3 Bir durumda bulunan sistemin ekserji farkı (Çomaklı ve diğ. 2004)

Bir sistemde iki durum arasındaki fiziksel ekserji farkı Şekil 6.3'ten;

$$j_{fz1} - j_{fz2} = (h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) \quad (6.4)$$

yazılabilir. Fiziksel ekserji aşağıda gösterildiği gibi iki bileşenden oluşmaktadır (Serpen, 2000, Çomaklı ve diğ. 2004).

$$j_{fz} = j_{\Delta T} + j_{\Delta P} \quad (6.5)$$

Denklem 6.5'teki birinci terim, fiziksel ekserjinin ısıl bileşeni olup sıcaklık farkından dolayı ortaya çıkmaktadır ve aşağıdaki gibi hesaplanır (Çomaklı ve diğ. 2004).

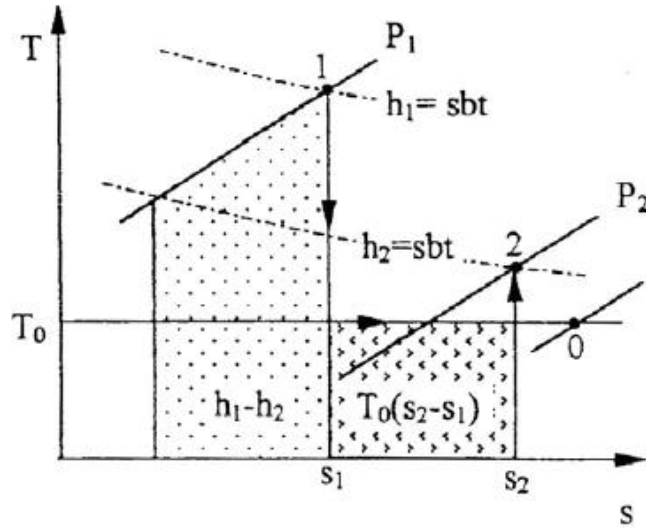
$$j_{\Delta T} = \left[ - \int_{T_1}^{T_0} \frac{T - T_0}{T} dh \right]_P \quad (6.6)$$

Denklem 6.5'teki ikinci terim ise, basınç bileşeni olup basınç farkından dolayı oluşmaktadır. Basınç bileşeni aşağıdaki gibi hesaplanır (Çomaklı ve diğ., 2004).

$$j_{\Delta P} = T_0(s_0 - s_1) - (h_0 - h_1) \quad (6.7)$$

Denklem 6.6 ve 6.7'nin grafiği şekil 6.4'te İki durumda bulunan sistemin ekserji farkı olarak gösterilmiştir.





Şekil 6.4 İki durumda bulunan sistemin ekserji farkı (Çomaklı ve diğ., 2004).

### 6.5.1.1 İdeal gazların fiziksel ekserjileri

Herhangi durumda ve ideal gazdan oluşan sistemin fiziksel ekserjisi Denklem 6.8'den hesaplanabilir (Çomaklı ve diğ. 2004).

$$j_{fz} = c_p \left[ (T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (5.8)$$

$j_{fz}$  : Özgül ekserji

$C_p$  : Sabit basınçta özgül ısı

$T$  : Sıcaklık

$P$  : Basınç

$R$  :Gaz Sabiti

### 6.5.1.2 Katı ve sıvıların fiziksel ekserjileri

Katı veya sıvı olan ve herhangi bir durumdaki sistemin fiziksel ekserjisi Denklem 6.9'dan hesaplanabilir (Çomaklı ve diğ. 2004).

$$j_{fz} = c \left[ (T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + v_m (P - P_0) \quad (6.9)$$

$j_{fz}$  : Özgül ekserji  
C : Özgül ısı  
T : Sıcaklık  
P : Basınç  
R : Gaz sabiti  
 $v$  : Özgül hacim

### 6.5.2 Kimyasal ekserji

Kimyasal ekserji, bir maddenin çevresiyle kimyasal denge haline geldiğinde ısı transferi ve madde alışverişinden kaynaklanan maksimum iş olarak tanımlanır (Çomaklı ve diğ., 2004).

Bazı çevre malzemelerinin özellikleri referans alınarak maddelerin standart kimyasal ekserjileri, standart çevre (ölü hal) sıcaklığına ( $T_0=25\text{ }^\circ\text{C}=298.15\text{K}$ ) ve basıncına ( $P_0=1\text{ atm}$ ) bağlı olarak hesaplanmaktadır (Çomaklı ve diğ., 2004).

Referans maddeler genellikle üç grupta toplanmıştır (Çomaklı ve diğ., 2004).

- i- Atmosferdeki gaz bileşenler,
- ii- Litosferdeki katılar
- iii- Deniz, okyanuslardaki iyonik ve iyonik olmayan maddeler.

#### 6.5.2.1 Gaz karışımlarının kimyasal ekserjileri:

Termal sistemlerin çoğu, gaz karışımları içermektedir. Özellikle yanma ve kimyasal süreçlerin ekserji analizlerinde gaz karışımları ön plana çıkmakta, bundan dolayı da gaz karışımlarının ekserjilerinin bilinmesi gerekmektedir. N adet ideal gazdan oluşan bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi denklem 6.10'da verilmektedir (Çomaklı ve diğ., 2004).

$$J_0 = \sum_{i=1}^N x_i j_{0,i} + \tilde{R}T_0 \sum_{i=1}^N x_i \ln x_i \quad (6.10)$$

J : Ekserji,  $j$  : Özgül ekserji, x : Hacimsel oran,  
R : Üniversal gaz sabiti, T : Sıcaklık

### 6.5.2.2 Yakıtların kimyasal ekserjilerinin hesaplanması

Yakıtların kimyasal ekserjileri, yakıtı oluşturan bileşenlere bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu sebeple Szargut ve Strylska; yakıt ekserjisinin yakıtın ısıl değerine oranını ifade eden  $\Phi$  değerini geliştirmişlerdir (Çomaklı ve diğ., 2004).

Bu oran;

$$\Phi = \frac{J_0}{H_u} \quad (6.11)$$

şeklinde ifade edilmiştir.

Katı yakıtlar için aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\Phi = 1.0437 + 0.1882 \frac{h}{c} + 0.0610 \frac{o}{c} + 0.0404 \frac{n}{c} \quad (6.12)$$

h: Hidrojenin kütleli oranı

o: Oksijenin kütleli oranı

n: Nitrojenin (azot) kütleli oranı

Bu ifade de kükürt ve su buharının ekserjileri dikkate alınmamaktadır. Eğer her iki ürün dikkate alındığında katı yakıtlar için kimyasal ekserji Denklem 6.13'teki gibi hesaplanmaktadır (Çomaklı ve diğ., 2004).

$$J_{0,kan} = \Phi \left( (H_u)_{kan} + w h_{fg} \right) + (e_{o,s} - (H_u)_s) s \quad (6.13)$$

Sıvı yakıtlar için kimyasal ekserji oranı  $\Phi$  ise kükürdün etkisi de dikkate alınarak aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır. Burada kullanılan s entropi olmayıp, yakıt içerisindeki kükürdün kütleli oranıdır (Çomaklı ve diğ., 2004).

$$\Phi = 1.0401 + 0.1728 \frac{h}{c} + 0.0432 \frac{o}{c} + 0.2169 \frac{s}{c} \left( 1 - 2.0628 \frac{h}{c} \right) \quad (6.14)$$

Buradan;

$$J_{0,s} = \Phi_{sivi} (H_u)_s \quad (6.15)$$

### 6.5.3 Isıl Ekserji

Sistemlerin ısı ekserjisi aşağıdaki denklemde verildiği gibi hesaplanır (Atalay,2004).

$$J_{ısıl} = J_{fiz} + J_{kim} \quad (6.16)$$

### 6.5.4 İş Ekserjisi

Ekserji maksimum iş potansiyeli olduğundan, bütün süreçlerde iş ekserjiye eşittir (Atalay,2004).

$$J_w = W \quad (6.17)$$

### 6.5.5. Isı Transferinin Ekserjisi

Isı transferinden dolayı meydana gelen ekserji,

$$J_Q = \int_A \left( \frac{T - T_0}{T} \right) \cdot Q_i dA \quad (6.18)$$

bağıntısı ile hesaplanır (Çomaklı ve diğ., 2004).

Eğer bir sistemde üniform sıcaklık dağılımı varsa ısı transferinden dolayı oluşan ekserji;

$$J_Q = Q_A \cdot \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) \quad (6.19)$$

şeklinde hesaplanır.

### 5.6. Ekserji Kaybı

Bir sistemin ekserji kaybı veya tersinmezliği aşağıdaki denklemden hesaplanır. Bu denklemden de görüldüğü gibi ekserji kaybı net entropi değişimi ile çevre sıcaklığının çarpımına eşittir (Çomaklı ve diğ., 2004).

$$\delta J = T_0 \sum \Delta S = T_0 \Delta S_{net} \quad (6.20)$$

Yukarıdaki denkleme Ekserji Kaybı Yasası veya Gouy–Stodola Yasası denir. Ayrıca aşağıdaki denklemde ifade edildiği gibi ekserji kaybı tersinmezliklerden dolayı ortaya çıkan kayıp işe eşittir (Çomaklı ve diğ., 2004).

$$\delta J = \delta W_{kay} \quad (6.21)$$

### 6.6.1. Kısmı Olayında Meydana Gelen Ekserji Kaybı

Çeşitli sistemlerin kısma olayından sonra ekserji kayıpları aşağıda ifade edilmiştir (Çomaklı ve diğ., 2004).

**Sıvılar için:** Sıvıların kısma olayı sonunda sistemde meydana gelen ekserji kaybı aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$\delta J = \frac{T_0}{T} v dP \quad (6.22)$$

**İdeal Gaz için:** İdeal gazların kısma olayı sonunda sistemin ekserjisinde meydana gelen azalma aşağıdaki denklemde ifade edilmiştir.

$$\delta J = nR T_0 \ln \frac{P_1}{P_2} \quad (6.23)$$

### 6.6.2. Sürtünmeden Dolayı Ekserji Kaybı

Sistemin sürtünmesinden dolayı meydana gelen ısının sebep olduğu ekserji kaybı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir.

$$\delta J = Q_f \frac{T_0}{T} \quad (6.24)$$

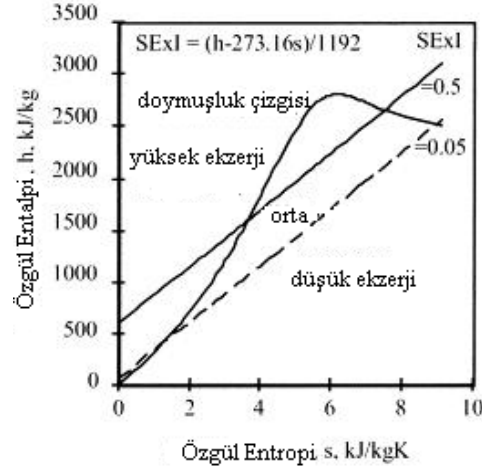
### 6.6.3. Sonlu Sıcaklık Farkındaki Isı Transferinde Ekserji Kaybı

Sonlu sıcaklık farkının olduğu, sıcaklığı  $T_1$  olan 1 no'lu sistem ile  $T_2$  olan 2 no'lu sistemlerin arasındaki ısı transferi sonucunda ortaya çıkan ekserji kaybı aşağıdaki denklem ile hesaplanır (Çomaklı ve diğ. 2004).

$$\delta J = Q \left( \frac{T_1 - T_2}{T_1 T_2} \right) T_0 \quad (6.25)$$

## 6.7 Ekserjilerine Göre Jeotermal Kaynakların Sınıflandırılması

Özgül ekserji indeks denklemi, Mollier diyagramının h-s grafiğinde düz bir çizgidir (Ünal, Serpen, 2004).

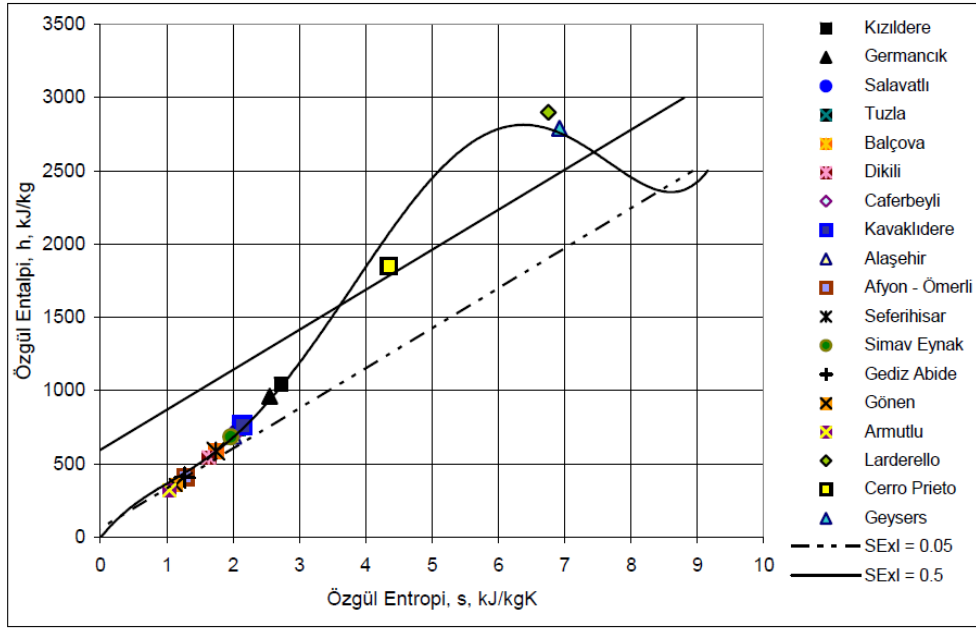


Şekil 6.5 Jeotermal kaynakların Mollier diyagramında sınıflandırılması (Ünal, Serpen, 2004).

Şekil 6.5’de görüldüğü üzere, özgül ekserji indeksi (SExI) = 0.5 ve özgül ekserji indeksi = 0.05 düz çizgileri Mollier diyagramında çizebilir ve jeotermal kaynakların sınıflandırılmasında harita olarak kullanılabilir. Elektrik üretiminde kullanılabilecek en düşük ekserji buharı, doymuş buhar (1 bar, 100 °C) olarak kabul edilirse, düşük özgül ekserji indeks sınırı yüksek kalite kaynaklar için 0,5’e eşittir.

Yüksek özgül ekserji indeksi sınırı düşük kalite kaynaklar için (100 °C doymuş su) 0.05’e eşittir. Orta kalite kaynaklar için özgül ekserji indeksi 0,05– 0,5 arasındadır. Özgül ekserji indeksi = 0,5 üzerindeki alan yüksek ekserjili, ya da kaliteli bölge, özgül ekserji indeksi = 0,05 altındaki alan ise düşük ekserjili bölge, arası ise orta ekserjili bölgedir (Lee, 2000).

Haritaya, bir kaynağın akışkanının entalpi ve entropisi çizilirse, jeotermal kaynağın kategorisi hemen belirlenebilmektedir. Salavatlı jeotermal kaynağının yaklaşık olarak entalpi değerinin 700 kJ/kg, entropi değerinin de 2,1 kJ/kg K olduğu bilinerek Şekil 5.5’e bakıldığında, bölgenin orta ekserjili bölgede bulunduğu görülmektedir. Şekil 5.6’da ise, Türkiye ve dünyadaki bazı jeotermal kaynakların sınıflandırma haritasındaki konumlandırılmaları gösterilmekte olup Salavatlı jeotermal kaynağının orta ekserjili bölgede olduğu verilmektedir (Ünal, Serpen, 2004).



Şekil 6.6 Türkiye ve dünyadaki bazı jeotermal kaynakların sınıflandırma haritasındaki konumları (Ünal ve Serpen, 2004).

### 6.8 Açık ve Kapalı Sistemlerin Birinci Ve İkinci Kanun Açısından Ele Alınması

Ekserji analizi ikinci kanundan hesaplanırsa da, birinci kanun da önemli bir etken olmaktadır. Birinci kanunda açık sistem, operasyon sürecinde sınır koşullarında kütle girişi ve çıkışı olabilmektedir, buna kontrol hacmi de denir. Sürekli terimi ise, zamanla bir değişim olmadığını belirtmektedir. Diğer bir deyişle, sürekli bir sistemde zamana bağlı olarak sistemin her noktasındaki değişim sabit olmaktadır. Termodinamiğin Birinci Kanununun genel ifadesi aşağıdaki gibidir (DiPippo, 2004).

$$\dot{Q} - \dot{W}_s = - \sum_{i=1}^n \dot{m}_i (h_i - 0.5g_i^2 + gz_i) \quad (6.26)$$

$\dot{Q}$  : Sistem ve çevresi arasındaki ısı transferi,

$\dot{W}_s$  : Sistem ve çevre arasındaki iş transferi (mekanik Güç),

$i$  : Sistemdeki giriş ve çıkış sayısı indeksi,

$\dot{m}_i$  : Her giriş ve çıkıştaki kütle akışı,

$h_i$  : Her giriş ve çıkıştaki özgül entalpi,

$g_i$  : Her giriş ve çıkıştaki akışkan hızı,

$z_i$  : Keyfi sınıra göre giriş çıkış yükseklik farkı,

$g$  : Bölgesel yerçekimi ivmesi

Buradaki birinci kanununun denkleminde sisteme girenler pozitif, çıkanlar negatif işaretlerle gösterilmektedir. Sürekli sistemlerde, kütle korunumu prensibi dolayısıyla toplam kütle sıfır olmaktadır (DiPippo, 2004).

Enerjinin kinetik ve potansiyel enerji gibi mekanik biçimleri tümüyle kullanılabilir enerjidir. Bir ısı enerji deposunun kullanılabilirliği, ısı enerji deposuyla çevre ortam arasında çalışan bir Carnot ısı makinesinin yaptığı işe eşittir. (Atalay, 2004)

Kapalı veya açık bir sistemde yapılan gerçek iş  $W$ , enerjinin korunumu denklemleriyle hesaplanabilir. Eğer sistemin hacmi değişiyorsa, yapılan işin bir bölümü çevreye karşı yapılır ve çevre işi  $W_{\text{çevre}}$  adını alır. Bu iş,  $P_0$  basıncındaki çevre havayı itmek için kullanılır ve başka bir amaca yönlendirilemez. Toplam gerçek işle çevre işi arasındaki fark *yararlı iş*  $W_y$  diye bilinir ve aşağıdaki bağıntıyla belirlenir:

$$W_y = W - W_{\text{ÇEVRE}} = W - P_0 (V_2 - V_1) \quad (6.27)$$

Çevre işi  $W_{\text{çevre}}$ , çevrimler, sürekli akışlı sistemler ve sabit sınırları olan sistemler için sıfırdır.

Verilen iki hal arasındaki değişim sırasında bir sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş, *tersinir iş*  $W_{tr}$  diye tanımlanır. Bu iş, ilk ve son haller arasındaki hal değişiminin tümünden tersinir olması durumunda elde edilir. Eğer son hal çevre hali ( $P^0, T^0$ ) ise, tersinir iş kullanılabilirliğe eşit olur (Çengel, Boles, 2000).

Tersinir iş  $W^{tr}$  ile yararlı iş  $W_y$  arasındaki fark hal değişimi sırasındaki tersinmezliklerden kaynaklanır ve *tersinmezlik* ( $I$ ) diye tanımlanır. Kapalı veya açık tüm sistemler için tersinmezlik aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir:

$$I = W_{tr} - W_y = T_0 S_{\text{üretim}} \quad (6.28)$$

$$\dot{i} = w_{tr} - w_y = T_0 s_{\text{üretim}} \quad (6.29)$$

$$\dot{I} = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_y = T_0 \dot{S}_{\text{üretim}} \quad (6.30)$$



Burada,  $S_{\text{üretim}}$  veya  $S'_{\text{üretim}}$ , hal değişimi sırasındaki toplam entropi üretimidir. Tümünden tersinir bir hal değişimi için, tersinir iş ve yararlı iş terimleri eşittir ve tersinmezlik sıfırdır (Atalay, 2004).

Birinci yasa verimi mühendislik sistemlerinin değerlendirilmesinde tek başına bir ölçü değildir. Bir sistemin iş üretiminin, aynı ilk (giriş) ve son (çıkış) haller arasındaki tersinir hal değişimi sırasında üretilenle karşılaştırılması bir parametre olarak tanımlanabilir. Bu parametre *ikinci yasa verimi*  $\eta_u$  adını alır ve aşağıdaki bağıntılarla ifade edilir:

Isı makineleri ve diğer iş yapan makineler için:

$$\eta_u = \frac{\eta_{th}}{\eta_{th,tr}} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (6.31)$$

Soğutma makineleri, ısı pompaları ve diğer üzerinde iş yapılan makineler için :

$$\eta_u = \frac{COP}{COP_{tr}} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (6.32)$$

Birim kütle için kapalı bir sistemin ( $\Phi$ ) ve bir akışın ( $\varphi$ ) kullanılabilirliği aşağıda tanımlanmıştır:

$$\Phi = (u - u_0) - T_0(s - s_0) + P_0(v - v_0) \quad (6.33)$$

$$\varphi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) + \frac{V^2}{2} + g z \quad (6.34)$$

ve

Burada, 0 indisi çevre halini ( $P_0, T_0$ ) belirtmek için kullanılmıştır.

Tersinir iş ifadeleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

$$W_{tr} = \eta_{th,tr} Q_H \quad \text{ısı makineleri} \quad (6.35)$$

$$-W_{tr} = \frac{Q_L}{COP_{SM,tr}} \quad \text{soğutma makineleri} \quad (6.36)$$

$$-W_{tr} = \frac{Q_H}{COP_{IP,tr}} \quad \text{ısı pompaları} \quad (6.37)$$

Kapalı sistemler:

$$\begin{aligned} W_{tr} &= (U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) + P_0 (V_1 - V_2) \quad (4.36) \\ &= m (\Phi_1 - \Phi_2) \quad (6.38) \end{aligned}$$

Sürekli akışlı sistemler:

$$\dot{W}_{tr} = \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + g z_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\varphi \left( h_\varphi + \frac{V_\varphi^2}{2} + g z_\varphi - T_0 s_\varphi \right) \quad (6.39)$$

$$= \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\varphi \psi_\varphi \quad (6.40)$$

Bir giriş ve çıkışlı sürekli akışlı açık sistem için bu denklem basitleşir:

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} [(h_g - h_\varphi) - T_0(s_g - s_\varphi) + \frac{V_g^2 - V_\varphi^2}{2} + g(z_g - z_\varphi)] \quad (6.41)$$

$$= \dot{m} (\psi_g - \psi_\varphi) \quad (6.42)$$

Düzenli akışlı dengeli açık sistemler:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{tr} &= \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + g z_g - T_0 s_g \right) - \sum \dot{m}_\varphi \left( h_\varphi + \frac{V_\varphi^2}{2} + g z_\varphi - T_0 s_\varphi \right) \\ &+ [(U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) + P_0(V_1 - V_2)]_{KH} \quad (6.43) \end{aligned}$$

$$= \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_\varphi \psi_\varphi + (\Phi_1 - \Phi_2)_{KH} \quad (6.44)$$

Yukarıdaki bağıntılarda 1 indisi sistemin ilk halini, 2 indisi sistemin son halini, g indisi sistemin giriş halini ve ç indisi sistemin çıkış halini göstermektedir. 0 indisi  $P_0$  basınç ve  $T_0$  sıcaklığındaki çevrenin halini göstermekte olup, ısı geçişi sistem ve çevre arasında olabilmektedir. Yukarıda tersinir iş için verilen bağıntılar çevre dışındaki cisim veya ortamlarla ısı geçişini de göz önüne alacak

şekilde genelleştirilebilir.  $T_k$  sıcaklığındaki ortamla  $Q_k$  veya  $\dot{Q}_k$  miktarda ısı geçişi olduğu kabul edilirse, yukarıda tersinir iş için verilen denklemlerden;

$$\sum_{k=1}^K Q_k \left(1 - \frac{T_0}{T_h}\right) \quad \text{veya} \quad \sum_{k=1}^K \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_h}\right) \text{ çıkarılarak düzeltme yapılmış olur.}$$

Burada,  $Q_k$  veya  $\dot{Q}_k$ 'nin işareti sisteme göre değil ısı alışverişinde bulunulan cisim veya ortama göre seçilmelidir (Atalay, 2004).

Tersinir iş en genel biçimde aşağıda gösterildiği gibi yazılır:

$$\begin{aligned} \dot{W}_{rr} = & \sum_1^2 \int (h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g - T_0 s_g) \delta \dot{m}_g \\ & - \sum_1^2 \int (h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta - T_0 s_\zeta) \delta \dot{m}_\zeta \\ & + (U_1 - U_2) - T_0 (S_1 - S_2) + P_0 (V_1 - V_2) \quad - \sum_{k=1}^K Q_k \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \end{aligned} \quad (6.45)$$

## **7. FLASH BUHAR ve BINARY JEOTERMAL SANTRALLERİNİN BİRLİKTE KULLANIMININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

Tezin bu bölümünde, ilk başta flash buhar sistemlerine örnek olarak Zorlu Kızıldere Jeotermal Santrali'nin enerji ve ekserji analizi yapılacaktır. Daha sonra buradan çıkan veriler, Bereket Enerji'nin binary çevrim santralinde kullanılarak enerji ve ekserji analizi yapılacaktır.

### **7.1 Denizli Zorlu Kızıldere Jeotermal Santrali (Tek Flash Santrali)**

Ülkemizde jeotermal enerjiden elektrik üretimi için kullanılan jeotermal sahalardan biri Kızıldere Jeotermal Sahasıdır. Bu sahada Zorlu Enerji Grubuna ait Denizli-Kızıldere Jeotermal güç santrali mevcuttur. Denizli' nin 35 km batısında, Büyük Menderes nehrinin yanındadır. Denizli-Kızıldere Jeotermal güç santrali **tek flash'dır.**

Kızıldere Jeotermal sahasında ilk jeolojik ve jeofizik çalışmalar MTA tarafından 1965 yılında başlatıldı. 1968 yılında 540 metre derinlikteki ilk kuyu açılarak rezervuar sıcaklığı olan 198 °C'ye ulaşıldı. 1968-1973 yılları arasında, 370 metre ile 1241 metre derinliklere ulaşan 16 kuyu daha açıldı. Yapılan kuyu testleri sonucunda, toplam 17 adet kuyudan 6'sının elektrik üretimine uygun olduğu anlaşıldı. 1974 yılında üretim amaçlı 500 kWe gücünde prototip bir türbin jeneratör grubu kuruldu ve üretime geçerek 4 yıl boyunca çevre köylere ücretsiz elektrik sağladı. 1984 yılında EÜAŞ tarafından 17.4 MWe kapasiteli bir santral kuruldu ve devreye alındı.

Çalışmalar sonucunda hedef; Kızıldere'de, ilk aşamasında 60 MWe'lik kurulu güce ulaşan Türkiye'nin en büyük jeotermal santralini önümüzdeki 3 yıl içerisinde inşa etmektir.



Şekil 7.1 Denizli Kızıldere Zorlu Jeotermal Santrali (Url-10)

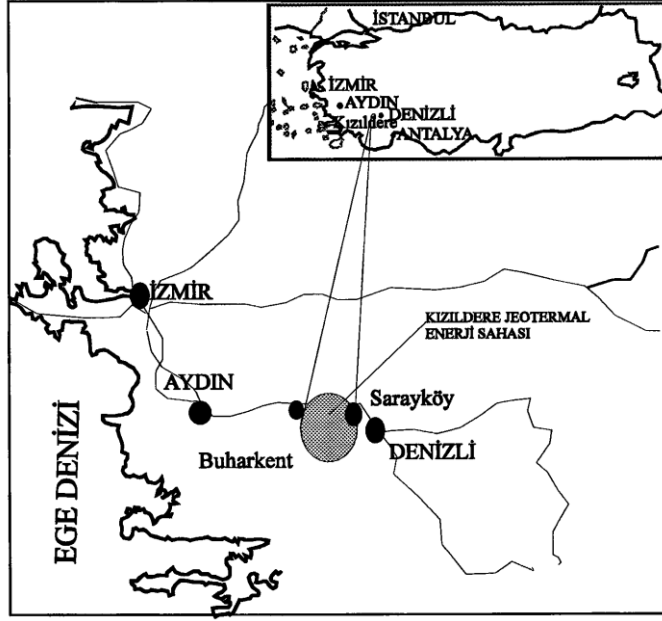
### 7.1.1 Kızıldere Jeotermal Sahası

Kızıldere jeotermal sahası Denizli ile Aydın illeri arasında Büyük Menderes Grabeni'nin batı ucunda yer almaktadır. Türkiye'nin enerji üretim amaçlı keşfedilen ilk alanı olan Kızıldere sahası aynı zamanda Türkiye'nin en yüksek sıcaklığa sahip akışkanının elde edildiği sahadır. Sahada ilk jeolojik ve jeofizik çalışmalar MTA tarafından 1965 yılında başlatılmıştır. Sahada EÜAŞ adına kayıtlı olan işletme ruhsatı, elektrik üretim santralinin özelleştirilmesi kapsamında ihale ile Zorlu Grubuna devredilmiştir. (GEPA,2006)

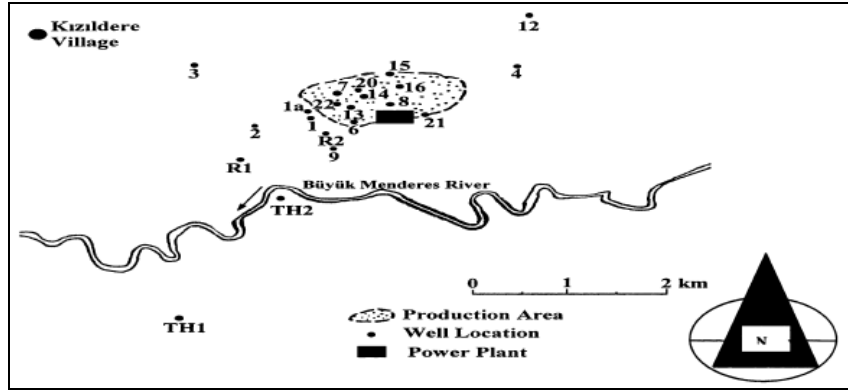
Çevrede tabii olarak yeryüzüne ulaşmış doğal buhar ve sıcak su kaynakları bulunmaktadır. Bunların sıcaklıkları 30 °C ile 100 °C arasında değişmektedir. (Atalay, 2004)

Bu bölgede; jeolojik, jeofizik, jeokimya çalışmaları, kuyu açma ve test işlemleri MTA Genel Müdürlüğü tarafından gerçekleştirilmiştir. İlk üretim kuyusu K-1, 1968 yılında tamamlanmış ve 540 m derinlikte 198 °C rezervuar sıcaklığı olan buhar bulunmuştur. 1968 ve 1973 yılları arasında açılan 16 adet kuyudaki rezervuar sıcaklıkları 170 °C ile 212 °C arasında tespit edilmiştir. 1975 yılında, K-9 kuyusundan beslenen 0,5 MW gücünde bir prototip santral MTA Genel Müdürlüğü tarafından kurulmuştur. (Atalay,2004)

Üretilen enerji uzun bir süre çevre köylerin elektrik ihtiyacını karşılamıştır. Şekil 7.3'de yer bulduru haritasında saha yeri gösterilmiştir. Ayrıca Şekil 7.2'de açılan kuyuların yerleri belli edilmiştir.



Şekil 7.2: Yer Bulduru Haritası (Aksoy, 1997)



Şekil 7.3: Kızıldere Jeotermal Santrali

Kızıldere jeotermal havzasında, MTA Genel Müdürlüğünün açmış olduğu kuyulardan 6 adedinin elektrik enerjisi üretimine uygun olduğu MTA raporlarındaki verilere göre tespitinden sonra, Türkiye Elektrik Kurumu'nun girişimleri sonucu yörede bir santral kurulmasına karar verilmiştir. 1980 yılı sonlarında santral yapım çalışmaları başlamış, 11 Şubat 1984 tarihinde santral işletmeye açılmıştır. 1998 yılında açılan 2261 m derinlikteki R1 kuyusunda 242 °C rezervuar sıcaklığı tespit edilmiş, bu kuyu Şubat 2001 tarihinde devreye alınmıştır. Kuyu arama çalışmaları gğngmğydede devam etmektedir. Halen sisteme dahil 9 kuyu bulunmaktadır. Bunlar R1, K-1, K-2, K-3, K-4, K-5, K-6, K-7, K-8 kuyularıdır. Bunlardan R1 242 °C taban sıcaklığı ile Türkiye'de açılan en sıcak kuyu olma özelliğine sahiptir. Diğer kuyular ise 190 °C – 210 °C arası taban sıcaklıklarına sahiptir.

Kızıldere Jeotermal sahasında kurulan güç santrali esas olarak aşağıdaki ünitelerden oluşmaktadır:

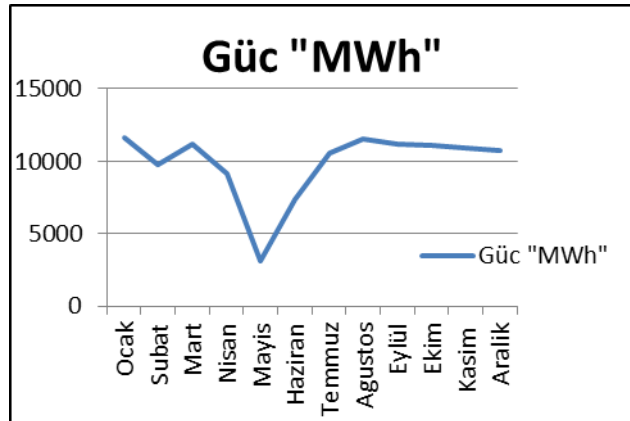
- Kuyu, kuyubaşı seperatörleri ve buhar iletim hatları,
- Türbin, kompresör, kondenser,
- Jeneratör, ana trafo, şalt sahası,
- Sıcak su tahliye sistemi, soğutma kulesi, soğutma suyu sistemi,
- Kumanda odası ve kontrol ünitesi,
- Yardımcı üniteler (su tasfiye ünitesi, basınçlı hava sistemi, yangın söndürme sistemi).

R1 kuyusu reenjeksiyon amaçlı açılmış olmasına rağmen yüksek sıcaklık elde edilmesi nedeni ile, üretim kuyusu olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Denizli Kızıldere Zorlu Jeotermal Santrali'nden alınan veriler doğrultusunda Tablo-7.1'de 2011 yılı aylık güç miktarları ve Tablo-7.2'de 2000-2011 yılları arasındaki yıllık güç miktarları verilmiştir.

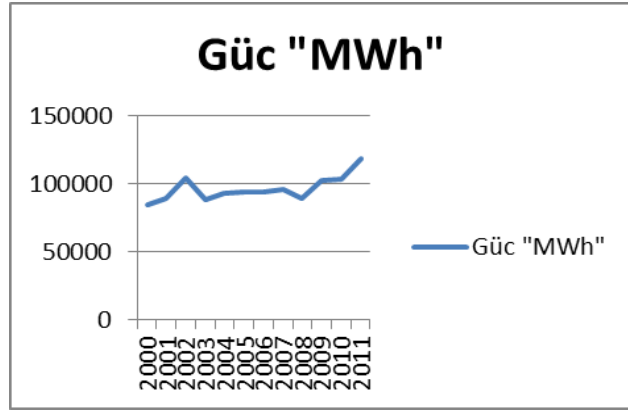
Tablo 7.1 2011 Yılı Aylara Göre Güç Üretimi

2011 Yılı Aylara Göre Güç Üretimi (MWh)	
Ocak	11666,7
Şubat	9793,4
Mart	11152,4
Nisan	9162
Mayıs	3078,2
Haziran	7383,7
Temmuz	10594,8
Ağustos	11500,8
Eylül	11196,1
Ekim	11105,6
Kasım	10952,2
Aralık	10754,6
Toplam	118340,5



Tablo 7.2 2000-2011 Yılları Arasındaki Yıllık Güç Üretimi

Yıllık Güç Miktarları (MWh)	
2000	84098,1
2001	89597
2002	104570
2003	88594,4
2004	93192
2005	94433,3
2006	94013,5
2007	95950,3
2008	89534,1
2009	102419
2010	103857,7
2011	118340,5



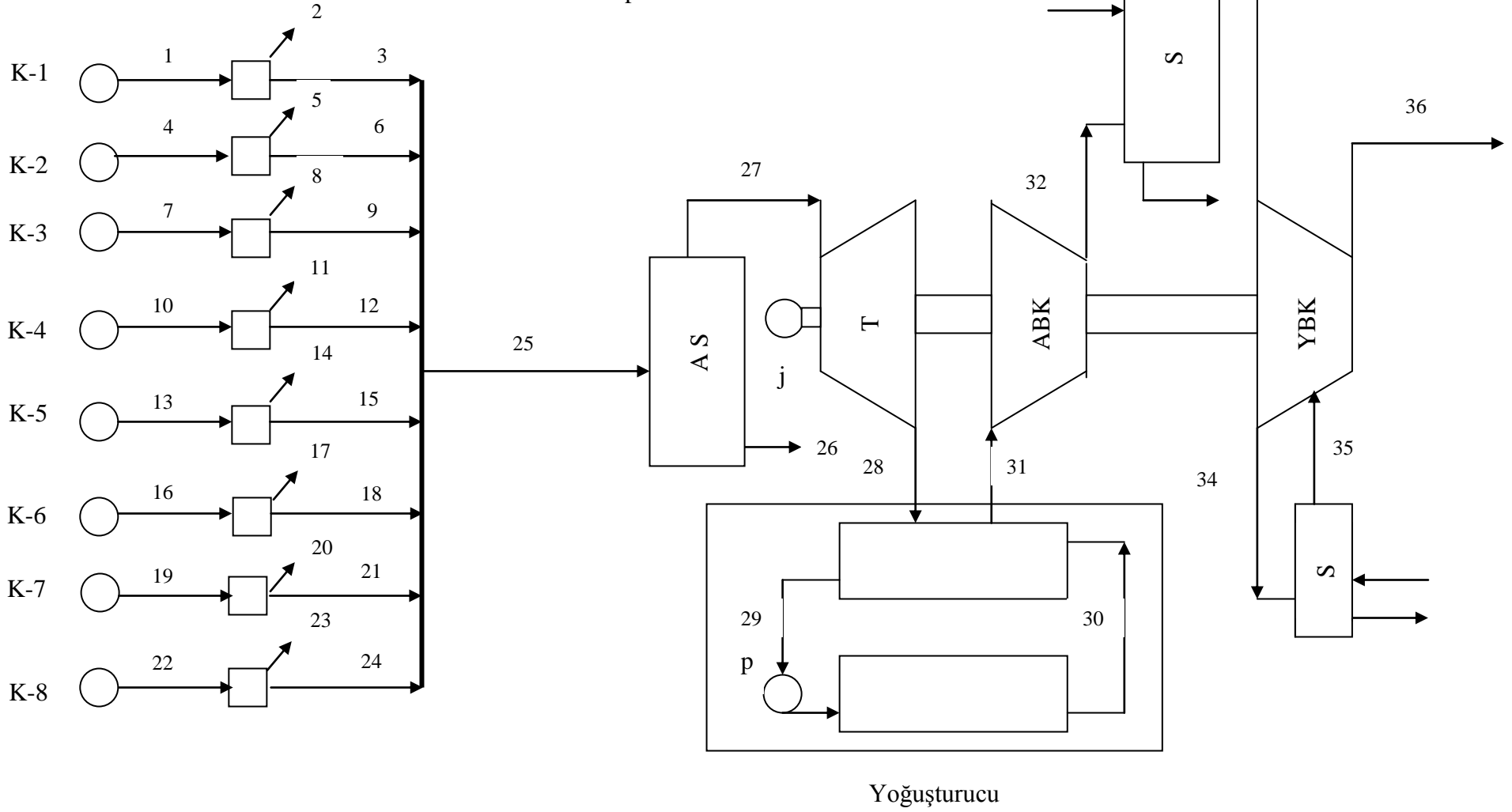
Şekil 7.4'de Kızıldere Jeotermal santrali şematik olarak verilmiştir.



Kuyular

Kuyubaşı  
separatörleri

AS: Ana separator T: Türbin  
J: Jeneratör S: Soğutucu  
ABK: Alçak basınç kompresörü  
YBK: Yüksek basınç kompresörü  
P: Pompa



Şekil 7.4 Santralin Şematik Gösterimi



### 7.1.2 Zorlu Jeotermal Santrali'nin çalışma prensibi

Jeotermal santralinde kuyulardan elde edilen buharla elektrik enerjisi üretimi gerçekleştirilmektedir. Kuyu çıkışlarında 3,4-3,5 MPa'da tutulan sıcak su ve buhar karışımı separatörlerde ayrıştırılarak buhar elde edilmektedir. Sudan ayrıştırılan buhar ana nem separatörüne buhar nakil hattı aracılığıyla gönderilir.

Ana nem separatöründe tamamen sudan arınan buhar türbine girer. Buhar türbinin de iş yapan buhar, kondensere dökülür. Kondenserde yoğuşmayan gazlar, türbin şaftına akuple biri alçak, diğeri yüksek basınçlı iki adet gaz kompresörüyle emilerek, kondenserde vakum temin edilir. Kondenserde yoğuşan su, kondense tahliye pompaları ile soğutma kulesine gönderilir. Soğutma kulesindeki suyu kondensere dönüşü ise, kondenserde oluşan vakum ile gerçekleştirilir. Türbin şaftına akuple olan jeneratörde elde edilen elektrik enerjisi ana trafo aracılığıyla şalt sahasına gönderilir. Şalt sahası Sarayköy, Nazilli, Alaşehir çıkışları ile ulusal elektrik sistemine bağlanmıştır. Menderes nehrinden temin edilen su, tasfiye ünitesinde arıtılarak soğutma kulesinin katma suyu olarak kullanılmaktadır. Kondenserde yoğuşmayan gazlar içerisinde büyük oranda ve % 99 saflıkta bulunan CO<sub>2</sub> gazı, özel sektöre 1986 yılından beri satılmaktadır. Santral akış şeması Şekil 7.6'da gösterilmiştir (Atalay, 2004).

### 7.1.3 Santralin Ekserji Analizi

Santrale ait bilgiler şematik olarak verilmişti. Şekil üzerinde gösterilen noktalar için santralin enerji ve ekserji değerleri sürekli akışlı açık sistemler için hesaplanmış olup elde edilen değerler tablo halinde verilmiştir. Hesap yapılırken dış ortam sıcaklığı 27 °C ve basıncı ise 0,1 MPa olarak alınmıştır.

Enerji ve ekserji değerleri hesaplanırken jeotermal akışkan ve CO<sub>2</sub> için kullanılan fiziksel ekserji formülleri şu şekildedir.

Jeotermal akışkan için;

$$J_{fiz} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (7.1)$$

CO<sub>2</sub> için;

$$J_{fiz} = c_p \left[ (T - T_0) - T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] + RT_0 \ln \frac{P}{P_0} \quad (7.2)$$

Burada, CO<sub>2</sub> için R: 0,1889 alındı ve c<sub>p</sub> değerleri sıcaklığa göre tablodan aşağıdaki gibi elde edildi (Çengel ve Boles, 2000);

$$36 \text{ }^\circ\text{C}(309 \text{ K}) \longrightarrow c_p = 0,8514$$

$$104 \text{ }^\circ\text{C}(377 \text{ K}) \longrightarrow c_p = 0,9182$$

$$42 \text{ }^\circ\text{C}(315 \text{ K}) \longrightarrow c_p = 0,8578$$

$$154 \text{ }^\circ\text{C}(427 \text{ K}) \longrightarrow c_p = 0,9975$$

$$41 \text{ }^\circ\text{C}(314 \text{ K}) \longrightarrow c_p = 0,8567$$

$$140 \text{ }^\circ\text{C}(413 \text{ K}) \longrightarrow c_p = 0,9490$$

(CO<sub>2</sub> için c<sub>p</sub> değerleri c<sub>p</sub>= a+ bT +cT<sup>2</sup> +dT<sup>3</sup> formülü yardımı ile hesaplanmıştır. Sabit değerler Yunus A. Çengel'in Temodinamik kitabının A-2 Tablosundan alınmıştır. (kj/(kmol\*K))

Tablo 7.3 Santrale ait hesaplanan 27 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri

No		İçerik	Hal	Debi	Sıcaklık	Basınç	Entalpi	Entropi	Enerji Akımı	Ekserji Akımı
				$\dot{m}$	$T$	$P$	$h$	$s$	$\dot{E}$	$\dot{J}$
				kg/s	°C	MPa	kJ/kg	kJ/kgK	kW	kW
0					27	0.1	113.25	0.3952	0	0
1	K-1	H <sub>2</sub> O	S	46.70	179	1.2	758.81	2.13	30150.2	5843.6
2	K-1	H <sub>2</sub> O	S	43.62	147	0.438	619.2	1.81	22045.0	3555.6
3	K-1	H <sub>2</sub> O	B	3.08	147	0.438	2742.7	6.874	8105.2	2114.0
4	K-2	H <sub>2</sub> O	S	38.64	181	1.29	767.65	2.1492	25287.3	4953.9
5	K-2	H <sub>2</sub> O	S	35.94	147	0.438	619.2	1.81	18174.8	2929.2
6	K-2	H <sub>2</sub> O	B	2.70	147	0.438	2742.7	6.874	7112.5	1855.1
7	K-3	H <sub>2</sub> O	S	54.49	183	0.93	776.51	2.1685	36139.7	7152.6
8	K-3	H <sub>2</sub> O	S	50.56	148	0.45	624.2	1.821	25817.7	4207.5
9	K-3	H <sub>2</sub> O	B	3.92	148	0.45	2744.3	6.857	10322.0	2716.8
10	K-4	H <sub>2</sub> O	S	41.98	186	1.02	789.82	2.1975	28401.1	5704.0
11	K-4	H <sub>2</sub> O	S	38.58	147	0.438	619.2	1.81	19460.4	3144.5
12	K-4	H <sub>2</sub> O	B	3.40	147	0.438	2742.7	6.874	8940.7	2331.9
13	K-5	H <sub>2</sub> O	S	46.15	178	3.95	754.4	2.1201	29587.8	5707.6
14	K-5	H <sub>2</sub> O	S	43.33	148	0.45	624.2	1.821	22181.3	3605.7
15	K-5	H <sub>2</sub> O	B	2.82	148	0.45	2744.3	6.857	7406.5	1949.4
16	K-6	H <sub>2</sub> O	S	43.65	181	3.65	767.65	2.1492	28561.9	5595.4
17	K-6	H <sub>2</sub> O	S	40.59	147	0.438	619.2	1.81	20528.3	3308.6
18	K-6	H <sub>2</sub> O	B	3.06	147	0.438	2742.7	6.874	8033.5	2095.3
19	K-7	H <sub>2</sub> O	S	44.48	226	3.76	971.45	2.5731	38172.7	9110.8
20	K-7	H <sub>2</sub> O	S	37.10	147	0.438	619.2	1.81	18757.7	3023.7
21	K-7	H <sub>2</sub> O	B	7.38	147	0.438	2742.7	6.874	19415.0	5063.8
22	K-8	H <sub>2</sub> O	S	40.59	200	3.55	852.45	2.3309	30002.6	6432.8
23	K-8	H <sub>2</sub> O	S	36.27	149	0.4637	627.886	1.8315	18625.4	3037.1
24	K-8	H <sub>2</sub> O	B	4.32	149	0.4637	2745.26	6.8469	11377.2	3010.7
25	AS	H <sub>2</sub> O	B	47.3	147	0.35	2742.8	6.8651	124246.2	32535.4
26	AS	H <sub>2</sub> O	S	0.45	147	0.35	619.25	1.8111	227.7	36.6
27	AS	H <sub>2</sub> O	B	46.8	147	0.35	2742.8	6.8651	124018.5	32225.5
28	Y	H <sub>2</sub> O	K	46.8	51	0.008	2380.3	7.3426	106097.9	8556.4
29	Y	H <sub>2</sub> O	S	2369.4	44	0.007	184.274	0.6254	168287.4	4653.6
30	Y	H <sub>2</sub> O	S	2341.4	30	0.004	125.79	0.4369	29360.9	70.2
0					27	0.1	214.3	4.86		
31	ABK	CO <sub>2</sub>	G	4.36	36	0.01	220	4.88	65.4	-545.6
32	S	CO <sub>2</sub>	G	4.36	104	0.014	281	5.06	331.36	-419.7
33	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4.36	42	0.015	224	4.86	82.84	-443.3
34	S	CO <sub>2</sub>	G	4.36	154	0.05	329	5.16	540.64	-45.6
35	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4.36	41	0.039	222	4.85	74.12	-206.9
36	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4.36	140	0.101	310	5.14	457.8	100.7

S: Sıvı B: Buhar K: Karışım G: Gaz

Yukarıda hesaplanan değerler ışığında ekserjinin amacı kayıpları tespit etmek ve santralin verimini artırmak için santral içinde yapılacak iyileştirmelerin başlama noktasının neresi olabileceği konusunda bir karara varmaktır.

Ekserji akış diyagramından da görüldüğü üzere 8 adet üretim kuyusu sisteme 50500,8 kW ekserji girişi sağlamaktadır. Bu kuyulardan K-7, kuyular içinde 9110,8 kW ile en fazla ekserji girişi sağlamaktadır. Bu kuyunun sisteme giren ekserji içindeki payı % 18.4'tür. Sistemin ekserji kayıpları başlıca separatörlerde, türbinde, jeneratörde, kompresörlerde, su buharının çevreye atılmasında ve CO<sub>2</sub> gazının üretilmesi sırasında gerçekleşmektedir.

Santralin önemli noktaları için kütle, enerji ve ekserji denklemleri yazılarak; sistemin birinci ( $\eta_I$ ) ve ikinci ( $\eta_{II}$ ) verimleri hesaplandı (Kotas, 1985; Çengel ve Boles, 2000).

Açık sistemler için,

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\zeta = \Delta \dot{m}_{sistem} \quad (7.3)$$

$\Delta \dot{m}_{sistem} = 0$  olduğundan,

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (7.4)$$

2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_\zeta = \Delta \dot{E}_{sistem} \quad (7.5)$$

$\Delta \dot{E}_{sistem} = 0$  olduğundan,

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta \quad (7.6)$$

Formül açık olarak yazılırsa;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left( h_\zeta + \frac{V_\zeta^2}{2} + gz_\zeta \right) - \sum \dot{m}_g \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \quad (7.7)$$

Potansiyel ve kinetik enerjiler ihmal edilirse,

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta - \sum \dot{m}_g \quad (7.8)$$

3) Ekserji dengesi;

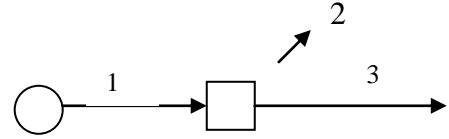
$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta - \dot{J}_{kay} = \Delta \dot{J}_{sistem} \quad (7.9)$$

$\Delta \dot{J}_{sistem} = 0$  olduğundan,

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay} \quad (7.10)$$

## KD-6 Seperatörü

KD-6



1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 + \dot{m}_3 \longrightarrow 46,70 = 43,62 + 3,08 \text{ kg/s}$$

2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_1 = \dot{E}_2 + \dot{E}_3 \longrightarrow 30150,2 = 22045 + 8105,2 \text{ kW}$$

3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_1 - (\dot{J}_2 + \dot{J}_3) = \dot{J}_{kay} \longrightarrow 5843,6 - (3555,6 + 2114) = \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 174 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_{al}}{\dot{E}_{ver}} = \frac{8105,2}{30150,2} = 0,265 \quad (\% 26,5)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_{al}}{\dot{J}_{ver}} = \frac{2214}{5843,6} = 0,378 \quad (\% 37,8)$$



## Kuyubaşı Seperatörleri

1) *Kütle dengesi;*

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_4 + \dot{m}_7 + \dot{m}_{10} + \dot{m}_{13} + \dot{m}_{16} + \dot{m}_{19} + \dot{m}_{22} = (\dot{m}_2 + \dot{m}_5 + \dot{m}_8 + \dot{m}_{11} + \dot{m}_{14} + \dot{m}_{17} + \dot{m}_{20} + \dot{m}_{23}) + (\dot{m}_3 + \dot{m}_6 + \dot{m}_9 + \dot{m}_{12} + \dot{m}_{15} + \dot{m}_{18} + \dot{m}_{21} + \dot{m}_{24})$$

$$46,70+38,64+54,49+41,98+46,15+43,65+44,48+40,59 = (43,62+35,94+50,56+38,58+43,33+40,59+37,10+36,27) + (3,08+2,70+3,92+3,40+2,82+3,06+7,38+4,32)$$

$$356,67 = 325,99 + 30,68 \text{ (kg/s)}$$

2) *Enerji dengesi;*

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_1 + \dot{E}_4 + \dot{E}_7 + \dot{E}_{10} + \dot{E}_{13} + \dot{E}_{16} + \dot{E}_{19} + \dot{E}_{22} = (\dot{E}_2 + \dot{E}_5 + \dot{E}_8 + \dot{E}_{11} + \dot{E}_{14} + \dot{E}_{17} + \dot{E}_{20} + \dot{E}_{23}) + (\dot{E}_3 + \dot{E}_6 + \dot{E}_9 + \dot{E}_{12} + \dot{E}_{15} + \dot{E}_{18} + \dot{E}_{21} + \dot{E}_{24})$$

$$30.150,2+25287,3+36139,7+28401,1+29587,8+28561,9+38172,7+30002,6 = (22045+18174,8+25817,7+19460,4+22181,3+20528,3+18757,7+18625,4) + (8105,2+7112,5+10322+8940,7+7406,5+8033,5+19415+11377,4)$$

$$246303,4 = 165590,6+80712,8$$

$$246303,4=246303,4 \text{ kW}$$

3) *Ekserji dengesi;*

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay}$$

$$[\dot{J}_1 + \dot{J}_4 + \dot{J}_7 + \dot{J}_{10} + \dot{J}_{13} + \dot{J}_{16} + \dot{J}_{19} + \dot{J}_{22}] - [(\dot{J}_2 + \dot{J}_5 + \dot{J}_8 + \dot{J}_{11} + \dot{J}_{14} + \dot{J}_{17} + \dot{J}_{20} + \dot{J}_{23}) + (\dot{J}_3 + \dot{J}_6 + \dot{J}_9 + \dot{J}_{12} + \dot{J}_{15} + \dot{J}_{18} + \dot{J}_{21} + \dot{J}_{24})] = \dot{J}_{kay}$$

$$[5843,6+4953,9+7152,6+5704+5707,6+5595,4+9110,8+6432,8]- [(3555,6+2929,2+4207,5+3144,5+3605,7+3308,6+3023,7+3037,1)+ (2114+1855,1+2716,8+2331,9+1949,4+2095,3+5063,8+3010,7)]$$

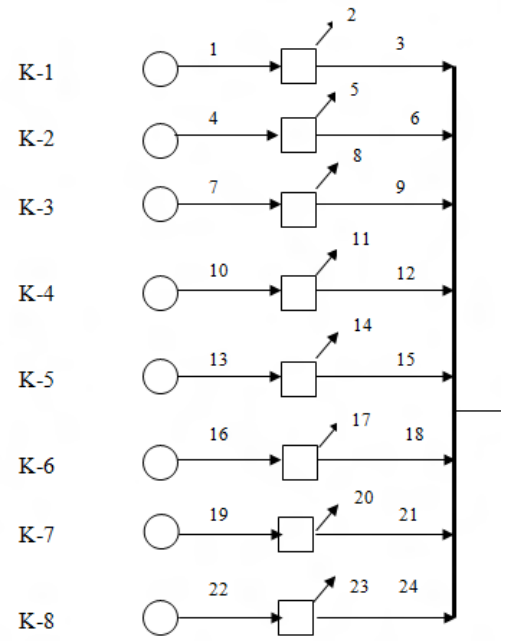
$$= \dot{J}_{kay}$$

$$[50500,8-(26811,9+21137)] = \dot{J}_{kay} \text{ kW}$$

$$\dot{J}_{kay} = 2551,9 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_{al}}{\dot{E}_{ver}} = \frac{80712,6}{246303,4} = 0,327 (\% 32,7)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_{al}}{\dot{J}_{ver}} = \frac{21137}{50500,8} = 0,418 (\% 41,8)$$

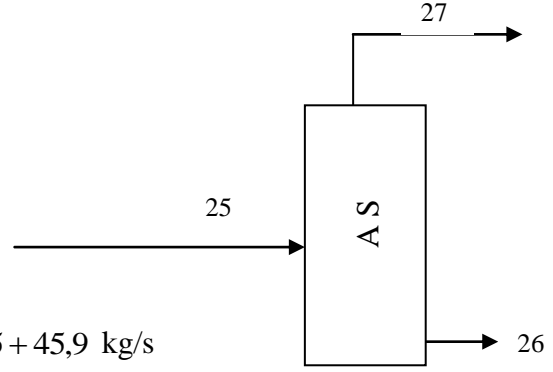


## Ana Separatör

1) Kütüle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_{25} = \dot{m}_{26} + \dot{m}_{27} \longrightarrow 46,3 = 0,45 + 45,9 \text{ kg/s}$$



2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_{25} = \dot{E}_{26} + \dot{E}_{27} \longrightarrow 121800,8 = 227,7 + 121573,1 \text{ kW}$$

3) Ekserji dengesi;

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{25} - (\dot{J}_{26} + \dot{J}_{27}) = \dot{J}_{kay} \longrightarrow 31895 - (36,6 + 31585,2) = \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 273,2 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_{al}}{\dot{E}_{ver}} = \frac{121573,1}{121800,8} = 0,998 \quad (\% 99,8)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_{al}}{\dot{J}_{ver}} = \frac{31585,2}{31895,0} = 0,99 \quad (\% 99)$$

## Türbin

1) Kütlev dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

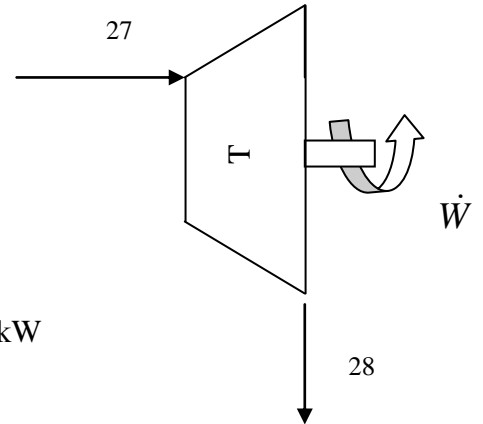
$$\dot{m}_{27} = \dot{m}_{28} \longrightarrow 45,9 = 45,9 \text{ kg/s}$$

2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{E}_{27} = \dot{E}_{28} + \dot{W} \longrightarrow 121573,1 = 103989,6 + \dot{W} \text{ kW}$$

$$\dot{W} = 17583,5 \text{ kW}$$



3) Ekserji dengesi;

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay} + \dot{W}$$

$$\dot{J}_{27} - \dot{J}_{28} = \dot{J}_{kay} + \dot{W} \longrightarrow 31585,2 - 8386,4 = \dot{J}_{kay} + 17583,5$$

$$\dot{J}_{kay} = 5615,3 \text{ kW}$$

$$s_{27} = s_{28s} = 6,865 \text{ (kJ/kgK)} \cdot x = \frac{s_{28s} - s_{28su}}{s_{28gaz} - s_{28su}} = \frac{6,865 - 0,6517}{7,6528} = 0,81$$

$$h_{28s} = 2360,7 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_I = \frac{h_{27} - h_{28a}}{h_{27} - h_{28s}} = \frac{2742,8 - 2380,3}{2742,8 - 2360,7} = 0,94 \quad (\% 94)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{m}(h_{27} - h_{28})}{\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta} = \frac{46,8(2742,8 - 2380,3)}{32225,5 - 8556,4} = 0,72 \quad (\% 72)$$

## Alçak Basınç Kompresörü

1) Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_{31} = \dot{m}_{32} \longrightarrow 4,36 = 4,36 \text{ kg/s}$$

2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{W} + \dot{E}_{31} = \dot{E}_{32} \longrightarrow \dot{W} + 65,4 = 331,36$$

$$\dot{W} = 265,96 \text{ kW}$$

3) Ekserji dengesi;

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay} - \dot{W}$$

$$\dot{J}_{31} - \dot{J}_{32} = \dot{J}_{kay} - \dot{W} \longrightarrow -545,6 - (-419,7) = \dot{J}_{kay} - 265,96$$

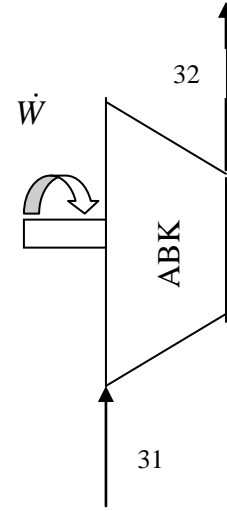
$$\dot{J}_{kay} = 14,06 \text{ kW}$$

$$\frac{P_{r32}}{P_{r31}} = \frac{P_{32}}{P_{31}} = 1,4 \quad P_{r32} = 0,1796 \cdot 1,4 = 0,2515 \quad T_{32s} = 334,2K$$

$$h_{32s} = 243,8 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_I = \frac{h_{32s} - h_{31}}{h_{32a} - h_{31}} = \frac{243,8 - 220}{281 - 220} = 0,39 \quad (\% 39)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta - \dot{J}_g}{\dot{m}(h_{32} - h_{31})} = \frac{-419,7 - (-545,6)}{4,36 \cdot (281 - 220)} = 0,473 \quad (\% 47,3)$$



## Yüksek Basınç Kompresörü

1) Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$\dot{m}_{33} + \dot{m}_{35} = \dot{m}_{34} + \dot{m}_{36} \longrightarrow 8,72 = 8,72 \text{ (kg/s)}$$

2) Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{W} + \dot{E}_{33} + \dot{E}_{35} = \dot{E}_{34} + \dot{E}_{36} \longrightarrow \dot{W} + 82,84 + 74,12 = 540,64 + 457,8$$

$$\dot{W} = 841,48 \text{ kW}$$

3) Ekserji dengesi;

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay} - \dot{W}$$

$$(\dot{J}_{33} + \dot{J}_{35}) - (\dot{J}_{34} + \dot{J}_{36}) = \dot{J}_{kay} - \dot{W}$$

$$-443,3 + (-206,9) - [-45,6 + (100,7)] = \dot{J}_{kay} - 841,48$$

$$\dot{J}_{kay} = 136,18 \text{ kW}$$

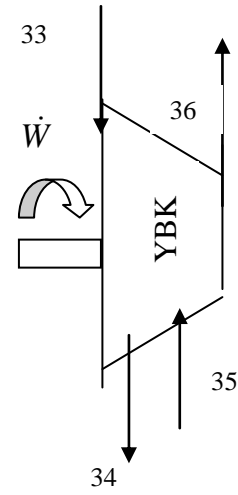
1. kademe için,

$$\frac{P_{r34}}{P_{r33}} = \frac{P_{34}}{P_{33}} = 3,3 \quad P_{r34} = 0,1921 \cdot 3,3 = 0,634 \quad T_{34s} = 405,9 \text{ K}$$

$$h_{34s} = 309,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_I = \frac{h_{34s} - h_{33}}{h_{34a} - h_{33}} = \frac{309,5 - 224}{329 - 224} = 0,814 \quad (\% 81,4)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta - \dot{J}_g}{\dot{m}(h_{34} - h_{33})} = \frac{-45,6 - (-443,3)}{4,36 \cdot (329 - 224)} = 0,868 \quad (\% 86,8)$$



2. Kademe için,

$$\frac{P_{r36}}{P_{r35}} = \frac{P_{36}}{P_{35}} = 2,59 \quad P_{r36} = 0,19 \cdot 2,59 = 0,497 \quad T_{36s} = 385,3K$$

$$h_{36s} = 290,12 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_I = \frac{h_{36s} - h_{35}}{h_{36a} - h_{35}} = \frac{290,12 - 222}{310 - 222} = 0,774 \quad (\% 77,4)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\xi - \dot{J}_g}{\dot{m}(h_{36} - h_{35})} = \frac{10,7 - (-206,9)}{4,36 \cdot (310 - 222)} = 0,801 \quad (\% 80,1)$$

## Güç Santrali

1)Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$
$$356,67 = 356,67 \text{ (kg/s)}$$

2)Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$
$$246303,4 = 229827,34 + 16476,06 \text{ kW}$$

3)Ekserji dengesi;

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay}$$
$$50500,8 - 16476,06 = \dot{J}_{kay}$$
$$\dot{J}_{kay} = 34024,74 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{16476,06}{246303,4} = 0,066 \quad (\% 6,6)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{16476,06}{50500,8} = 0,32 \quad (\% 32)$$

Hesaplanan değerler dış ortam şartlarının 27 °C sıcaklığında ve 0,1 MPa basınç değerinde olmasıyla elde edildi. Elde edilen net güç sabit kalmak şartıyla dış ortam sıcaklığı arttığında ekserji girişinin azalması nedeniyle ikinci verim artmakta, dış ortam sıcaklığı azaldığında ise ekserji girişinin artmasından dolayı ikinci verim azalmaktadır.



Tablo 7.4 Santrale ait hesaplanan 20 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri

No		İçerik	Hal	Debi	Sıcaklık	Basınç	Entalpi	Entropi	Enerji Akımı	Ekserji Akımı
				$\dot{m}$	$T$	$P$	$h$	$s$	$\dot{E}$	$J$
				kg/s	°C	MPa	kJ/kg	kJ/kgK	kW	kW
0					20	0,1	83,96	0,2966	0	0
1	K-1	H <sub>2</sub> O	S	46,70	179	1,2	758,81	2,13	31518,2	6429,5
2	K-1	H <sub>2</sub> O	S	43,62	147	0,438	619,2	1,81	23322,7	4005,1
3	K-1	H <sub>2</sub> O	B	3,08	147	0,438	2742,7	6,874	8195,5	2255,0
4	K-2	H <sub>2</sub> O	S	38,64	181	1,29	767,65	2,1492	26419,1	5443,8
5	K-2	H <sub>2</sub> O	S	35,94	147	0,438	619,2	1,81	19227,4	3299,5
6	K-2	H <sub>2</sub> O	B	2,70	147	0,438	2742,7	6,874	7191,7	1978,8
7	K-3	H <sub>2</sub> O	S	54,49	183	0,93	776,51	2,1685	37735,7	7850,8
8	K-3	H <sub>2</sub> O	S	50,56	148	0,45	624,2	1,821	27298,8	4732,4
9	K-3	H <sub>2</sub> O	B	3,92	148	0,45	2744,3	6,857	10436,9	2895,8
10	K-4	H <sub>2</sub> O	S	41,98	186	1,02	789,82	2,1975	29630,6	6250,4
11	K-4	H <sub>2</sub> O	S	38,58	147	0,438	619,2	1,81	20590,4	3542,0
12	K-4	H <sub>2</sub> O	B	3,40	147	0,438	2742,7	6,874	9040,3	2487,5
13	K-5	H <sub>2</sub> O	S	46,15	178	3,95	754,4	2,1201	30939,5	6283,3
14	K-5	H <sub>2</sub> O	S	43,33	148	0,45	624,2	1,821	23450,5	4055,6
15	K-5	H <sub>2</sub> O	B	2,82	148	0,45	2744,3	6,857	7488,9	2077,9
16	K-6	H <sub>2</sub> O	S	43,65	181	3,65	767,65	2,1492	29840,3	6148,8
17	K-6	H <sub>2</sub> O	S	40,59	147	0,438	619,2	1,81	21717,2	3726,8
18	K-6	H <sub>2</sub> O	B	3,06	147	0,438	2742,7	6,874	8123,0	2235,1
19	K-7	H <sub>2</sub> O	S	44,48	226	3,76	971,45	2,5731	39475,6	9806,8
20	K-7	H <sub>2</sub> O	S	37,10	147	0,438	619,2	1,81	19844,2	3406,0
21	K-7	H <sub>2</sub> O	B	7,38	147	0,438	2742,7	6,874	19631,3	5401,6
22	K-8	H <sub>2</sub> O	S	40,59	200	3,55	852,45	2,3309	31191,5	6999,0
23	K-8	H <sub>2</sub> O	S	36,27	149	0,4637	627,886	1,8315	19687,6	3416,2
24	K-8	H <sub>2</sub> O	B	4,32	149	0,4637	2745,26	6,8469	11503,8	3207,7
25	AS	H <sub>2</sub> O	B	47,3	147	0,35	2742,8	6,8651	125630,2	34694,2
26	AS	H <sub>2</sub> O	S	0,45	147	0,35	619,25	1,8111	240,9	41,2
27	AS	H <sub>2</sub> O	B	46,8	147	0,35	2742,8	6,8651	125389,3	34363,8
28	Y	H <sub>2</sub> O	K	46,8	51	0,008	2380,3	7,3426	107468,7	10851,1
29	Y	H <sub>2</sub> O	S	2369,4	44	0,007	184,274	0,6254	237688,5	9420,0
30	Y	H <sub>2</sub> O	S	2341,4	30	0,004	125,79	0,4369	97940,1	1690,7
0					27	0,1	214,3	4,86		
31	ABK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	36	0,01	220	4,88	85,7	-530,3
32	S	CO <sub>2</sub>	G	4,36	104	0,014	281	5,06	322,3	-396,4
33	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	42	0,015	224	4,86	121,7	-420,4
34	S	CO <sub>2</sub>	G	4,36	154	0,05	329	5,16	580,4	-23,8
35	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	41	0,039	222	4,85	105,7	-195,1
36	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	140	0,101	310	5,14	498,4	115,2

Tablo 7.5 Santrale ait hesaplanan 7 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri

No		İçerik	Hal	Debi	Sıcaklık	Basınç	Entalpi	Entropi	Enerji Akımı	Ekserji Akımı
				$\dot{m}$	$T$	$P$	$h$	$s$	$\dot{E}$	$\dot{J}$
				kg/s	°C	MPa	kJ/kg	kJ/kgK	kW	kW
0					7	0,1	29,39	0,106	0	0
1	K-1	H <sub>2</sub> O	S	46,70	179	1,2	758,81	2,13	34066,8	7598,7
2	K-1	H <sub>2</sub> O	S	43,62	147	0,438	619,2	1,81	25703,1	4915,7
3	K-1	H <sub>2</sub> O	B	3,08	147	0,438	2742,7	6,874	8363,7	2522,3
4	K-2	H <sub>2</sub> O	S	38,64	181	1,29	767,65	2,1492	28527,8	6420,9
5	K-2	H <sub>2</sub> O	S	35,94	147	0,438	619,2	1,81	21188,4	4049,7
6	K-2	H <sub>2</sub> O	B	2,70	147	0,438	2742,7	6,874	7339,3	2213,4
7	K-3	H <sub>2</sub> O	S	54,49	183	0,93	776,51	2,1685	40709,1	9242,3
8	K-3	H <sub>2</sub> O	S	50,56	148	0,45	624,2	1,821	30058,1	5795,2
9	K-3	H <sub>2</sub> O	B	3,92	148	0,45	2744,3	6,857	10651,0	3235,1
10	K-4	H <sub>2</sub> O	S	41,98	186	1,02	789,82	2,1975	31921,3	7338,2
11	K-4	H <sub>2</sub> O	S	38,58	147	0,438	619,2	1,81	22695,6	4347,3
12	K-4	H <sub>2</sub> O	B	3,40	147	0,438	2742,7	6,874	9225,8	2782,3
13	K-5	H <sub>2</sub> O	S	46,15	178	3,95	754,4	2,1201	33457,8	7432,7
14	K-5	H <sub>2</sub> O	S	43,33	148	0,45	624,2	1,821	25815,2	4966,4
15	K-5	H <sub>2</sub> O	B	2,82	148	0,45	2744,3	6,857	7642,5	2321,4
16	K-6	H <sub>2</sub> O	S	43,65	181	3,65	767,65	2,1492	32222,1	7252,4
17	K-6	H <sub>2</sub> O	S	40,59	147	0,438	619,2	1,81	23932,2	4574,2
18	K-6	H <sub>2</sub> O	B	3,06	147	0,438	2742,7	6,874	8289,8	2500,0
19	K-7	H <sub>2</sub> O	S	44,48	226	3,76	971,45	2,5731	41902,8	11176,6
20	K-7	H <sub>2</sub> O	S	37,10	147	0,438	619,2	1,81	21868,6	4180,4
21	K-7	H <sub>2</sub> O	B	7,38	147	0,438	2742,7	6,874	20034,2	6041,8
22	K-8	H <sub>2</sub> O	S	40,59	200	3,55	852,45	2,3309	33406,4	8121,2
23	K-8	H <sub>2</sub> O	S	36,27	149	0,4637	627,886	1,8315	21666,6	4183,4
24	K-8	H <sub>2</sub> O	B	4,32	149	0,4637	2745,26	6,8469	11739,7	3580,9
25	AS	H <sub>2</sub> O	B	47,3	147	0,35	2742,8	6,8651	128208,6	38785,7
26	AS	H <sub>2</sub> O	S	0,45	147	0,35	619,25	1,8111	265,4	50,6
27	AS	H <sub>2</sub> O	B	46,8	147	0,35	2742,8	6,8651	127943,2	38416,3
28	Y	H <sub>2</sub> O	K	46,8	51	0,008	2380,3	7,3426	110022,6	15194,2
29	Y	H <sub>2</sub> O	S	2369,4	44	0,007	184,274	0,6254	366989,0	22396,0
30	Y	H <sub>2</sub> O	S	2341,4	30	0,004	125,79	0,4369	225709,3	8775,5
0					27	0,1	214,3	4,86		
31	ABK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	36	0,01	220	4,88	130,8	-509,6
32	S	CO <sub>2</sub>	G	4,36	104	0,014	281	5,06	396,76	-375,1
33	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	42	0,015	224	4,86	148,24	-411,7
34	S	CO <sub>2</sub>	G	4,36	154	0,05	329	5,16	606,04	-7,9
35	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	41	0,039	222	4,85	139,52	-188,6
36	YBK	CO <sub>2</sub>	G	4,36	140	0,101	310	5,14	523,2	125,4

Hesaplanan değerler dış ortam şartlarının 27 °C sıcaklığında ve 0,1 MPa basınç değerinde olmasıyla elde edildi. Atmosfer şartlarının değişmesiyle santralin ikinci veriminde nasıl bir değişim olduğunu görmek için hesaplar 7 °C ve 20 °C için yapıldı. Çizelge 5.8 ve Çizelge 5.9’da elde edilen değerler neticesinde santralin ikinci verimleri aşağıda karşılaştırılmıştır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{J}_g} = \frac{16476,06}{50500,8} = 0,32 \quad \%32 \quad \longrightarrow \quad (27 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{J}_g} = \frac{16476,06}{64582,9} = 0,25 \quad \% 25 \quad \longrightarrow \quad (7 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{J}_g} = \frac{16476,06}{55212,2} = 0,298 \quad \% 29,8 \quad \longrightarrow \quad (20 \text{ }^\circ\text{C için})$$

Elde edilen net güç sabit kalmak şartıyla dış ortam sıcaklığı arttığında ekserji girişinin azalması nedeniyle ikinci verim artmakta, dış ortam sıcaklığı azaldığında ise ekserji girişinin artmasından dolayı ikinci verim azalmaktadır.

## 7.2 Denizli Bereket Enerji Jeotermal Santrali (Binary Santrali)



Şekil 7.5 Denizli Bereket Enerji Jeotermal Santrali

Bereket Enerji Santrali jeotermal suyunu Kızıldere Jeotermal Enerji Santralinden sağlamaktadır. Oradan aldığı su ile çevrimi başlatmaktadır. Alınan su Buharlaştırıcı'ya basılarak i-pentan'ı ısıtır, sonra düşük basınçlı birinci kısımdan ikinci kısma geçerek çevrime devam eder ve sonra ön ısıtıcılardan geçer. Ama ön ısıtıcılar belirli bir sıcaklığın üstünde devreden çıkarılır. Sonra ısınan i-pentan türbinleri döndürür ve Yoğuşturucu'ya gider. Orada soğutucu akışkan sayesinde soğutularak ön ısıtıcıya gönderilir. Ön ısıtıcıdan çıkan i-pentan tekrar

Buharlaştırıcı'ya girer. Ve çevrim tekrardan başlar. Türbinin dönmesi ile üretilen güç de jeneratörde toplanır.

Hesap yapılırken dış ortam sıcaklığı 27 °C ve basıncı ise 0,1 MPa olarak alınmıştır. Enerji ve ekserji değerleri hesaplanırken jeotermal akışkan ve i-Pentan için kullanılan fiziksel ekserji formülü şu şekildedir.

$$J_{fiz} = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (7.2)$$

Santralin enerji ve ekserji analizi değerleri Tablo 7.5'de gösterilmiştir.

Tablo 7.6 Santrale ait hesaplanan 27 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri

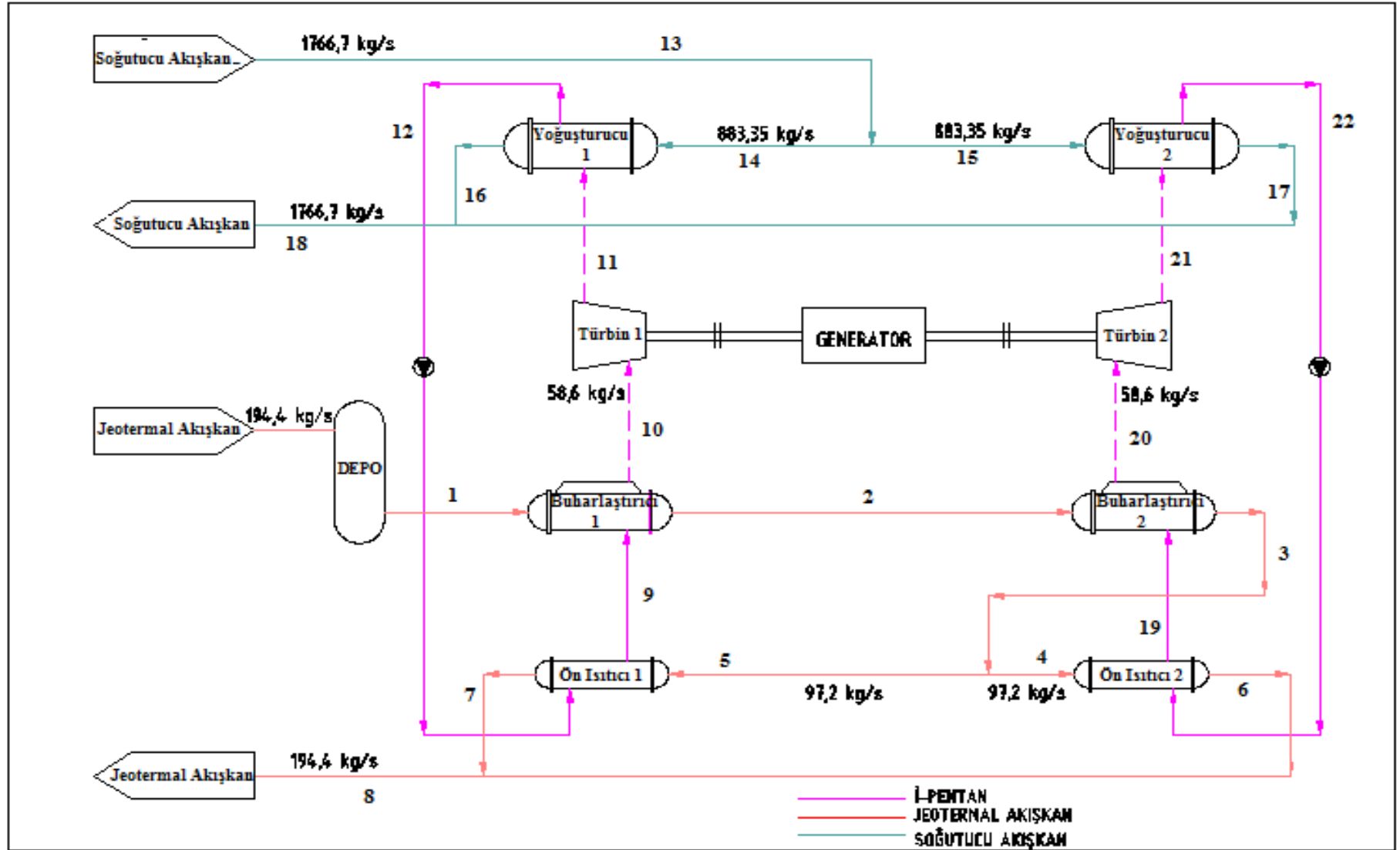
No	İçerik	Debi	Sıcaklık	Basınç	Entalpi	Entropi	Enerji Akımı	Ekserji Akımı
		$\dot{m}$	$T$	$P$	$h$	$s$	$\dot{E}$	$\dot{J}$
		kg/s	°C	MPa	kJ/kg	kJ/kgK	kW	kW
0	H2O		27	0,1	113,25	0,3952	0	0
0	i-PENTAN		27	0,1	105,6	0,3543	0	0
1	H2O	194,4	144	0,404	607,3	1,7700	96049,15	15870,82
2	H2O	194,4	101	0,782	424,8	1,3520	60561,43	4760,86
3	H2O	194,4	83	0,398	347,5	1,1107	45538,20	3810,24
4	H2O	97,2	83	0,398	347,5	1,1107	22769,10	1905,12
5	H2O	97,2	83	0,398	347,5	1,1107	22769,10	1905,12
6	H2O	97,2	76	0,32	315,2	1,0176	19625,65	1476,47
7	H2O	97,2	76	0,32	315,2	1,0176	19625,65	1476,47
8	H2O	194,4	76	0,32	315,2	1,0176	39251,30	2952,94
10	i-PENTAN	58,6	124	1,175	611,9	1,6411	29670,94	7048,99
	i-PENTAN	58,6	94	0,6351	554,8	1,5600	26323,12	5126,91
11	i-PENTAN	58,6	94	0,6351	554,8	1,5600	26323,12	5126,91
	i-PENTAN	58,6	43	0,168	159,1	0,4860	3132,17	816,88
12	i-PENTAN	58,6	43	0,168	159,1	0,4860	3132,17	816,88
	i-PENTAN	58,6	124	1,175	611,9	1,6411	29670,94	7048,99
13	H2O	1766,7	22	2,671	92,3	0,3249	36959,36	300,34
14	H2O	883,35	22	2,671	92,3	0,3249	18479,68	150,17
15	H2O	883,35	22	2,671	92,3	0,3249	18479,68	150,17
16	H2O	883,35	34	5,62	142,5	0,4916	25837,99	291,51
17	H2O	883,35	36	5,98	150,8	0,5187	33169,79	441,67
18	H2O	1766,7	35	5,62	146,7	0,5053	59060,78	706,68
20	i-PENTAN	58,6	87	0,544	541,0	1,5400	25514,44	4669,83
	i-PENTAN	58,6	68	0,338	504,2	1,4900	23359,13	3393,53
21	i-PENTAN	58,6	68	0,338	504,2	1,4900	23359,13	3393,53
	i-PENTAN	58,6	50	0,2062	176,8	0,5050	4171,15	1521,84
22	i-PENTAN	58,6	50	0,2062	176,8	0,5050	4171,15	1521,84
	i-PENTAN	58,6	87	0,544	541,0	1,5400	25514,44	4669,83

Kızıldere jeotermal santralinde belli çevre sıcaklıklarında ön ısıtıcılar i-Pentan için devreye alınmaz geçiş vanaları kapatılır bundan dolayı 27 °C’de i-Pentan için yoğunlaştırıcıdan direkt olarak buharlaştırıcıya geçerek çevrimine devam eder. Ön ısıtıcılardan sadece jeotermal akışkan geçer.

Kızıldere jeotermal santralinden çıkan su direkt Bereket enerji santraline gelmemekte, çeşitli konutların ısıtma ihtiyacını karşılamaktadır. Bu nedenle santrale gelen jeotermal akışkanda debi de, sıcaklıkta ve diğer değerlerde kayıplar oluşmaktadır. Bereket Enerji Jeotermal Santrali sürekli bir çalışmaya sahip değildir.

Suyun gelme devamlılığına bağlıdır ve buna göre devreye alınır. Suyun kesildiği zamanlarda Bereket Enerji Jeotermal Santrali devreye alınamamakta ve sürekli bir üretim söz konusu olamamaktadır.

Sistem Şeması Şekil 7.6'da görüldüğü gibidir.



Şekil 7.6 Denizli Bereket Enerji Jeotermal Santrali Sistem Şeması

## 7.2.1 Santralin enerji ve ekserji analizi

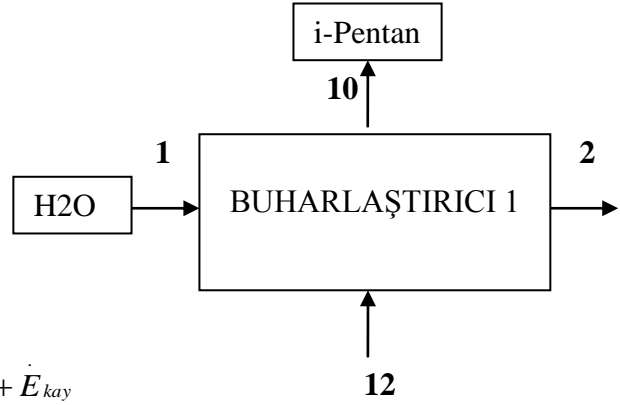
### Buharlaştırıcı 1

1) Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$$

$$194,4 = 194,4 \text{ kg/s}$$

$$58,6 = 58,6 \text{ kg/s}$$



2) Enerji Dengesi

$$\dot{E}_{gH2O} + \dot{E}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{E}_{\zeta H2O} + \dot{E}_{\zeta_{i\_PENTAN}} + \dot{E}_{kay}$$

$$96049,15 + 3132,17 = 60561,43 + 29670,94 + \dot{E}_{kay}$$

$$\dot{E}_{kay} = 8948,95 \text{ kW}$$

3) Ekserji dengesi

$$\dot{J}_{gH2O} + \dot{J}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{J}_{\zeta H2O} + \dot{J}_{\zeta_{i\_PENTAN}} + \dot{J}_{kay}$$

$$15870,82 + 816,88 = 4760,86 + 7048,99 + \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 4877,85 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{60561,43 + 29670,94}{96049,15 + 3132,17} = 0,90 \quad (\% 90)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{4760,856 + 7048,99}{15870,82 + 816,88} = 0,70 \quad (\% 70)$$



## Ön ısıtıcı 1

1) Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$$

$$97,5 = 97,5 \text{ kg/s}$$



2) Enerji dengesi

$$\dot{E}_{gH_2O} = \dot{E}_{\zeta H_2O} + \dot{E}_{kay}$$

$$22769,1 = 19625,65 + \dot{E}_{kay}$$

$$\dot{E}_{kay} = 3143,45 \text{ kW}$$

3) Ekserji dengesi

$$\dot{J}_{gH_2O} = \dot{J}_{\zeta H_2O} + \dot{J}_{kay}$$

$$1905,12 = 1476,47 + \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 428,65 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{19625,65}{22769,1} = 0,86 \text{ (% 86)}$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{1476,47}{1905,12} = 0,77 \text{ (% 77)}$$

## Türbin 1

1)Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$$

$$58,6 = 58,6 \text{ kg/s}$$

2)Enerji dengesi

$$\dot{E}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{E}_{\zeta_{i\_PENTAN}} + \dot{W}$$

$$29670,94 = 26323,12 + \dot{W}$$

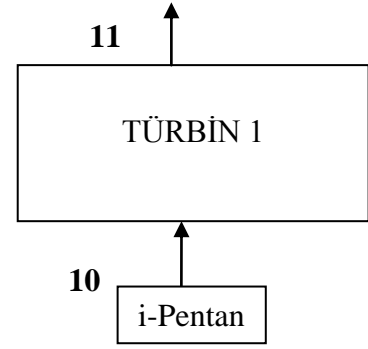
$$\dot{W} = 3347,82 \text{ kW}$$

3)Ekserji dengesi

$$\dot{J}_{g_{i\_PENTAN}} - \dot{J}_{\zeta_{i\_PENTAN}} = \dot{J}_{kay} + \dot{W}$$

$$7048,99 - 5126,914 = \dot{J}_{kay} + 3347,82$$

$$\dot{J}_{kay} = (-) 1425,74 \text{ kW}$$



\* $\eta_t$  = Türbin verimi %100 kabul edilerek işlemler yapılmıştır.

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\dot{J}_{kay}}{\dot{J}_g} = 1 - \frac{1425,74}{7519,552} = 0,83 \quad (\%80)$$

## Yoğuşturucu 1

### 1) Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$$

$$883,35 = 883,35 \text{ kg/s}$$

$$58,6 = 58,6 \text{ kg/s}$$

### 2) Enerji dengesi

$$\dot{E}_{gH_2O} + \dot{E}_{g_i\_PENTAN} = \dot{E}_{\zeta H_2O} + \dot{E}_{\zeta_i\_PENTAN} + \dot{E}_{kay}$$

$$18479,68 + 26323,12 = 25837,99 + 3132,17 + \dot{E}_{kay}$$

$$\dot{E}_{kay} = 15832,64 \text{ kW}$$

### 2) Ekserji dengesi

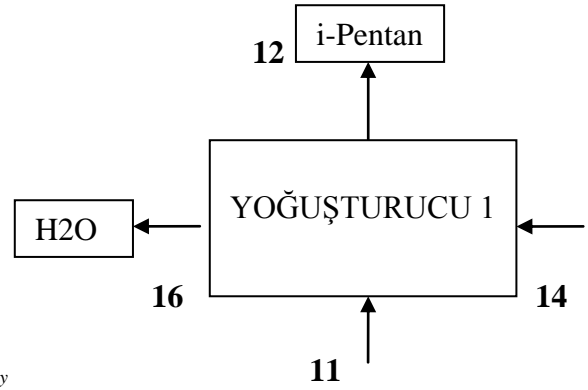
$$\dot{J}_{gH_2O} + \dot{J}_{g_i\_PENTAN} = \dot{J}_{\zeta H_2O} + \dot{J}_{\zeta_i\_PENTAN} + \dot{J}_{kay}$$

$$150,17 + 5126,914 = 291,50 + 816,88 + \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 4033,7 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{25837,99 + 3132,17}{18479,68 + 26323,12} = 0,65 \quad (\% 65)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{291,5 + 816,88}{150,17 + 5126,914} = 0,21 \quad (\% 21)$$



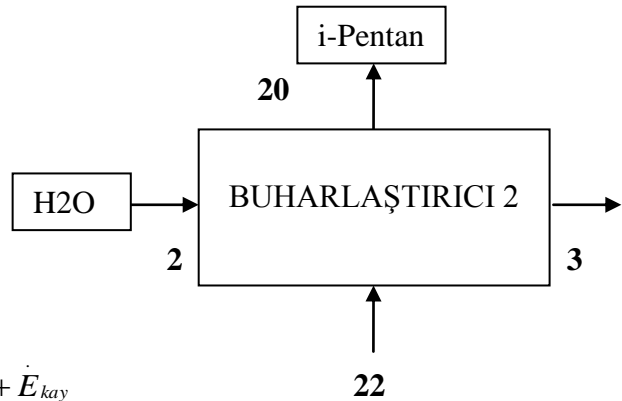
## Buharlaştırıcı 2

### 1) Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_ç$$

$$194,4 = 194,4 \text{ kg/s}$$

$$58,6 = 58,6 \text{ kg/s}$$



### 2) Enerji dengesi

$$\dot{E}_{gH2O} + \dot{E}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{E}_{çH2O} + \dot{E}_{ç_{i\_PENTAN}} + \dot{E}_{kay}$$

$$60561,43 + 4171,15 = 45538,20 + 25514,44 + \dot{E}_{kay}$$

$$\dot{E}_{kay} = (-) 6320,06 \text{ kW}$$

### 3) Ekserji dengesi

$$\dot{J}_{gH2O} + \dot{J}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{J}_{çH2O} + \dot{J}_{ç_{i\_PENTAN}} + \dot{J}_{kay}$$

$$4760,85 + 1521,84 = 3810,24 + 4669,83 + \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = (-) 2197,38 \text{ kW}$$

## Ön ısıtıcı 2

1) Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$$

$$97,2 = 97,2 \text{ kg/s}$$

2) Enerji dengesi

$$\dot{E}_{gH_2O} = \dot{E}_{\zeta H_2O} + \dot{E}_{kay}$$

$$22769,10 = 19625,65 + \dot{E}_{kay}$$

$$\dot{E}_{kay} = 3143,45 \text{ kW}$$

3) Ekserji dengesi

$$\dot{J}_{gH_2O} = \dot{J}_{\zeta H_2O} + \dot{J}_{kay}$$

$$1905,12 = 1476,47 + \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 428,65 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{19625,65}{22769,10} = 0,86 \quad (\% 86)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{1476,47}{1905,12} = 0,77 \quad (\% 77)$$



## Türbin 2

1) Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$$

$$58,6 = 58,6 \text{ kg/s}$$

2) Enerji dengesi

$$\dot{E}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{E}_{\zeta_{i\_PENTAN}} + \dot{W}$$

$$25514,44 = 23359,13 + \dot{W}$$

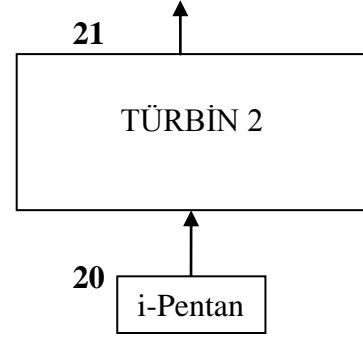
$$\dot{W} = 2155,31 \text{ kW}$$

3) Ekserji dengesi

$$\dot{J}_{g_{i\_PENTAN}} - \dot{J}_{\zeta_{i\_PENTAN}} = \dot{J}_{kay} + \dot{W}$$

$$4669,834 - 3393,52 = \dot{J}_{kay} + 2155,31$$

$$\dot{J}_{kay} = (-) 878,99 \text{ kW}$$



\*  $\eta_I =$  Türbin verimi %100 kabul edilerek işlemler yapılmıştır.

$$\eta_{II} = 1 - \frac{\dot{J}_{kay}}{\dot{J}_g} = 1 - \frac{878,99}{4669,83} = 0,81 \quad (\% 81)$$

## Yoğusturucu 2

### 1) Kütle dengesi

$$\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$$

$$58,6 = 58,6 \text{ kg/s}$$

$$883,35 = 883,35 \text{ kg/s}$$

### 2) Enerji dengesi

$$\dot{E}_{gH_2O} + \dot{E}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{E}_{\zeta H_2O} + \dot{E}_{\zeta_{i\_PENTAN}} + \dot{E}_{kay}$$

$$18479,68 + 23359,13 = 4171,15 + 33169,79 + \dot{E}_{kay}$$

$$\dot{E}_{kay} = 4497,87 \text{ kW}$$

### 3) Ekserji dengesi

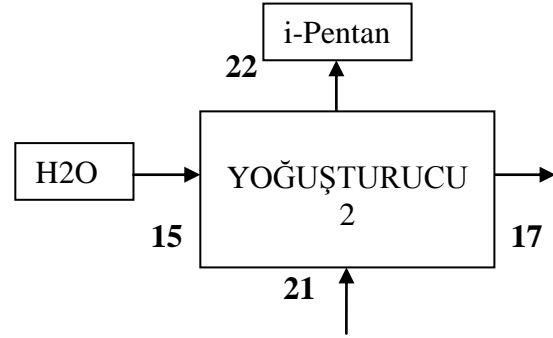
$$\dot{J}_{gH_2O} + \dot{J}_{g_{i\_PENTAN}} = \dot{J}_{\zeta H_2O} + \dot{J}_{\zeta_{i\_PENTAN}} + \dot{J}_{kay}$$

$$150,16 + 3393,52 = 441,675 + 1521,84 + \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 1580,16 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{4171,15 + 33169,79}{18479,68 + 23359,13} = 0,89 \quad (\%89)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{441,675 + 1521,84}{150,16 + 3393,52} = 0,55 \quad (\%27)$$



## Güç Santrali

1)Kütle dengesi;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta$$

$$2078,3 = 2078,3 \text{ (kg/s)}$$

2)Enerji dengesi;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta$$

$$96049,15 = 5503,13 + 90546,02 \text{ (kW)}$$

3)Ekserji dengesi;

$$\dot{J}_g - \dot{J}_\zeta = \dot{J}_{kay}$$

$$15870,816 - 5503,13 = \dot{J}_{kay}$$

$$\dot{J}_{kay} = 10367,68 \text{ kW}$$

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{5503,13}{96049,15} = 0,057 \quad (\% 5,7)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{5503,13}{15870,816} = 0,34 \quad (\% 34)$$

Bereket Enerji Jeotermal Santrali sonuçlarını incelediğimizde Zorlu Jeotermal Enerji'den gelen suyun direk gelmemesinden dolayı kayıpların çok fazla olduğunu görmekteyiz. Bereket Enerji Santrali'nin ekserji kayıpları 1. ve 2. sistem için incelendiğinde kayıpların 15832,64 kW ile en başta yoğusturucu 1'de olduğu görülmüştür.



Tablo 7.7 Santrale ait hesaplanan 15 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri

No	İçerik	Debi	Sıcaklık	Basınç	Entalpi	Entropi	Enerji Akımı	Ekserji Akımı
		$\dot{m}$	$T$	$P$	$h$	$s$	$\dot{E}$	$\dot{J}$
		kg/s	°C	MPa	kJ/kg	kJ/kgK	kW	kW
0	H2O		15	0,1	62,99	0,2245	0	0
0	i-PENTAN		15	0,1	399,05	1,39	0	0
1	H2O	194,4	144	0,404	607,33	1,77	105819,7	19291,48
2	H2O	194,4	101	0,782	424,78	1,352	70331,98	7206,408
3	H2O	194,4	83	0,398	347,5	1,1107	55308,74	5692,887
4	H2O	97,2	83	0,398	347,5	1,1107	27654,37	2846,444
5	H2O	97,2	83	0,398	347,5	1,1107	27654,37	2846,444
6	H2O	97,2	76	0,32	315,16	1,0176	24510,92	2309,2
7	H2O	97,2	76	0,32	315,16	1,0176	24510,92	2309,2
8	H2O	194,4	76	0,32	315,16	1,0176	49021,85	4618,4
9	i-PENTAN	58,6	40	0,137	40,12	0,139	3837,13	52,15
	i-PENTAN	58,6	124	1,175	611,93	1,6411	13128,16	7963,03
10	i-PENTAN	58,6	124	1,175	611,93	1,6411	12474,77	8237,004
	i-PENTAN	58,6	94	0,6351	554,8	1,56	9126,95	6257,894
11	i-PENTAN	58,6	94	0,6351	554,8	1,56	9126,95	6257,894
	i-PENTAN	58,6	43	0,168	159,05	0,486	14064	1192,627
12	i-PENTAN	58,6	43	0,168	159,05	0,486	14064	1192,627
	i-PENTAN	58,6	40	0,137	40,12	0,139	3837,13	52,15
13	H2O	1766,7	22	2,671	92,33	0,3249	51835	750,4942
14	H2O	883,35	22	2,671	92,33	0,3249	25917,5	375,2471
15	H2O	883,35	22	2,671	92,33	0,3249	25917,5	375,2471
16	H2O	883,35	34	5,62	142,5	0,4916	70235,16	2283,636
17	H2O	883,35	36	5,98	150,8	0,5187	77566,96	2721,071
18	H2O	1766,7	35	5,62	146,68	0,5053	147855,1	4981,387
19	i-PENTAN	58,6	40	0,137	40,12	0,139	3837,13	52,15
	i-PENTAN	58,6	87	0,544	541	1,54	8971,66	10462,46
20	i-PENTAN	58,6	87	0,544	541	1,54	8318,27	5786,75
	i-PENTAN	58,6	68	0,338	504,22	1,49	6162,962	4475,282
21	i-PENTAN	58,6	68	0,338	504,22	1,49	6162,962	4475,282
	i-PENTAN	58,6	50	0,2062	176,78	0,505	13025	1910,946
22	i-PENTAN	58,6	50	0,2062	176,78	0,505	13025	1910,946
	i-PENTAN	58,6	40	0,137	40,12	0,139	3837,13	52,15

Tablo 7.8 Santrale ait hesaplanan 37 °C’de ki enerji ve ekserji değerleri

No	İçerik	Debi	Sıcaklık	Basınç	Entalpi	Entropi	Enerji Akımı	Ekserji Akımı
		$\dot{m}$	$T$	$P$	$h$	$s$	$\dot{E}$	$\dot{J}$
		kg/s	°C	MPa	kJ/kg	kJ/kgK	kW	kW
0	H2O		37	0,1	154,92	0,5321	0	0
0	i-PENTAN		37	0,1	25,99	0,085	0	0
1	H2O	194,4	144	0,404	607,33	1,77	87948,50	13347,70
2	H2O	194,4	101	0,782	424,78	1,352	52460,78	3050,33
3	H2O	194,4	83	0,398	347,50	1,1107	37437,55	2568,80
4	H2O	97,2	83	0,398	347,50	1,1107	18718,78	1284,40
5	H2O	97,2	83	0,398	347,50	1,1107	18718,78	1284,40
6	H2O	97,2	76	0,32	315,16	1,0176	15575,33	946,24
7	H2O	97,2	76	0,32	315,16	1,0176	15575,33	946,24
8	H2O	194,4	76	0,32	315,16	1,0176	31150,66	1892,48
10	i-PENTAN	58,6	124	1,18	611,93	1,6411	34336,08	6067,97
	i-PENTAN	58,6	94	0,635	554,80	1,56	30988,27	4193,42
11	i-PENTAN	58,6	94	0,635	554,80	1,56	30988,27	4193,42
	i-PENTAN	58,6	43	0,168	159,05	0,486	7797,32	512,75
12	i-PENTAN	58,6	43	0,168	159,05	0,486	7797,32	512,75
	i-PENTAN	58,6	124	1,18	611,93	1,6411	34336,08	6067,97
13	H2O	1766,7	22	2,671	92,33	0,3249	110577,75	2900,92
14	H2O	883,35	22	2,671	92,33	0,3249	55288,88	1450,46
15	H2O	883,35	22	2,671	92,33	0,3249	55288,88	1450,46
16	H2O	883,35	34	5,62	142,50	0,4916	10971,21	119,25
17	H2O	883,35	36	5,98	150,80	0,5187	3639,40	30,03
18	H2O	1766,7	35	5,62	146,68	0,5053	14557,61	120,14
20	i-PENTAN	58,6	87	0,544	541,00	1,54	30179,59	3748,06
	i-PENTAN	58,6	68	0,338	504,22	1,49	28024,28	2501,05
21	i-PENTAN	58,6	68	0,338	504,22	1,49	28024,28	2501,05
	i-PENTAN	58,6	50	0,2062	176,78	0,5050	8836,29	1206,57
22	i-PENTAN	58,6	50	0,2062	176,78	0,5050	8836,29	1206,57
	i-PENTAN	58,6	87	0,544	541,00	1,54	30179,59	3748,06

Hesaplanan değerler dış ortam şartlarının 27 °C sıcaklığında ve 0,1 MPa basınç değerinde olmasıyla elde edildi. Atmosfer şartlarının değişmesiyle santralin ikinci veriminde nasıl bir değişim olduğunu görmek için hesaplar 15 °C ve 37 °C için yapıldı. Çizelge 7.8 ve izelge 7.9’da elde edilen değerler neticesinde santralin ikinci verimleri aşağıda karşılaştırılmıştır.

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{J}_g} = \frac{5503,13}{15870,82} = 0,34 \quad \%34 \quad \longrightarrow \quad (27 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{J}_g} = \frac{5503,13}{19291,48} = 0,28 \quad \% 28 \quad \longrightarrow \quad (15 \text{ }^\circ\text{C için})$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{J}_g} = \frac{5503,13}{13347,7} = 0,41 \quad \% 41 \quad \longrightarrow \quad (37 \text{ }^\circ\text{C için})$$

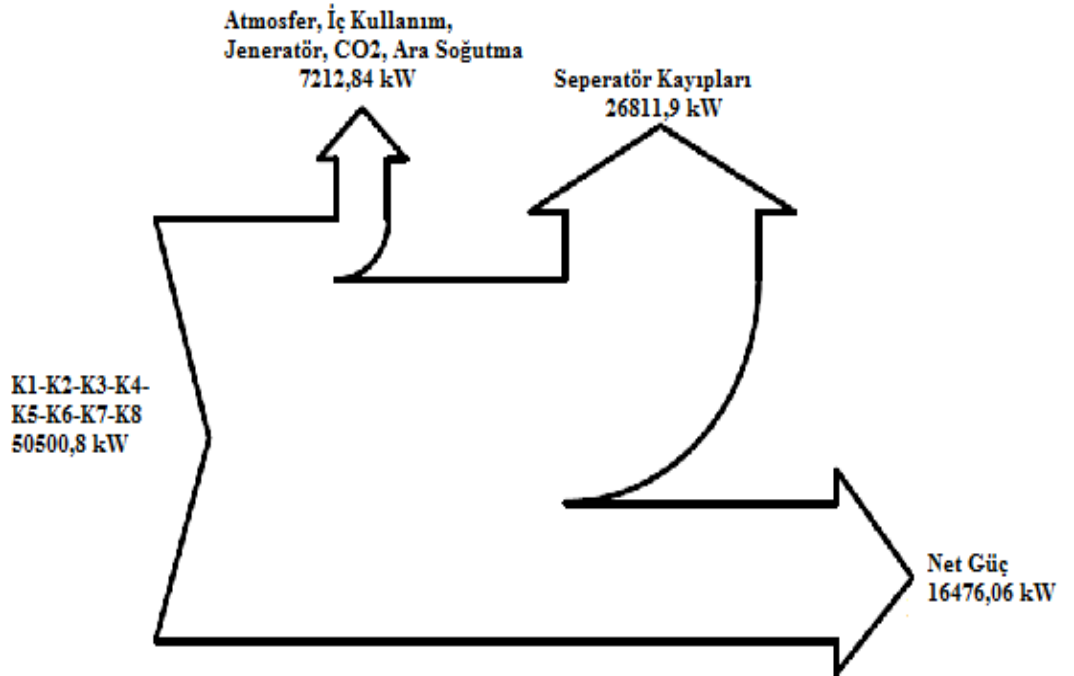
Bu sistemde de gördüğümüz gibi elde edilen net g sabit kalmak şartıyla dış ortam sıcaklığı arttığında ekserji girişinin azalması nedeniyle ikinci verim artmakta, dış ortam sıcaklığı azaldığında ise ekserji girişinin artmasından dolayı ikinci verim azalmaktadır.

## 8. ZORLU JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ'NİN VE BEREKET ENERJİ SANTRALİ'NİN BİRLİKTE KULLANIMININ ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Yapılan işlemler doğrultusunda Zorlu Jeotermal Enerji Santrali' nin birinci ve ikinci verimleri:

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\varphi}{\dot{E}_g} = \frac{16476,06}{246303,4} = 0,066 \quad (\% 6,6)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\varphi}{\dot{J}_g} = \frac{16476,06}{50500,8} = 0,32 \quad (\% 32)$$

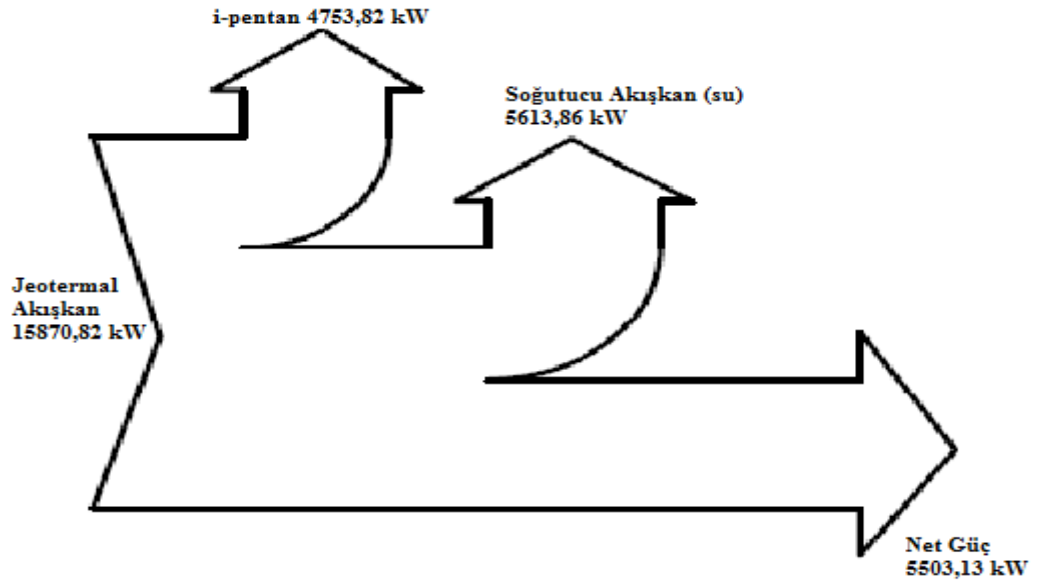


Şekil 8.1 Zorlu Enerji Jeotermal Santrali Ekserji Akış Diyagramı

Bereket Enerji'nin birinci ve ikinci verimleri:

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{5503,13}{96049,15} = 0,057 \quad (\% 5,7)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{5503,13}{15870,816} = 0,34 \quad (\% 34) \text{ çıkmıştır.}$$



Şekil 8.2 Bereket Enerji Jeotermal Santrali Ekserji Akış Diyagramı

Bu hesaplamalardan yola çıkarak sistemlerin birleşik şekilde enerji ve ekserji analizi yapıldığında;

$$\dot{E}_\zeta = 16476,06 + 5503,13$$

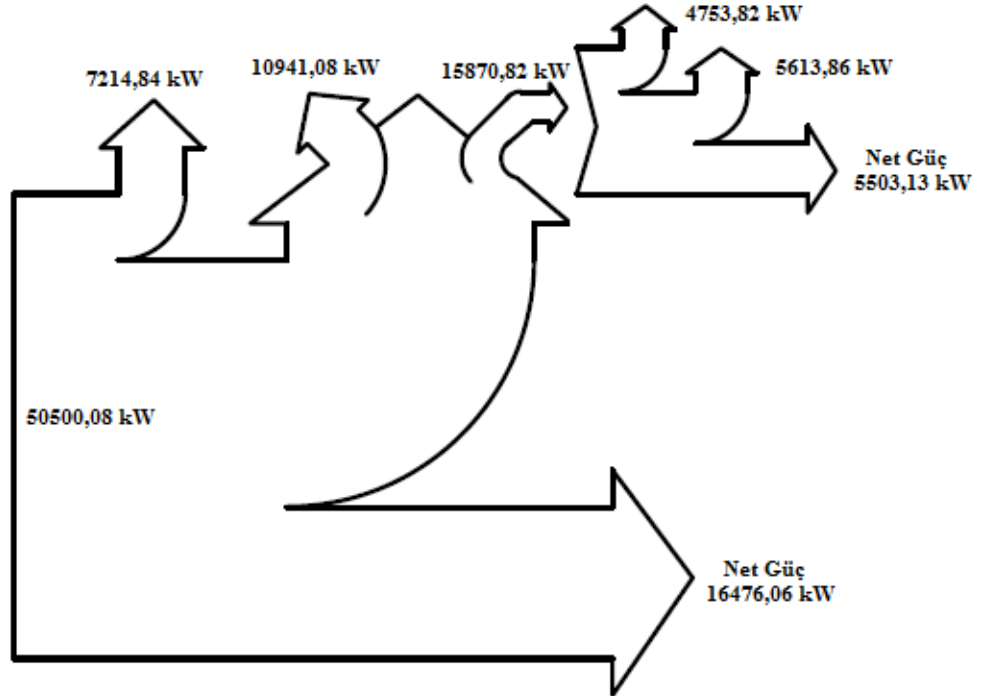
$$\dot{E}_\zeta = 21979,19 \text{ kW}$$

Olduğu hesaplanmış, Zorlu Jeotermal Enerji için kayıp olarak görülen 5503,13 kW'ın sistemler birleştirildiğinde kazanç olarak geri döndüğü görülmüştür. Bu doğrultuda verim hesaplamalarını tekrar yaparsak;

$$\eta_I = \frac{\dot{E}_\zeta}{\dot{E}_g} = \frac{21979,19}{246303,4} = 0,089 \quad (\% 8,9)$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{J}_\zeta}{\dot{J}_g} = \frac{21979,19}{50500,8} = 0,43 \quad (\% 43)$$

Sonucuna ulaşılır.



Şekil 8.3 Zorlu ve Bereket Enerji Jeotermal Santralinin Birlikte Kullanımının Ekserji Akış Diyagramı

## 9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Her geçen gün artan enerji tüketimi gelişmişliğin ölçütlerinden biri olarak kabul edilmektedir. Gelişmişlik sınırında yer alan ülkemizdeki yaşam biçimi, artan enerji tüketimi yönünde gelişme göstermektedir. Bu bağlamda yenilenebilir enerji kaynakları ve yeraltı kaynakları yönünden zengin olan Türkiye, enerji kaynaklarını en ekonomik ve maksimum yararlanmayı sağlayacak biçimde değerlendirmek ve enerji kaynaklarını kullanmak zorundadır.

Alternatif enerji kaynaklarından olan jeotermal enerji; fosil enerji kaynakları ile yarışacak düzeyde potansiyele sahip olmamakla birlikte yenilenebilir, uygun teknolojilerin kullanılması halinde kirletici etkisi olmayan, sürdürülebilir, yerli ve çevre dostu özellikleri ile öne çıkan bir enerji türüdür. Bu enerjinin elektrik enerjisine dönüştürülmesi (dolaylı kullanım) veya ısı enerjisi şeklinde doğrudan kullanımı ya da endüstri, sağlık ve turizm, seracılık alanlarında yararlanılması amaçlı çok değişik teknolojiler söz konusudur. Üstelik bu yöntem ve teknolojilere her gün yenileri eklenmektedir.

Türkiye'nin jeotermal potansiyeline göre kurulu kapasitesi ve jeotermal saha sayısına göre açılan kuyu sayısı çok azdır. Türkiye'nin jeotermal potansiyeline göre jeotermal enerjinin yeteri kadar hızlı gelişmemesinin en önemli nedenlerinden biri jeotermal enerjiye yeteri kadar yatırım yapılmamasıdır.

Bu çalışmada yapılan araştırmalar sonucunda en basta genel olarak jeotermal enerji, flash buhar ve binary teknolojisi konusunda bilgi birikimi elde edilmiştir. Binary çevrim santralleri ve flash buhar donanımları tanımlanmış, termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre ekserji ve enerji hesaplama denklemleri verilmiştir. Denizli Zorlu Flash Buhar Çevrimli Jeotermal Santrali ve Bereket Enerji Binary Çevrimli

Jeotermal Santrali tanıtılmış, santrallerin akış özellikleri ve donanımları hakkında bilgi verilmiştir. Ekserji analizinin amacı güç santralini tanımlamak ve ekserji kayıplarını hesaplamaktır. Böylece kayıpların nerelerde yoğunlaştığı saptanarak performans artırımı yapılabilmektedir.

Bir çok araştırmacı, sistemlerin termodinamik verimliliğinin ve kayıplarının belirlenmesinde ekserji analizinin en iyi yöntem olduğuna inanmaktadırlar. Ekserji analizi, jeotermal güç santrali gibi karmaşık sistemlerin optimum dizaynı için iyi bir araçtır. Yapılan bu çalışmada sistemin hem genel olarak ve hem de bileşenleri için ayrı ayrı ekserji analizi uygulanarak, ekserji kayıplarının nerelerde olduğu belirlendi.

Yapılan hesapların sonucu doğrultusunda elde edilen net güç sabit kalmak şartıyla dış ortam sıcaklığı arttığında ekserji girişinin azalması nedeniyle ikinci verim artmakta, dış ortam sıcaklığı azaldığında ise ekserji girişinin artmasından dolayı ikinci verimin azalmakta olduğu görüldü.

Sonuç olarak bir sistem için sadece enerji analizi yapmanın yetersiz olduğunu sistemde yapılabilecek iyileştirmelere yol göstermek için, ekserji analizinde enerji analizi ile birlikte kullanımının vazgeçilmez bir unsur olduğuna dikkat çekilmelidir.

Ayrıca temiz, sürdürülebilir ve endüstriyel tasarımlara adapte edilebilen jeotermal enerjiyi kullanmayı yaygınlaştırmalıyız. Çünkü kendi ulusal kaynaklarını teknolojik olarak daha fazla kullanabilen ülkeler gelecekte daha etkin konumda olacaktır.



## KAYNAKLAR

- Aksoy, N., 1997** “Kızıldere (Denizli) Jeotermal Enerji Sahasının reenjeksiyon olanakları”. İstanbul Üniversitesi, Hidrojeoloji Yüksek Lisans Tezi 1997
- Arslan, E., 2006** “Jeotermal Enerjiden Yararlanılarak Kuyu İçi Eşanjörü Yardımıyla Konut Isıtılması ve Sıcak Su İhtiyacının Karşlanması”. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- Atalay, Ö., 2004** “Jeotermal Sistemlerin Ekserji Analizi: Kızıldere Örneği” Pamukkale Üniversitesi, Denizli
- Badruk, M., 1998** “Jeotermal Enerji Uygulamalarında Çevre Sorunları” MTA Ege Bölge Müdürlüğü
- Balat, H., 2010** “A renewable perspective for sustainable energy development in Turkey: The case of small hydropower plants”. Renewable & Sustainable Energy Reviews. Vol 11. pp.2152 2165.7.
- Barbier, E., 2002** “Geothermal Energy Technology and Current Status: An Overview Renewable and Sustainable Energy Reviews, Pergamon” p:3-65.
- Başkır, H., 1993** “Türkiye’de Jeotermal Enerjinin Isıtma Amaçlı Kullanım Potansiyeli ve Afyon Şehrinin Hava Kirliliğinin Azaltılmasında Jeotermal Enerjiden Yararlanma İmkanları” Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Başol, K., 1985** “Doğal Kaynaklar Ekonomisi”. Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir
- BP., 2010** “British Petroleum”. BP Statistical Review of World Energy 2011
- Çetin, E., 2010** “Fotovoltaik-Rüzgâr-Yakıt Pili Hibrit Güç Sistemi İçin Bir Mikro Doğru Akım Dağıtım Şebekesi Tasarlanması, Uygulanması Ve Analizi”. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Ana Bilim Dalı, Doktora Tezi.
- Çomaklı, K., Karşlı, S., Çomaklı, Ö., Yılmaz, M., 2004** “Termal Sistemlerin Ekserjetik Analizi”. Termodinamik, Sayı 137, 2004.
- DiPippo, R., Marcille, D.F., 1984** “Exergy analysis of geothermal power plants, Geothermal Resource Council Transactions”
- DiPippo, R., 2004** “Second Law assessment of binary plants generating power form

low-temperature geothermal fluids, Geothermics”

- Dönmez, G. Özyurt, M., 2005** “Alternatif Enerji Kaynaklarının Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”. Yeksem 2005 III. Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu 19-21 Ekim 2005.
- Dur, F., 2005** “The Usage of Stochastic and Multicriteria Decision-Aid Methods Evaluating Geothermal Energy Exploitation Projects”. the Graduate School of Engineering and Science of Izmir Institute of Technology, Master Thesis, İzmir
- DPT, 1996** “Yedinci beş yıllık kalkınma planı özel ihtisas komisyonu raporu, Jeotermal Enerji, Ankara”.
- EİE., 2010** Elektrik İşleri Etüt İdaresi, <http://www.eie.gov.tr/>
- ETKB., 2010** “Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı 2009 Yılı Verileri”
- Etemoğlu, A.B., Can, M., Kılıç, M., 2004** “Ülkemiz Jeotermal Kaynaklarının İkinci Kanun Verim Değerlerine Bağlı Sınıflandırılması”. Uludağ Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt 9, Sayı 1, Bursa.
- EWEA., 2010** “European Wind Energy Association, Wind in Power 2009 European Statistics, 2010”. Avrupa Rüzgar Enerjisi Ajansı
- Görkem, L., 2010** “Hidrojen Enerjisi ve Geleceği”. Gazi Osmanpaşa Üniversitesi, Öğretim Görevlisi
- GWEC., 2009** “Global Wind Energy Council (GWEC), World Wind Numbers and Graphs for 2009, 2010” Global Rüzgar Enerjisi Konseyi
- Hekim, M., 2011** “Fotovoltaik-Rüzgar Türbini Hibrit Enerji Üretim Sistemlerinin Ulusal elektrik Şebekesine Etkilerinin incelenmesi”. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Hocaoğlu D., 2003** “Termodinamik’in İkinci Kanunu ve Entropi Ders Notu”. 2007.
- IEA., 2008** “International Energy Agency 2009 Global Renewable Energy Policies and Measures”. Uluslararası Enerji Ajansı.
- IEA., 2009** “International Energy Agency World Energy Outlook 2010” Uluslararası Enerji Ajansı.
- IEA., 2010** “Güneş pili ve Yoğun toplaç Teknolojileri Yol Haritaları” Uluslararası Enerji Ajansı.
- IHA., 2010** “Uluslararası Hidroenerji Birliği Yıllık Faaliyet Raporu 2010”.
- İnce, U., 2005** “A Case Study of Material Testing For Corrosion In Low

Temperature Geothermal Systems”. the Graduate School of Engineering and Science of Izmir Institute of Technology, Master Thesis, İzmir

**Kanoğlu, M., 2000a** “Jeotermal Elektrik Üretiminde Kullanılan Termodinamik Çevrimler” Gaziantep Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü.

**Kanoğlu, M., 2000b** “Bir İkili Jeotermal Güç Santralinin Ekserji Analizi” III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul, 15-17 Kasım, 2000.

**Karadağ, Ç. ve Diğ., 2009** “Çevre Dostu ve Temiz: Yenilenebilir Enerji Kaynakları” TÜBİTAK Bilim ve Teknik Dergisi Mayıs-2009.

**Karabulut, Y., 2000** “Türkiye Enerji Kaynakları” A.Ü Basımevi, Ankara

**Kaymakçıoğlu, F., Çirkin, T. 2005** “Jeotermal Enerjinin Değerlendirilmesi ve Elektrik Üretimi” (EİE)

**Kemal, M., 1991** “Linyit Kömürü Değerlendirilmesi ve Kullanımında Kömür Özelliklerinin Etkileri” Önal, G., Ateşok, G. Kömür Teknolojisi ve Kullanımı Semineri, TMGV, 270-282s.

**Kılıç, A.M., 2008** “Mersin Yöresi Enerji Kaynakları ve Ekonomik Önemi” Mersin Sempozyumu Bildiriler Kitabı, 19-22 Kasım

**Kotas, 1985**, Kotas, T.J., The Exergy Method of Thermal Plant Analysis, Tiptree, Essex: Anchor Brendon Ltd.

**Kömürcü, M., Akpınar, A., 2009** “Hydropower energy versus other energy sources in Turkey”. Part B, Kabul edildi.

**Kum, H., 2009** “Yenilenebilir Enerji Kaynakları: Dünya Piyasalarındaki Son Gelişmeler ve Politikalar”. Nevşehir Üniversitesi, İİFB, İktisat Bölümü Makalenin kabul tarihi: Kasım 2009

**Linenau, P.J., Lunis, B.C., 1991** “Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook” Geo-Heat Center Oregon Institute of Technology Klamath Falls, Oregon 97601, Published Inc., 1991.

**Lund, W.J., Freeston, H.D 2001** “World-Wide Direct Uses of Geothermal Energy”.

**Özdemir, A., 2008** Jeotermal Enerji Ve Elektrik Üretimi, Jeofizik Bülteni

**Safi, H., 2007** “Türkiye’de Enerji Kaynakları ve İthal Kömürün Yeri”. Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İktisat Teorisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi.

**Satman, A., 1981** “Reinjection; Reservoir Engineering Assessment of Geothermal Systems”. Edited by H.J. Ramey, Stanford University, 1981.

- Şahin, V., 1994** Enerji Sektöründe Geleceğe Bakış (Arz, Talep ve Politikalar), TÜSİAD Yayınları, Yayın No: TÜSİAD-T/94, 11-168, İstanbul 1994
- Şamilgil, E., 1992** “Jeotermal Enerji”. Yıldız Teknik Üniversitesi Yayını, İstanbul
- Şenaktaş, B., 2005** “Hidrojen Enerjisi, Üretimi Ve Uygulamaları”. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı
- TMMOB., 2009** Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği, Doğalgaz Kullanım Kılavuzu 2009
- Tuçcu, A., 2002** “Simav Yöresindeki Mevcut Jeotermal Enerji Kaynaklarından Elektrik Üretiminin İrdelenmesi”. DPÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Kütahya.
- Ulu, E., 2010** “Güneş-Hidrojen Hibrit Enerji Üretim Sisteminin Ekserji Analizi” Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Uçar, S., 2007** “Rüzgar Enerjisiyle Elektrik Üretimi ve Kayseri İli İçin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi”. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Ünal, Y., Serpen U., 2003** “Jeotermal Kaynakların Ekserji İle Sınıflandırılması ve Türkiye’deki Sahaların Konumu”. Termodinamik, Sayı 137, 2003.
- Uysal, A., 2006** “Ham Petrol Fraksiyonlarının Biyolojik Bozunma Sonrası Fizikokimyasal Özelliklerinin Değişimi” Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi 2006
- Yılcı, A., 2003** Jeotermal Enerji ve Uygulama Alanları, Seminer, PAÜ, Denizli
- Yolcu, D., 2003** Jeotermal Enerji Kullanımının Çevresel Sorunları, Diploma Çalışması, PAÜ, Denizli
- Wall, G., Gong, M., 2010** “On Exergy And Sustainable Development – Part 1: Conditions And Concepts, Exergy, an International Journal, Vol. 1(3), 128-145, 2001”
- WEC., 2010** “World Energy Council (Dünya Enerji Konseyi – Türk Milli Komitesi)”. Enerji Raporu 2010
- WSS., 2010** Dünya Şeker İstatistikleri
- WNA., 2009** Dünya Nükleer Birliği.
- Kemik,E., 2011** T.C. Güney Ege Kalkınma Ajansı TR32 Jeotermal Enerji Raporu 2011

<b>Url-1:</b>	<a href="http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9514e888b8f2aca_ek.pdf">http://www.mmo.org.tr/resimler/dosya_ekler/9514e888b8f2aca_ek.pdf</a>
<b>Url-2:</b>	<a href="http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/193-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/805-bolum-02-nukleer-enerjinin-temel-prensip.html">http://www.taek.gov.tr/bilgi-kosesi/nukleer-enerji-ve-reaktorler/193-gunumuzde-nukleer-enerji-rapor/805-bolum-02-nukleer-enerjinin-temel-prensip.html</a>
<b>Url-3:</b>	<a href="http://ae2project.com/yine-yeni-yeniden">http://ae2project.com/yine-yeni-yeniden</a>
<b>Url-4</b>	<a href="http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&amp;sf=webpages&amp;b=jeotermal&amp;bn=234&amp;hn=&amp;nm=384&amp;id=40697">http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&amp;sf=webpages&amp;b=jeotermal&amp;bn=234&amp;hn=&amp;nm=384&amp;id=40697</a>
<b>Url-5</b>	<a href="http://tr.wikipedia.org/wiki/Jeotermal_enerji">http://tr.wikipedia.org/wiki/Jeotermal_enerji</a>
<b>Url-6</b>	<a href="http://www.delinetciler.net/forum/kuresel-isinma-ve-cevre-sorunlari/149800-jeotermal-enerji-kaynaklari.html">http://www.delinetciler.net/forum/kuresel-isinma-ve-cevre-sorunlari/149800-jeotermal-enerji-kaynaklari.html</a>
<b>Url-7</b>	<a href="http://www.frmtr.com/cografya/2459786-jeotermal-enerji-kaynaklari-ve-kullanim-alanlari-santraller.html">http://www.frmtr.com/cografya/2459786-jeotermal-enerji-kaynaklari-ve-kullanim-alanlari-santraller.html</a>
<b>Url-8</b>	<a href="http://www.durmushocaoglu.com/data/yazipdf/DHocaoglu_652_DERS_NOTU_FIZIK_Termodinamigin_Iinci_Kanunu_ve_Entropi_Edisyon_2.pdf">http://www.durmushocaoglu.com/data/yazipdf/DHocaoglu_652_DERS_NOTU_FIZIK_Termodinamigin_Iinci_Kanunu_ve_Entropi_Edisyon_2.pdf</a>
<b>Url-9</b>	<a href="http://jeotermal.balikesir.edu.tr/jeotermal4.php">http://jeotermal.balikesir.edu.tr/jeotermal4.php</a>
<b>Url-10</b>	<a href="http://www.zoren.com.tr/tr/COMPANIES/companies18.asp">http://www.zoren.com.tr/tr/COMPANIES/companies18.asp</a>

## ÖZGEÇMİŞ



**Adı Soyadı** : Hatice Süren  
**Doğum Yeri ve Tarihi** : Denizli, 1984  
**Adres** : İstiklal Cad. Kenter Apt. 2/7 No:115 Denizli  
**Lisans Üniversite** : Mustafa Kemal Üniversitesi