

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**ENERJİ ÜRETİM SANTRALLERİ İÇİNDE
JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNİN YERİ VE
SEÇİM KRİTERLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

AYŞE UZUN

İSTANBUL, 2015

**T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ**

**ENERJİ ÜRETİM SANTRALLERİ İÇİNDE
JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNİN YERİ
VE SEÇİM KRİTERLERİ**

Yüksek Lisans Tezi

AYŞE UZUN

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR

İSTANBUL, 2015

T.C.
BAHÇEŞEHİR ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ

Tezin Adı: Enerji Üretim Santralleri İçinde Jeotermal Enerji Santrallerinin Yeri ve Seçim Kriterleri

Öğrencinin Adı Soyadı: Ayşe UZUN

Tez Savunma Tarihi:

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğu Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından onaylanmıştır.

Doç. Drı Nafız ARICA
Enstitü Müdürü
İmza

Bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak gerekli şartları yerine getirmiş olduğunu onaylım.

Prof Dr. Göksel DEMİR
Program Koordinatörü
İmza

Bu Tez tarafımızca okunmuş, nitelik ve içerik açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak yeterli görülmüş ve kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

İmzalar

Tez Danışmanı
Yrd. Doç Dr. Hüseyin ÖZDEMİR

Üye
Yrd. Doç Dr. Burak Barutçu

Üye
Prof. Dr. Göksel DEMİR

Aileme ...

TEŐEKKÜR

Bu çalışmada jeotermal projelerin, arama çalıőmalarından santralin devreye alınmasına kadar geçen süreçleri incelenmiştir. Bu tezde öncelikle, bilgi ve deneyimleri ile bana yol gösteren ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocalarım Yrd. Doç. Dr. Burak BARUTÇU'ya ve Yrd. Doç. Dr. Füsun S. TUT HAKLIDIR'a desteklerinden dolayı çok teŐekkür ederim.

Çalışma esnasında gerekli veri ve bilgileri edinmemi sağladıkları için baŐta yöneticilerim olmak üzere, deneyim ve tecrübelerini benimle paylaŐmaktan çekinmeyen Zorlu Enerji alıŐanları Ural HALAçOğLU, Gökhan ATLI, Aygün GÜNEY, Raziye ŞENGÜN'e teŐekkürlerimi sunarım.

Çalıőmamın her aşamasında desteklerini hep yanımda hissettiğim hocalarım Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ÖZDEMİR'e ve Prof Dr. Göksel DEMİR'e, yüksek lisans arkadaŐlarım Fidan ÖZTÜRK, Arzuhan CANBAZ'a ve sevgili kuzenim Harun Burak BENT'e teŐekkürlerimi bir borç bilirim.

Son olarak her zaman yardımını ve desteğini eksik etmeyen ve beni bugünlere getiren, yüzümden glmsenin eksik olmaması için her Őeyi yapmaya çalışan sevgili babam Fevzi UZUN'a, sevgili annem Emine UZUN'a, canım kardeŐim Őirin ULUTAŐ'a sonsuz teŐekkür ederim.

İstanbul, 2015

Ayşe UZUN

ÖZET

ÜRETİM SANTRALLERİNİN İÇİNDE JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNİN YERİ VE SEÇİM KRİTERLERİ

Ayşe UZUN

ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ

Tez Danışmanı: Yrd. Doç Dr. Hüseyin ÖZDEMİR

Mayıs 2015, 120 sayfa

Dünya gelişmeye, insan nüfusu da her geçen gün artmaya devam ettiği sürece, enerji ihtiyacı da artmaya devam edecektir. Enerji kaynaklarının giderek azalması, enerji fiyatlarında sürekli öngörülemeyen dalgalanmaların yaşanması enerji yönetimini gerekli hale getirmektedir. Bu kriterlere ek olarak bir de sera gazı gibi çevresel etkiler ve enerji ile ilgili yönetmeliklerin daha etkin ve bağlayıcı hale gelmesi ile enerjiyi verimli ve etkin kullanmak en önemli amaç haline gelmiştir. Enerji üretiminde yeni kaynaklara yönelimi sağlayan bu etkenler sonucu, yeşil enerji olarak tabir edilen çevre dostu enerji kaynakları gündeme gelmiştir.

Çevre dostu yenilenebilir enerji kaynakları tek başlarına ülkenin tüm elektrik ihtiyacını karşılayacak kadar üretimi sağlayamayacak olsa da, enerjide çeşitliliği sağlar ve fosil yakıtlarının kullanım oranlarını düşürerek hem çevre kirliliğini hem de dışa bağımlılığı azaltmak konusunda son derece etkin bir rol üstlenir.

Jeotermal enerji yenilenebilir enerji kaynakları arasında en çevre dostu olan enerji kaynağıdır. Kaynaklar nedeni ile spesifik jeolojik aktivitelerin olduğu yerler ile kısıtlıdır. Bu sebeple jeotermal potansiyelinin olduğu sahalarda jeotermal kaynakları en verimli şekilde kullanmak gerekmektedir.

Bu çalışma hem jeotermal enerjiyi hem de jeotermal enerji santrali projelerini daha detaylı anlatarak, bu enerji kaynağı hakkında daha fazla bilgi sahibi olunması ve bu enerji kaynaklarının daha etkin kullanılmasını sağlamayı amaçlamıştır.

Anahtar Kelimeler: Yenilenebilir Enerji, Jeotermal Enerji, Enerji Santralleri.

ABSTRACT

ÜRETİM SANTRALLERİNİN İÇİNDE JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNİN YERİ VE SEÇİM KRİTERLERİ

Ayşe UZUN

ENERJİ VE ÇEVRE YÖNETİMİ

Thesis Supervisor: Assist. Prof. Ph. D. Hüseyin ÖZDEMİR

May 2015, 120 pages

During the world development and increasing human population, energy demand will continue to increase. Progressive reduction of energy resources and consistently unpredictable fluctuations in energy prices makes energy management required. In addition to these criteria, environmental influences such as greenhouse gas and more effective energy regulations make the energy to be used efficiently become the most important purpose. As a result of these providing orientation to new sources of energy production factors, environmentally friendly energy known as green energy has become main topic.

Eco-friendly production of renewable energy sources cannot provide enough to cover the electricity needs of the country all alone, but allows for a variety of energy and takes an extremely active role in reducing dependence on foreign as well as environmental pollution for reducing the utilization of fossil fuels.

Geothermal energy is the most environmentally friendly source of energy among of the renewable energy sources. Geothermal areas are limited as a reason in that it consists specific geological activity. It is precisely for the most efficient way that in areas where have geothermal potential, must be used geothermal resources.

In this study, it will be aimed to both geothermal energy and geothermal power plant projects describing in greater detail, acquiring a more information about this energy source and more efficient use of these energy sources.

Keywords: Renewable Energy, Geothermal Energy, Power Plants.

İÇİNDEKİLER

TABLolar	xi
ŞEKİLLER	xii
KISALTMALAR	xiv
SEMBOLLER	xvi
1. GİRİŞ	1
2. JEOTERMAL ENERJİNİN KAYNAĞI	2
2.1 JEOTERMAL ENERJİNİN TARİHÇESİ	2
2.2 JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNİN TARİHÇESİ	3
2.3 JEOTERMAL ENERJİ VE JEOLojİK ORTAMLARI	4
2.4 DÜNYADAKİ POTANSİYEL	4
2.5 ÜLKEMİZDEKİ DURUM	5
3. JEOTERMAL SANTRALİ PROJE GELİŞİMİ	8
3.1 ARAMA ÇALIŞMALARINI VE TEKNİKLERİNİ	8
3.1.1 Arama Çalışmaları Hedefleri	8
3.1.2 Arama Çalışmaları Aşamaları	9
3.1.2.1 Hidrojeolojik çalışmalar	9
3.1.2.2 Hidrojeokimyasal çalışmalar	9
3.1.2.3 Jeofizik çalışmalar	9
3.1.3 Analiz ve Yorumlama	10
3.1.4 Saha Ruhsatı Alma	10
3.1.5 Proje Kapsamında Alınması Gereken İzinler	10
3.1.6 Sonraki Adım: Sondaj	10
3.2 REZERVUAR MÜHENDİSLİĞİNİ	11
3.2.1 Rezervuar ve Kuyu Akışı	11
3.2.2 Kuyu Testi	11
3.2.3 Kalsit Ölçümleri	11
3.2.4 Rezervuar Modelleme ve Simülasyon	12
3.3 SANTRAL AŞAMASI	12

3.3.1 Santral Sahası için Gerekli İzinler	12
3.3.2 Santral İnşaatı	12
3.3.3 Türbin Seçimi.....	14
3.4 JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ İŞLETME VE BAKIM	14
4. JEOTERMAL SONDAJ OPERASYONU.....	15
4.1 GİRİŞ	15
4.2 SONDAJ EKİPMANLARI	15
4.2.1 Sondaj Kulesi	15
4.2.2 Dizi Kaldırma Donanımı.....	16
4.2.3 Kule Alt Yapısı.....	17
4.2.4 Sondaj Dizisi.....	19
4.2.4.1 Sondaj ve ağırlık boruları	19
4.2.4.2 Bağlantı elemanları	19
4.2.4.3 Matkaplar	20
4.2.4.4 Jar, stabilizer ve şoke absorberlar	20
4.2.5 Çamur Sirkülasyon Sistemi	20
4.2.5.1 Sondaj sıvısının görevleri	22
4.2.5.2 Sondaj sıvısının özellikleri	23
4.2.6 Çimento Sistemi	24
4.2.7 Kuyubaşı Donanımı.....	26
4.2.8 Diğer Ekipmanlar	26
4.2.9 Kuyu Kurtarma Ekipmanları	27
5. JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİ VE TÜRLERİ	29
5.1 KURU BUHARLI SANTRALLER.....	29
5.1.1 Giriş	29
5.1.2 Kuru Buhar Kaynaklarının Doğası	29
5.1.3 Buhar Toplama Sistemleri.....	30
5.1.4 Enerji Dönüşüm Sistemi	32
5.1.5 Kuru Buhar Sistemli Santrallerin Ekipman Listesi.....	33
5.2 FLAŞ SİSTEMLİ SANTRALLER.....	34
5.2.1 Giriş	34
5.2.2 Toplama Sistem Tasarım Konuları.....	35

5.2.3 Enerji Dönüşüm Sistemi	37
5.2.4 Çevrim Prosesinin Termodinamiği.....	37
5.2.5 Atık Su (Brine) İçeriği.....	44
5.2.6 Flaş Sistemli Santrallerin Çevresel Koşulları	45
5.2.7 Flaş Sistemli Santrallerin Ekipman Listesi.....	48
5.3 BİNARY ÇEVİRİM SİSTEMLİ SANTRALLER	50
5.3.1 Giriş	50
5.3.2 Temel Binary Çevrim Sistemleri.....	51
5.3.2.1 Türbin analizi	52
5.3.2.2 Kondensar analizi	53
5.3.2.3 Besleme pompası analizi	53
5.3.2.4 Isı değiştirici analizi: ön ısıtıcı ve evaporatör	53
5.3.2.5 Genel döngü analizi.....	56
5.3.3 İkincil Akışkan Seçimi	57
5.3.4 Geliştirilmiş Binary Çevrimleri.....	58
5.3.4.1 İdeal bir binary çevrim.....	58
5.3.4.2 Çift basınçlı binary çevrim.....	59
5.3.4.3 Kalina tipi binary çevrim	59
5.3.5 Binary Çevrim Sistemli Santrallerin Çevresel Koşulları.....	61
5.3.6 Binary Çevrim Sistemli Santrallerin Ekipman Listesi	61
5.4 KOMBİNE SİSTEMLER.....	62
5.4.1 Giriş	62
5.4.2 Hibrid Single Flash ve Double Flash Sistemleri	63
5.4.3 Hibrid Flash-Binary Sistemler	63
5.4.4 Kuru Buhar-Binary Hibrid Sistem.....	64
5.4.5 Toplam Akış Sistemleri.....	64
5.4.6 Hibrid Fosil-Jeotermal Sistemler	65
5.4.7 Güneş-Jeotermal Hibrid Sistemler	66
6. JEOTERMAL ENERJİ ELEKTRİK SANTRALİ EKONOMİSİ	67
6.1 MALİYET HESAPLARI	67
6.1.1 Proje Yatırım Aşamasındaki Masraflar.....	68
6.1.2 İşletme Aşamasındaki Masraflar	69

6.1.3 Finansman Maliyetleri	70
6.2 JES SİGORTASI.....	71
6.2.1 Proje Aşamasındaki Sigortalar	71
6.2.2 Santral Aşamasındaki Sigortalar	71
7. JEOTERMAL ENERJİ ELEKTRİK SANTRALİ ÇEVRE ETKİLERİ ..	72
7.1 GİRİŞ	72
7.2 GAZ EMİSYONLAR	73
7.3 ARAZİ KULLANIMI.....	74
7.4 TOPLUMUN JEOTERMAL ENERJİYE BAKIŞI.....	75
7.5 JEOTERMAL SİSTEMLERİN FİZİKSEL ETKİLERİ.....	75
7.5.1 Gürültü Kirliliği.....	75
7.5.2 Arazi Çökmesi.....	76
7.5.3 Doğal Hidrotermal Olayların Bozulması	76
7.5.4 Yapay Depremsellik	76
7.5.5 Su Kullanımı ve Su Kirliliği.....	77
7.5.6 Atık Su	78
7.5.7 Kazalar Nedeni ile Oluşan Kirlilik.....	78
7.6 YÖNETMELİKLER	79
8. JEOTERMAL ENERJİ UYGULAMALARI	81
8.1 LARDEROLLO KURU BUHAR ENERJİ SANTRALİ.....	81
8.1.1 Gelişme Tarihçesi	81
8.1.2 Enerji Santralleri.....	82
8.1.3 Çevresel Etkisini Azaltma.....	85
8.2 TÜRKİYEDEKİ ENERJİ SANTRALLERİ	85
8.2.1 Kızıldere Single Flaş Sistemli Santral.....	86
8.2.2 Salavatlı Binary Sistemli Santral	88
8.2.3 Germencik Sistemli Santral.....	89
8.2.4 Kızıldere Triple Flaş-Binary Kombine Sistemli Santral.....	90
8.2.5 Jeotermal Enerjinin Mevcut Durumu ve Geleceği.....	92
9. DİĞER ENERJİ SANTRALLERİ	94
9.1 TERMİK SANTRALLER.....	94
9.1.1 (Sıvı Yakıt Enerjili) Fuel-Oil Santraller	95

9.1.1.1 Enerji verimliliği	95
9.1.1.2 Çevresel değerlendirme	95
9.1.2 Kömür Santralleri	95
9.1.2.1 Enerji verimliliği	96
9.1.2.2 Çevresel değerlendirme	96
9.1.3 Doğal Gaz Santralleri.....	96
9.1.3.1 Enerji verimliliği	96
9.1.3.2 Çevresel değerlendirme	97
9.1.4. Nükleer Santraller	97
9.1.4.1 Enerji verimliliği	97
9.1.4.2 Çevresel değerlendirme	98
9.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ SANTRALLERİ.....	98
9.2.1 Güneş Santralleri.....	98
9.2.1.1 Enerji verimliliği	101
9.2.1.2 Çevresel değerlendirme	102
9.2.2 Rüzgar Enerjisi Santralleri.....	102
9.2.2.1 Enerji verimliliği	103
9.2.2.2 Çevresel değerlendirme	104
9.2.3 Küçük Ölçekli Hidroelektrik Santraller	104
9.2.3.1 Enerji verimliliği	105
9.2.3.2 Çevresel değerlendirme	105
9.2.4 Biyokütle Enerji Santralleri	106
9.2.4.1 Çevresel değerlendirme	108
10. ENERJİ SANTRALLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	109
10.1 ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN KIYASLAMA	109
10.2 ÇEVRESEL AÇIDAN KIYASLAMA	111
11. SONUÇ	113
KAYNAKÇA.....	115
ÖZGEÇMİŞ.....	119

TABLULAR

Tablo 3.1: Jeotermal santrallerdeki ana ekipmanlar	13
Tablo 5.1: Jeotermal enerjinin çevresel etkileri ve çözümleri	47
Tablo 6.1: Yatırım maliyeti dağılımı	69
Tablo 7.1: Tipik jeotermal enerji üretimi için arazi gereksinimleri.....	74
Tablo 8.1: Germencik sahasında açılan sondaj kuyuları	90
Tablo 8.2: Türkiye birincil enerji kaynakları üretim ve tüketimi	92
Tablo 8.3: Türkiye'deki jeotermal elektrik santralleri	93
Tablo 9.1: Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli	101
Tablo 9.2: Rüzgar santrallerinde 1 MW üretim için gerekli alan	103
Tablo 9.3: Dünya ve Türkiye'deki brüt hidroelektrik potansiyel	105
Tablo 10.1: Enerji santrallerinin verimlilik kıyaslaması.....	110
Tablo 10.2: Enerji santrallerinin çevresel etkilerinin kıyaslaması.....	111
Tablo 11.1: Dünya enerji tüketimi	113
Tablo 11.2: Türkiye birincil enerji kaynakları üretim ve tüketimi	114

ŞEKİLLER

Şekil 2.1: Dünyadaki aktif jeotermal bölgeler	5
Şekil 2.2: Türkiye'deki aktif jeotermal bölgeler	6
Şekil 2.3: Jeotermal enerjinin kullanım alanları	6
Şekil 2.4: Bir hidrotermal jeotermal kaynak modeli.....	7
Şekil 4.1: Sondaj kulesi ve kule kaldırma operasyonu	16
Şekil 4.2: Dizi kaldırma donanımları	17
Şekil 4.3: RAM'in kuyuyu kapatmasının sembolik gösterimi.....	18
Şekil 4.4: Kule alt yapısı	18
Şekil 4.5: Sondaj dizisi ekipmanları	19
Şekil 4.6: Çamur sirkülasyon sisteminin şematik gösterimi	21
Şekil 4.7: Çimento aracı.....	25
Şekil 4.8: Kuyubaşı vanaları	26
Şekil 4.9: Slip ve tong anahtarı	27
Şekil 4.10: Takım sıkışmalarının sembolik gösterimi	28
Şekil 5.1: Su için Mollier Diyagramı	31
Şekil 5.2: Kuru buharlı santral şematiği	34
Şekil 5.3: Triple flaş sistemli bir santralin T-S Diyagramı	38
Şekil 5.4: Soğutma kulesi şematik gösterimi	42
Şekil 5.5: Single flaş sistemli santral şematiği.....	50
Şekil 5.6: Binary jeotermal elektrik santralinin şematik gösterimi.....	51
Şekil 5.7: Basınç entalpi (P – H) diyagramı	52
Şekil 5.8: Ön ısıtıcı ve evaporatörün sıcaklık-ısı transferi diyagramı	54
Şekil 5.9: Normal ve geriye doymuş buhar eğrilerinin kontrast T-S Diyagramı.....	58
Şekil 5.10: Çift basınçlı binary jeotermal santrali akış şeması	60
Şekil 5.11: Akışkanların buharlaşma eğrileri.....	60
Şekil 5.12: Binary çevrim sistemli santral şematiği.....	62
Şekil 5.13: Entegre ve kombine single-double flaş sistemi tesis şemaları	63
Şekil 5.14: Kombine single flaş-binary sistemi çevrim modeli.....	64
Şekil 5.15: Kuru buhar-binary hibrit sistemi şeması	65

Şekil 5.16: 3 Aşamalı fosil yakıtlı sistemin tesis şeması	65
Şekil 7.1: Alaşehir-Manisa bölgesindeki sondaj kazası.....	78
Şekil 7.2: Alaşehir-Manisa bölgesindeki sondaj kazası.....	79
Şekil 8.1: Larderello jeotermal santralinden bir görüntü	81
Şekil 8.2: Dolaylı döngü sisteminli güç üretimi	83
Şekil 8.3: Atmosferden havalandırılmalı ile yoğunlaştırılmalı doğrudan alım şemaları	84
Şekil 8.4: Larderello'nun yeni birimleri için modüler tesis düzeni	84
Şekil 8.5: Türkiye'nin batısındaki tektonik hareketler	85
Şekil 8.6: Kızıldere jeotermal sahası yer bulduru haritası	87
Şekil 8.7: MEGE-Salavatlı elektrik santrali şematik gösterimi	88
Şekil 8.8: Germencik (Ömerbeyli) jeotermal santrali.....	89
Şekil 8.9: Kızıldere jeotermal ruhsat sahası.....	91
Şekil 8.10: Kızıldere combine sistemli santral tasarımı.....	91
Şekil 9.1: Temsili termik santral	94
Şekil 9.2: Three Mile Island kazası.....	98
Şekil 9.3: Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel haritası.....	99
Şekil 9.4: Barstow, Kaliforniya'daki güneş enerjisi kulesi.....	100
Şekil 9.5: Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyel haritası	103
Şekil 9.6: Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyel haritası (kentsel organik atık)	106
Şekil 9.7: Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyel haritası (hayvansal atık)	107
Şekil 9.8: Türkiye'nin biyokütle enerji potansiyel haritası (bitkisel atık)	107

KISALTMALAR

AS	:	Ara Soğutucu
BEPA	:	Biyokütle Enerjisi Potansiyel Atlası
BH	:	Buhar Hattı
BrH	:	Brine Hattı
BS	:	Besleme Suyu
DA	:	Döner Ayırıcı
DBB	:	Düşük Basınç Buharlaştırıcısı
DBBP	:	Düşük Basınç Buharlaştırıcı Pompası
DBÖI	:	Düşük Basınç Ön Isıtıcısı
DBT	:	Düşük Basınç Türbini
E	:	Evaporatör
EİE	:	Elektrik İşleri Etüt İdaresi
EK	:	Enjeksiyon Kuyusu
EP	:	Enjeksiyon Pompası
GK	:	Gaz Kompresörü
HES	:	Hidro Elektrik Santral
HP	:	Yüksek Basınç
IP	:	Orta Basınç
K	:	Kondansör
KKV	:	Küresel Kontrol Vanası
KS	:	Kum Sökücüler
KP	:	Kondensör Pompası
KV	:	Kontrol Vanası
LP	:	Alçak Basınç
MEGE	:	Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.
MTA	:	Maden Tetkik Arama
NA	:	Nem Alıcı
NCG	:	Yoğuşmayan Gaz Sistemi
ORC	:	Organik Rankine Çevrimi

ÖI	:	Ön Isıtıcı
PDC	:	Polikrsitalin Elmas Matkaplar
PV	:	Foto Voltaik
S	:	Seperatör
SF	:	Son Filtre
SK	:	Soğutma Kulesi
SSP	:	Soğutma Suyu Pompası
TAKY	:	Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliği
T/J	:	Türbin ve Jeneratör
TEK	:	Türk Elektrik Kurumu
ÜK	:	Üretim Kuyusu
YBB	:	Yüksek Basınç Buharlaştırıcısı
YBBP	:	Yüksek Basınç Buharlaştırıcı Pompası
YBÖI	:	Yüksek Basınç Ön Isıtıcısı
YBT	:	Yüksek Basınç Türbini

SEMBOLLER

Akışkanın entalpi değeri	:	h_x (x=1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14)
Boru boyu	:	L
Boru çapı	:	D
Boru iç pürüzlülüğü	:	ε
Brüt elektrik	:	We
Buhar Kütlesi	:	$\dot{m}_{hps}, \dot{m}_{ips}, \dot{m}_{lps}$
Buhar kütleleri	:	$\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3, \dot{m}_4, \dot{m}_5, \dot{m}_6, \dot{m}_7, \dot{m}_9, \dot{m}_{total}$
Carnot verimliliği	:	η_{cc}
Entropi değerleri	:	s_0, s_{rez}
Güç değerleri	:	$W_t, W_{hpt}, W_{ipt}, W_{lpt}, W_{total}, W_{e,gross}$
Günlük ortalama sıcaklık	:	LMTD
Isı	:	Q
Isı kaynağının sıcaklığı	:	T_H
İzentropik türbin verimliliği	:	η_t
Jeneratör gücü	:	η_j
Kuruluk fraksiyonu	:	$x_0, x_2, x_4, x_5, x_6, x_{10},$
Özgül nem	:	w
Reynolds sabiti	:	Re
Sabit değer	:	μ
Silika konsantrasyonu	:	S
Soğutma kulesindeki sıcaklık	:	T_0
Soğutma suyu özgül ısı	:	\hat{c}
Soğutucunun sıcaklığı	:	T_L
Sürtünme ile oluşan basınç kaybı	:	ΔPf
Sürtünme katsayısı	:	f
Termal verimlilik	:	η_{th}
Toplam ısı transferi katsayısı	:	\bar{U}
Yerçekimi ivmesi	:	g
Yoğunluk	:	p
Yükseklikteki değişiklik	:	ΔH

1. GİRİŞ

Dünya hızla gelişmekte ve buna bağlı olarak enerji ihtiyacı giderek artmaktadır. Nüfus artışı, sanayinin gelişmesine ek olarak küresel ısınma ve iklim değişiklikleri sorunları da eklenince, enerji tedariği ekonomik ve sosyal kalkınmanın temeli haline gelmiştir. Birincil enerji kaynaklarının sınırlı olması, alternatif enerji kaynaklarına yönelimi sağlamıştır. Dışa bağımlılığı da azaltmak amacı ile var olan enerji kaynaklarını değerlendirerek enerji tasarrufu sağlamak, yeni, çevre dostu ve ekonomik sahalar keşfederek, temiz enerji kaynaklarını değerlendirmek gibi amaçlar gündemde daha çok yer alan konular olmaya başlamıştır.

Enerji taleplerinin artması, kaynakların giderek azalması, sera gazı gibi salımların çevresel etki yaratmaları gibi sebepler, aynı zamanda “enerji yönetimi politikalarını” uygulamayı gerekli hale getirmiştir. Enerji yönetiminde birinci amaç; mevcut sistem genelinde sağlanabilecek değişiklikler ve alınabilecek önlemler ile kullanılmakta olan enerjiden tasarruf etmektir. Enerji yönetiminde ikinci amaç; enerji ekonomisi ilkeleri kapsamında, enerji tüketen ekipmanlarla maliyeti ve yönetimi arasında ilişki kurmaktır.

Bu çalışmada Jeotermal Enerji kaynaklarından bahsederek, Türkiye için hem gerekli, hem de stratejik önemi olan, yenilenebilir ve sürdürülebilir, çevre dostu jeotermalin daha çok tanınması, bu sayede enerji yönetiminin iyi yapılabilmesi ve jeotermal kaynakların öneminin anlaşılacak bir bölgede jeotermal potansiyel bulunması durumunda seçimin bu yönde yapılmasının daha doğru olduğu vurgulanmaya çalışılmıştır. Bölüm 2’de jeotermal enerji kaynakları anlatılmıştır. Bölüm 3’te jeotermal enerji santrallerinin proje aşamalarına, Bölüm 4’te sondaj operasyonuna değinilmiştir. Bölüm 5’te jeotermal enerji santralleri sistemlerinin; optimizasyon mühendislik çalışmaları ile verimlilik hesaplarına yer verilmiştir. Bölüm 6’da jeotermal santraller ekonomik açıdan, Bölüm 7’de de çevresel açıdan incelenmiştir. 8. Bölümde mevcut jeotermal santralleri örneklendirilmiştir. 9. ve 10. Bölümlerde diğer enerji santrallerinin çevresel etkileri ve verimliliklerine değinilmiş, jeotermal enerji santralleri ile kıyaslanmıştır. Tezde anlatılmak istenenler ve tezin amacı 11. Bölümde özetlenmiştir.

2. JEOTERMAL ENERJİNİN KAYNAĞI

2.1 JEOTERMAL ENERJİNİN TARİHÇESİ

M.Ö. 10000: Akdeniz Bölgesi'nde çanak, çömlek, cam, tekstilde jeotermal akışkandan faydalanılmıştır.

M.Ö. 1500: Jeotermal Kaynaklar Romalı ve Çinliler tarafından banyo, ısınma ve pişirme amaçlı olarak kullanılmıştır. (Japonya'da 630. Yıllarda kaplıca çok gelişmiştir.)

1200: Avrupalılar Jeotermal enerji ile mekân ve su ısıtması yapmaya başlamışlardır.

1322: Fransa'da köylüler doğal sıcak su ile evlerini ısıtmaya başlamışlardır.

1800: Kaplıca geleneği ABD'de de yaygınlaşmaya başlamıştır.

1818: İtalya'da ilk defa jeotermal buhar kullanarak borik asit elde edilmiştir (Fransız asıllı sanayici Francesco Giacomo Larderel).

1833: Paolo Savi Larderello Bölgesi'nde (İtalya) jeotermal rezervuarı araştırılmıştır.

1841: Larderello'da yeni tekniklerle jeotermal kuyularının açılmasına başlanmıştır.

1860: The Geysers bölgesinde(Kaliforniya) jeotermal kaynak için tesisler açılmıştır.

1891: Idaho eyaletinde (Boise, ABD) ilk jeotermal bölgesel ısıtma sistemi uygulaması gerçekleştirilmiştir.

1920: The Geysers bölgesinde (Kaliforniya) ilk jeotermal kuyular açılmıştır.

1929: Oregon eyaletinde (ABD) evler jeotermal enerji ile ısıtılmaya başlanmıştır.

1930: İzlanda'da büyük ölçekli merkezi ısıtma projesi çalışmaları başlamıştır. İzlanda, ABD, Japonya ve Rusya'da jeotermal kullanımı yaygınlaşmıştır.

1945: Süt pastörizasyonunda ilk kez jeotermal akışkandan yararlanılmıştır.

1945: ABD'de buzlanmaya karşı yer ısıtmasında, hacim ısıtmasında ve sera ısıtmacılığında jeotermal ısı kullanılmıştır.

1963: Türkiye'de İzmir Balçova'da ilk jeotermal sondaj kuyusu açılmıştır.

1968: Türkiye'de Denizli Kızıldere jeotermal alanının keşfedilmesiyle elektrik üretimi amaçlı ilk jeotermal kuyunun inşaatına burada başlanmıştır.

1969: Fransa'da büyük jeotermal ısıtma projeleri başlanmıştır.

1978: Nevada eyaletinde (ABD) ilk jeotermal gıda kurutma tesisi kurulmuştur.

1981: Hawaii eyaleti Puna bölgesinde (ABD) kurulan tesisler faaliyete geçmiştir.

- 1982: Türkiye'de Aydın Germencik jeotermal alanı keşfedilmiştir.
- 1983: Balçova İzmir'de, kuyu içi eşanjörlü ilk jeotermal ısıtma sistemi kurulmuştur.
- 1984: Oregon eyaletinde (ABD) mantar yetiştiriciliğinde jeotermalden yararlanılmıştır.
- 1987: Nevada'da jeotermal akışkan altın madenciliğinde kullanılmıştır.
- 1987: Türkiye'nin ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi Gönen, Balıkesir ve Kozaklı 'da işletmeye açılmıştır.
- 1996: Türkiye'de 15.000 konut ana kapasiteli İzmir Balçova jeotermal merkezi ısıtma sistemi devreye girmiştir.

Kaynak: International Geothermal Association

2.2 JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİNİN TARİHÇESİ

- 1904: İtalya'da Larderello'da jeotermal buhardan ilk elektrik üretimi sağlanmıştır.
- 1943: Larderello Sahasından elektrik üretimi 132 MWe kapasiteye erişmiştir.
- 1958: Yeni Zelanda'da Flash Metodu ile jeotermal elektrik üretimine başlanmıştır.
- 1960: The Geysers sahasında, elektrik üretimi için ilk kez kuru buhar kullanılmıştır.
- 1966: Japonya'da ilk jeotermal elektrik santrali kurulmuştur.
- 1969: Kaliforniya'da ilk binary çevrim jeotermal teknolojisi başarı ile uygulanmıştır.
- 1970: Çin'de ilk kez jeotermal akışkandan elektrik üretimi yapılmıştır.
- 1975: The Geysers sahasında elektrik üretim kapasitesi 500 MWe'e ulaşmıştır.
- 1978: New Mexico eyaletinde (ABD) kızgın kuru kayada jeotermal rezervuar oluşturulup test edilmeye başlanmıştır.
- 1979: Endonezya'da ilk jeotermal elektrik üretimi gerçekleştirilmiştir.
- 1984: Türkiye'nin ilk ve Avrupa'nın İtalya'dan sonra ikinci jeotermal enerji santrali (17.4 MWe kapasiteli) Kızıldere, Denizli'de hizmete açıldı.
- 1985: Dünya'da jeotermalden, 2.000 MW'lık elektrik üretim kapasitesine ulaşılmıştır.
- 1990: ABD'de jeotermal elektrik üretimi kurulu kapasitesi 3.000 MWe'e yükselmiştir.
- 1992: Dünya'da 21 ülkede jeotermalden elektrik üretimi toplam 6.000 MWe'e ulaşmıştır.
- 2000: Tüm dünyada jeotermalden yaklaşık 8000 MWe jeotermal elektrik üretimi ve 17.000 MWt civarında jeotermal kaynaklar doğrudan kullanımı gerçekleştirilmiştir.

2001: Türkiye'nin jeotermal kurulu ısıtma gücü 493 MW'e ulaştı. Türkiye böylece jeotermalin elektrik dışı uygulamalarda dünyanın 5. büyük ülkesi durumuna gelmiştir.

2009: Aydın-Germencik Jeotermal Enerji Santrali (47,4 MWe) devreye alınmıştır.

Kaynak: International Geothermal Association

2.3 JEOTERMAL ENERJİ VE JEOLJİK ORTAMLARI

Jeotermal kaynak bir anlamda yer ısı kaynağı olup, yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, yoğun mineraller içeren sıcak su, buhar ve gazlardır (Arslan, 2006). Yeraltındaki gözenekli, çatlaklı kayaç kütleleri yağmur, kar, deniz ve magmatik sular ile beslenerek jeotermal rezervuarları oluştururlar.

Kısaca yer altında ısınan suyun, yer üstüne çıkması veya çıkarılması ile oluşan jeotermal bölgeler, aslında daha komplike jeolojik olaylar sonucu ortaya çıkmaktadır. Yağmur ve eriyen karlar ile yeraltına inen sular geçirimsiz tabaka ile karşılaşır burada birikirler. Eğer bu geçirimsiz tabakalar, magma ya da aktif bir volkanizma yakınındaysa biriken suların ısınmasını sağlar. Isınan bu yeraltı suları aktif tektonik bir bölgede ise, oluşan fay ve kırıklar sayesinde yerüstüne çıkabilir.

Jeotermal bölgeler, bir dizi jeolojik olay ve aktiviteler ile ısı yayılımına elverişli kayaçlar ve tabakaları gerektirir. Jeotermal sistemlerin oluşabilmesi için; bölgesel ısı akışının yüksek olduğu, kütleli ısı taşınımının görüldüğü, ya da ısı çevrimine elverişli jeolojik yapıların olduğu yerlerin olması beklenir (Öngür 2005, ss. 23).

2.4 DÜNYADAKİ POTANSİYEL

Jeotermal bölgeler, özel jeolojik ortamlarda bulunmalarından dolayı genel olarak çok yaygın değildirler. Dünyanın coğrafi olarak sadece yüzde 5'lik bir alanında jeotermal kaynak bulunmaktadır. Özellikle dalma batma zonlarının olduğu levha sınırlarında jeotermal potansiyel yüksektir. Şekil 2.1'de görülen haritada bu levha sınırları boyunca yayılmış olan aktif jeotermal bölgelerin mevcut olduğu "Ring of Fire (Ateş Halkası)" olarak isimlendirilen yerler görülmektedir. Türkiye ateş halkası adı verilen jeotermal

potansiyeli yüksek olan zonların bulunduğu sistemin üzerinde yer almaktadır. Bu sebepten dolayı Türkiye, dünyada jeotermal enerjiyi kullanabilecek şanslı ülkelerdendir.

Şekil 2.1: Dünyadaki aktif jeotermal bölgeler



Kaynak: <http://www.gerom.org>

2.5 ÜLKEMİZDEKİ DURUM

Türkiye jeotermal enerji bakımından zengin bir ülke olup, dünyada 7. Avrupa'da 1. sıradadır. Tektonik yapısı nedeniyle özellikle Batı Anadolu'da yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalar gözlenmektedir (Şekil 2.2).

Ülkemizde süregelen kaplıca uygulamaları haricinde, elektrik üretimi, konut ısıtma, seracılık ve endüstriyel amaçlı jeotermal kaynak kullanımları mevcuttur (Şekil 2.3).

Şekil 2.2: Türkiye’deki aktif jeotermal bölgeler



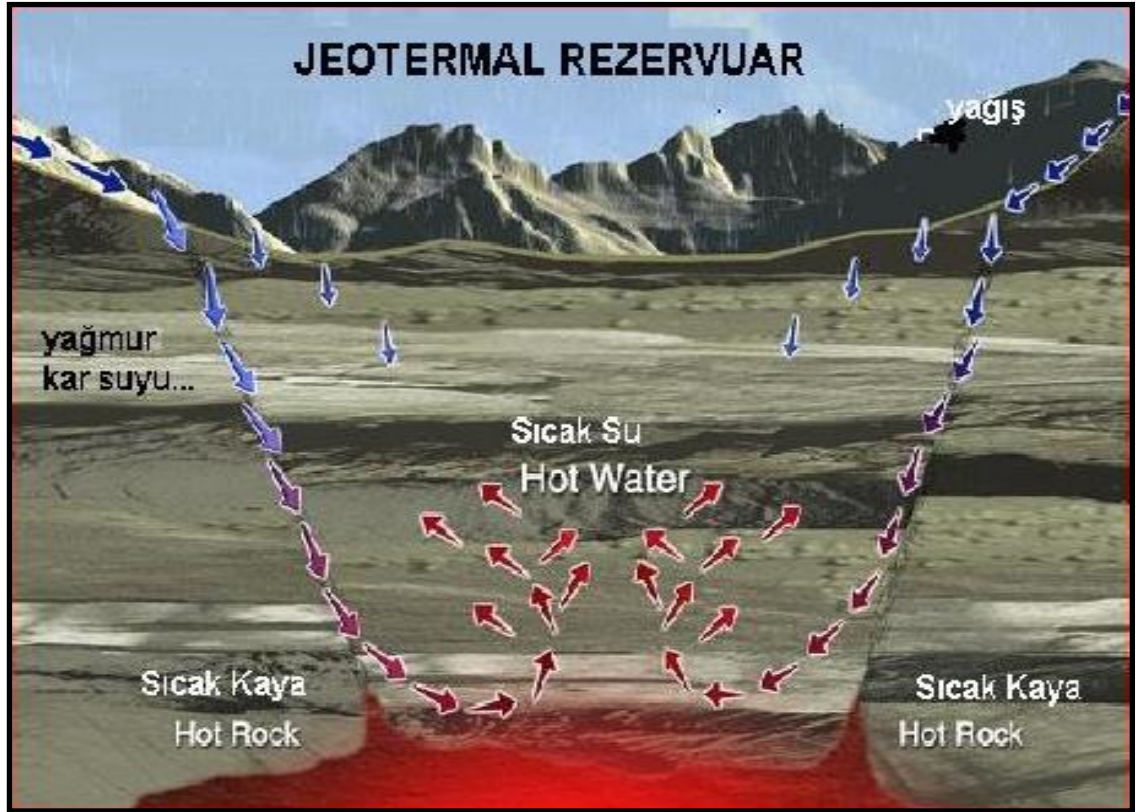
Kaynak: Ş. Şimşek,2000

Şekil 2.3: Jeotermal enerjinin kullanım alanları

SICAKLIK(°C)	KULLANIM ALANLARI	
180	Yüksek konsantrasyonlu solüsyonların buharlaştırılması, Elektrik üretimi, amonyum absorpsiyonu ile soğutma	Elektrik Üretimi
170	Diatomitlerin kurutulması, ağır su ve hidrojen sülfid eldesi	
160	Kereste kurutmacılığı, balık kurutmacılığı	
150	Bayer’ s metodu ile alüminyum eldesi	İkincil (Binary) Akışkan
140	Konservecilik, çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması	
130	Şeker endüstrisi, tuz endüstrisi,	
120	Distilasyonla temiz su elde edilmesi	
110	Çimento kurutmacılığı	
100	Organik maddeleri kurutma (Deniz yosunu, çimen, sebze), yün yıkama ve kurutma	Isı Pompalarıyla Alan Soğutma ve Isıtma
90	Balık kurutma (stok balık)	
80	Yer ve sera ısıtmacılığı	
70	Soğutma (Alt Sıcaklık Limiti)	
60	Sera, ahır ve kümes ısıtmacılığı	
50	Mantar yetiştirme, balneolojik hamamlar	
40	Toprak ısıtma	
30	Yüzme havuzları, fermantasyonlar, damıtma	
20	Balık çiftlikleri	

Kaynak: Lindal Diyagramı

Şekil 2.4: Bir hidrotermal jeotermal kaynak modeli



Kaynak: <http://geothermal.marin.org/geopresentation/sld012.htm>

3. JEOTERMAL SANTRALİ PROJE GELİŞİMİ

3.1 ARAMA ÇALIŞMALARINI VE TEKNİKLERİNİ

Bir bölge hakkında bilgi sahibi olmak için, öncelikle bölgede o güne kadar yapılmış bütün çalışmaların incelendiği literatür araştırması yapılır. Literatür araştırması sonrasında, jeotermal enerji potansiyelinin olup olmadığını anlayabilmek için jeolojik çalışmalar yapılır ve arazinin haritası çıkarılır. Daha net ve gerçekçi sonuçlarını ortaya çıkacağı bu aşamada, çevredeki su kaynaklarından alınan örnekler üzerinde hidrojeolojik ve hidrojeokimyasal araştırmalar ve bunlara ek olarak (gravite, manyetik gibi) jeofizik çalışmalar yer alır. Yukarıda bahsedilenlerden de anlaşılacağı gibi jeotermal bölgelerin arama çalışmalarında, hatta proje aşaması ve işletme sürecinde de, jeoloji, jeofizik, jeokimya mühendislik çalışmaları en büyük katkıyı sağlayan bilimlerdir.

Bütün bu bilimsel çalışmaların sonuçları değerlendirilir. Ön fizibilite raporu hazırlanır. Rapor sonucu projenin gerçekleştirilmesi kararı alınırsa arama sürecinde yapılan çalışmaların ışığında muhtemel kuyu lokasyonları belirlenir.

3.1.1 Arama Çalışmaları Hedefleri

Jeotermal santrali projesi sondajdan santral inşasına kadar her bir aşaması masraflı bir elektrik üretim projesidir. Yapılacak olan harcamaların kendini en kısa zamanda amorti edecek ve hatta kar'a geçecek sonuçları olması istenir. Bu sebeple araştırma çalışmaları çok önemlidir ve titizlikle yapılmalıdır.

Arama Çalışmaları, sahada jeotermal potansiyel var mı, rezervuar ne kadar derinde, jeotermal akışkanın sıcaklık ve basınç değerleri iyi seviyede mi gibi sorulara, pahallı sondaj operasyonuna başlamadan cevap bulmayı amaçlar. Genel saha hakkında olumlu bilgilere sahip olunursa, sondaj yapılacak lokasyonların da koordinatlarını belirlemek için bu çalışmalar daha detaylı şekilde devam eder.

3.1.2 Arama Çalışmaları Aşamaları

Sahada yüzey sularından alınan örnekler ile başlayan süreçtir. Su kaynaklı olduğu için, öncelikle suyun hareketi tespit edilmeye çalışılır. Ardından kimyasal içeriği ile suyun, uygun özelliklere sahip olup olmadığına bakılır. Sonra da jeofizik çalışmalar ile yeraltının jeolojik yapısının haritaları çıkarılır. Sondaj lokasyonlarının muhtemel lokasyonları tayin edilir.

3.1.2.1 Hidrojeolojik çalışmalar

Kaya birimlerinin hidrojeolojik özellikleri saptama amacıyla yapılır. Örtü kaya, rezervuar (akifer) özellikleri taşıyabilecek litolojiler ve rezervuarların beslenme olanakları incelenerek bir hidrojeolojik model oluşturulur. Rezervuarın yeraltındaki lokasyonu, hacmi ve çevresinin yapısal jeolojisi (faylar, kırıklar) tespit edilmesi beklenir.

3.1.2.2 Hidrojeokimyasal çalışmalar

Hem prospeksiyon aşamasında, hem de sahanın işletilmesine yönelik test çalışmalarında hidrojeokimyasal incelemeler yapılır. Jeotermometreler; su ve gazların analiz sonuçlarına göre rezervuar sıcaklığını kestirme amacıyla yapılan değerlendirmelerdir. İçeriğindeki mineraller de incelenir. Bu sayede işletme esnasında, önlemleri alınması gereken sorunların olup olmayacağı en baştan belli olmuş olur.

3.1.2.3 Jeofizik çalışmalar

Yeraltı doğal kaynaklar ve kayaların; elektriği, ısıyı, mekanik titreşimleri, sesi iletme, mıknatıslık kazanabilme, gözeneklilik, geçirimsizlik ve yoğunluk gibi fiziksel özelliklerini tespit edebilmek için yapılan değerlendirmelerdir (Örn; Gravite Yöntemi, Öz direnç (Rezistivite) Ölçümleri, Sismik Yöntem, Gradyan Ölçümleri). Bu sayede rezervuar çevresinde faylar ve kırıkların olup olmadığı net bir şekilde görülür. Özellikle sondaj lokasyonlarının tayininde çok önemli bir aşamadır.

3.1.3 Analiz ve Yorumlama

Yapılan bu çalışmalardan sonra jeoloji ve jeofizik mühendisleri birlikte sahayı yorumlarlar. Santral için uygun bir proje olup olmadığını, ortaklaşa yapılan bu analizden sonra hazırladıkları “Fizibilite Raporu” ile üstlenici şirkete sunarlar.

3.1.4 Saha Ruhsatı Alma

Analiz ve yorumlardan sonra sahada jeotermal potansiyelinin olduğu sonucuna varıldığı zaman, arama çalışmaları yapılabilmesi için öncelikle “arama ruhsatı” alınması gerekir. Bunun için sahanın bağlı olduğu ildeki İl Özel İdare’ye başvuru yapılmalıdır.

3.1.5 Proje Kapsamında Alınması Gereken İzinler

Saha çalışmalarının başlatılabilmesinden önce alınması gereken izin, ruhsat ve diğer çalışmalar öncelik sırasıyla aşağıda listelenmiştir;

- a. Elektrik Üretim Lisansı
- b. ÇED
- c. Kamulaştırma Kararı ve Arazi Alımları
- d. Teşvik ve Global Liste
- e. Kaynak Koruma Planı
- f. Çevre Düzeni Planı
- g. İmar Planı
- h. Elektrik Bağlantı Anlaşması
- i. İnşaat Ruhsatı

3.1.6 Sonraki Adım: Sondaj

Arama çalışmaları bitip, gerekli izinler alındıktan sonra sondaj çalışmaları başlar. Öncelikle ön fizibilite raporları ile belirlenen kuyu lokasyonları hazırlanır, sondaj ekipmanları lokasyona getirilip mobilizasyonları yapılır. Sondaj operasyonu bittikten sonra demobilizasyon ile lokasyondan ayrılır.

3.2 REZERVUAR MÜHENDİSLİĞİ

Sondaj operasyonunun ardından kuyularda, kuyu tamamlama ve üretim testleri yapılarak sıcaklık, basınç, jeokimya verileri alınır. Açılan kuyunun potansiyeli ve verimi bu testler sonucunda belirlenir.

3.2.1 Rezervuar ve Kuyu Akışı

Sondaj süresi boyunca sondaj sıvısı (çamur) kullanıldığı için rezervuar, çamur içindeki kimyasallar nedeni ile kirlenir. Operasyon esnasında sıcak su gelişini engellemek için de kullanılan bu çamur nedeni ile kuyu sondaj sonrasında da kendi haline canlanamayabilir. Böyle bir durumda kuyuya sondaj sonrasında bir seferliğe mahsus olarak pompalar aracılığı ile su basılır. Kuyu canlandığı zaman da rezervuarı temizlemesi için akışa bırakılır.

3.2.2 Kuyu Testi

Normal rezervuar özelliklerine kavuşan sondaj kuyusunda, sondaj operasyonu bittikten kuyubaşları takıldıktan hemen sonra, kuyu tamamlama testleri yapılır. Bu testler ile kuyunun ilk sıcaklık ve basınç verileri alınmış olur. Tamamlama testleri sonrasında yapılan jeokimyasal testler ile rezervuar akışkanına ait kimyasal veriler alınır. Bu sayede rezervuar zonu hakkında bilgi sahibi olunur.

3.2.3 Kalsit Ölçümleri

Jeotermal suyun içinde bulunan çözünmüş iyonlar, kabuklaşmaya sebep olabilir. Jeotermal sistemlerdeki en büyük sorunlardan biri de bu kabuklaşma sorunudur. Bu kabuklaşma; sıcaklık basınç değişimlerine, suyun pH derecesinin ve suyun doygunluk derecesine bağlıdır. Bu çökelen minerallerin başında, en yaygın olarak görülen kalsit allotropu olan kalsiyum karbonat gelmektedir.

Kalsit düşük sıcaklıklarda daha çok çözünme eğilimindedir. Basınç değişiklikleri ve gazların çözültiden uzaklaşması ile pH değişimi çözünürlüğe etki eder. Kabuklaşma gerçekleşikten sonra asitleme ile durumu düzeltmek oldukça masraflı ve üretimin durdurulması gibi etkenlere neden olabileceği için istenmeyen bir işlemdir. Bu sebeple düzenli olarak kalsit ölçümleri ve kabuklaşma gözlemleri yapılır.

3.2.4 Rezervuar Modelleme ve Simülasyon

Yapılan sondaj çalışmaları sonucunda çıkarılan kuyu log kesitleri ile, testler sonucu elde edilen kimyasal değerleri kullanarak yer altındaki rezervuarın karakteristik özelliklerini belirleyebilmek için öncelikle modelleme yapılır.

3.3 SANTRAL AŞAMASI

Açılan sondaj kuyularında yapılan testler ve yapılan modellemeler sonrasında sahanın üretim kapasitesi belirlenir ve sahaya en uygun jeotermal santrali kararlaştırılır.

3.3.1 Santral Sahası için Gerekli İzinler

Üretim ve reenjeksiyon kuyuları test sonuçlarına göre proje için en uygun santral tipi seçilir. Bundan sonraki aşama santral inşaat aşamasıdır ama bunun için de alınması gereken izinler vardır.

3.3.2 Santral İnşaatı

Her projede olduğu gibi jeotermal elektrik santrali projelerinde de iş programı projenin bel kemiğidir. Santralin üretime geçirilme tarihi belirlendikten sonra, bütün prosesler detaylı bir şekilde planlanır. Santral ana ekipmanları hangi tarihlerde montajı yapılacağı, üretime başlama tarihi baz alınarak hesaplanır ve her ekipman için sahaya ulaşım süreçleri araştırılır. Bazı ana ekipmanların sahaya teslim işlemleri çok uzun sürebileceği için, tarihlerde bir gecikme olmadan ilerleyebilmek adına ekipman sipariş edilecek tarihlerin tespitleri önem taşır. Saha teslimatı yaklaşık 1 sene süren türbin siparişi,

santral tipine ve boyutuna göre değişiklik gösterir. Örneğin, küçük kapasiteli bir single flash çevrimi sistemli santral inşaa edilecekse, 1 seneden kısa süreceği için projenin en başında siparişi verilmiş olması gerekir. Buna karşın kombine çevrim sistemli bir santral inşaa edilecekse 1,5 sene veya daha uzun süreceği için, inşaat başladıktan sonra sipariş verilmesi yeterli olur.

Tablo 3.1: Jeotermal santrallerdeki ana ekipmanlar

EKİPMANLAR	Kuru Buhar	Flash	Binary
Türbin-Jeneratör			
Buhar Türbini	√	√	X
Organik Buhar Türbini	X	X	√
Kontrol Sistemi	√	√	√
Isı Değiştiriciler			
Buharlaştırıcılar (evaporatör)	X	X	√
Yoğuşturucu (kondenser)	√	√	√
NCG (Non Condensable Gases) (Yoğuşmayan Gaz Sistemi)			
Buhar Jet Atıcılar	√	√	X
Kompresör	√ - X	√ - X	X
Vakum Pompası	√ - X	√ - X	X
Santral Pompaları			
Kondens	√	√	√
Soğutma Kulesi	√	√	√
Termal Su Enjeksiyon	X	√	√
Soğutma Kulesi			
Islak Tip	√	√	√ - X
Kuru Tip	X	X	√ - X

Kaynak: Bu tablo Ayşe UZUN tarafından hazırlanmıştır.

İş programı iyi yapılmış bir santralin genel olarak yapım aşamasındaki prosesleri aşağıdaki gibidir;

- a. Tekliflerin alınması

- b. Siparişlerin verilmesi
- c. İnşaat işleri
- d. Nakliye işleri
- e. Montaj işleri
- f. Elektrik işleri
- g. Devreye alma ve testler

3.3.3 Türbin Seçimi

Test sonuçlarındaki üretim değerlerine göre türbin seçilir.

3.4 JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ İŞLETME VE BAKIM

Jeotermal enerji santralleri, reenjeksiyon yapıldığı sürece kaynak sıkıntısı yaşanan enerji santralleri değildir. Fakat santralin devreye alınmasından sonra da işletmenin yapması gereken rutin takipler mevcuttur. Türbinin devreye alınmasından sonra jeotermal akışkanın kimyasal testleri haftalık ve aylık olarak yapılmaya devam eder. Bunun sebebi de test sonuçlarına göre akışkana ait özelliklerde değişiklikler olursa üretimde uzun vadede bir sorun yaşanmaması için erken müdahale yapılabilmesi içindir.

Jeotermal sistemlerdeki en büyük sorun olan kabuklaşma sorunu yaşanmaması için de inhibitör sisteminin dozajlaması yapılmalıdır. İnhibitörün etkili olup olmadığının takip edilebilmesi için de her gün kontrolü yapılan kupon sistemleri mevcuttur. Kuponlar üzerindeki herhangi bir değişiklik söz konusu olduğunda inhibitör dozajlama oranında düzenlemeye gidilir.

4. JEOTERMAL SONDAJ OPERASYONU

4.1 GİRİŞ

Jeotermal santrallerinde en maliyetli operasyon şüphesiz sondaj operasyonudur. Açılan arama kuyularından iyi sonuçlar elde edilebilmesi için ön çalışmaların titizlikle yapılması gerekir.

4.2 SONDAJ EKİPMANLARI

Sondaj Ekipmanları genellikle aşağıdaki ana kısımlardan oluşur.

- a. Kule
- b. Dizi Kaldırma Donanımı
- c. Kule Alt yapısı
- d. Sondaj Dizisi
- e. Çamur Sirkülasyon Sistemi
- f. Çimento Sistemi
- g. Kuyu Başı Donanımı
- h. Diğer Ekipmanlar; motorlar, vinç vb.
- i. Kuyu Kurtarma Ekipmanları

4.2.1 Sondaj Kulesi

Sondaj dizisi temel ekipmandır. Sondaj dizisinin kuyu içine indirilip çıkarılmasını sağlayan tüm ekipmanları üzerinde taşır. Yüksekliğinin fazla olması kulede dizili duran tijlerin bağlantı sayısını arttıracığından zamandan tasarrufu sağlar bu sebeple yapılacak sondaj ne kadar derin olacaksa kule de o kadar yüksek seçilir.

İşçilerin çalışmasında kolaylık sağlanması için belirli yüksekliklerinde balkonları vardır. Kulenin en tepesinde taç makara ve taç makaranın yerine oturması için kaldırılmasını sağlayan Gin Pole denen bir askı vardır. Jeotermal sondajları için kullanılan kuleler

parça parça sahaya getirilir ve sondajın yapılacağı lokasyonda monte edilir. Sondaj sonrasında yine lokasyonda demontaj işlemi yapıp, parça parça taşınır (Şekil 4.1).

Şekil 4.1: Sondaj kulesi ve kule kaldırma operasyonu



Kaynak: Zorlu Enerji

4.2.2 Dizi Kaldırma Donanımı

Kedikafası olarak da bahsedilen draw works, halatlar, makaralar, swivel, hook (kanca), elevatör ve top drive ya da kelly'den oluşan bölümdür. Top drive'ın olduğu kuleler

üstten döndürme yöntemi ile çalışır. Kelly'nin olduğu kuleler de masada yer alan kelly bushing ve master bushing ekipmanları ile alttan döndürme yöntemini kullanırlar.

Şekil 4.2: Dizi kaldırma donanımları (draw works, taç makara, makara)



Kaynak: Zorlu Enerji

Masada yer alan draw worksten başlayan donanım halatlar ile önce sabit makara olan taç makaraya, oradan da hareketli makaralar ile hooka kadar devam eder. Hookta asılı olarak kısım ise sırayla swivel, top drive ve elevatördür. Kuyu içine giren sondaj dizisini taşımaya yarayan bu sistem, hareketli makaralardaki halatın tekrar taç makaraya, oradan da zeminde yer alan makaraya uzanması ile son bulur.

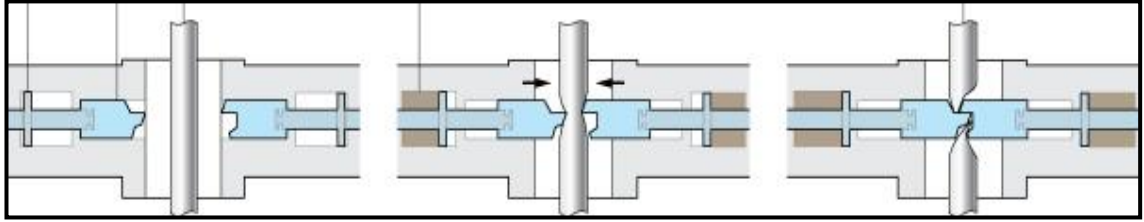
4.2.3 Kule Alt Yapısı

Kulenin altında kalan, kuyu başına bağlanan vanalar ile emniyet vanalarından oluşan kısımdır. Sondaj sıvısı (çamur), sondajın yapıldığı metrajlardaki formasyonun özelliklerine bağlı olarak karışıma eklenen kimyasallar ile oluşturulan özgül ağırlığıyla kuyuya hidrostatik bir basınç uygulamaktadır. Fakat rezervuar seviyelerinde bu basıncı aşan rezervuar akışkanı kuyubaşından gelmeye başlar. Buna kuyunun blowout (geliş) yapması denmektedir. Kule alt yapısı; sondaj esnasında karşılaşılabilecek her türlü kuyu içi gelişini kontrol etmeyi sağlayan ekipmanlardan oluşan bir sistemdir. Annular BOP, double RAM, mud cross, CHH gibi ekipmanlardan oluşur.

Annular BOP gelişini durdurma esnasında dizinin de hareket etmesini sağlayan bir ekipmandır. Fakat daha tehlikeli gelişlerde kullanılan double RAM, dizinin hareketini engelleyen 2 sisteme sahiptir. Üst vidaların karşılıklı olarak sıkılması ile diziye kadar

olan kuyu içi kapatılırken, alt vidanın sıkılması durumunda diziye de keserek tüm kuyu kapatılabilmektedir. Mud cross ile de basınçlı bir Şekilde yzeeye gelen jeotermal akışkanın bastırılması sağlanmaktadır. Kill line ve choke line adında iki uzantıya sahiptir. Kill linedan özgül ağırlığı fazla sondaj sıvısı basılır ve choke linedan geri alınır. Bu sayede kuyu öldürülmeye (susturulmaya) alıŐılmaktadır.

Şekil 4.3: RAM'in kuyuyu kapatmasının sembolik gösterimi



Kaynak: <http://www.wermac.org>

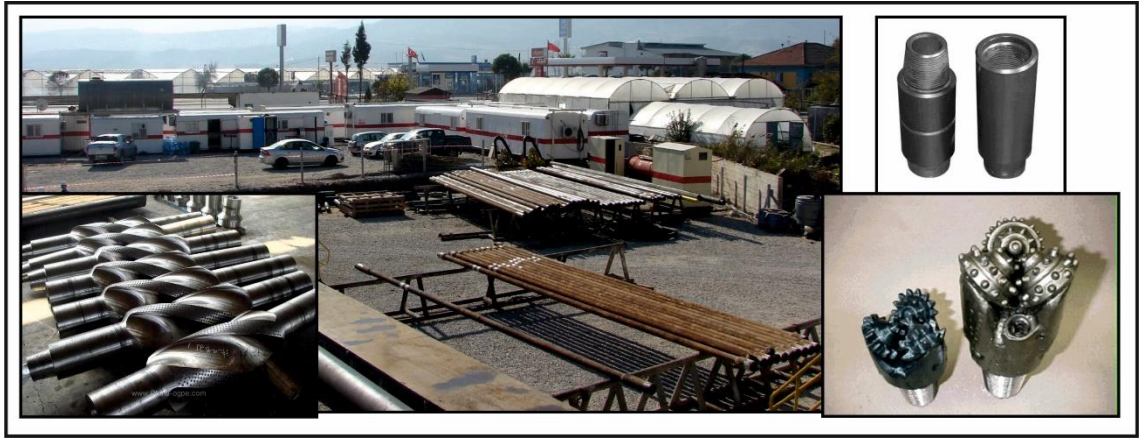
Şekil 4.4: Kule alt yapısı



4.2.4 Sondaj Dizisi

- a. Sondaj Boruları (Drill pipe)
- b. Ağırlık Boruları (Drill collar)
- c. Bağlantı Elemanları (Tool joint)
- d. Matkap (Bit)
- e. Jar, Stabilizerler, Shocke Absorberler

Şekil 4.5: Sondaj dizisi ekipmanları



Kaynak: Zorlu Enerji

4.2.4.1 Sondan ve ağırlık boruları

Sondaj sıvısının matkaba iletilmesini sağlayan borulardır. Sondaj boruları (tijler) çaplarına, uzunluklarına, biçimlerine ve yapıldıkları malzemeye göre sınıflandırılırlar. Kule yüksekliğine bağlı olarak, zamandan kazanmak için, pipelerin bazen 2 bazen de 3 tanesi birbirlerine bağlanır. Bunlara double stand ve triple stand denir.

4.2.4.2 Bağlantı elemanları

Sondaj borularının dizi haline gelebilmesi için birbirlerine eklenmesini sağlayan, üzerlerine özel diş açılmış parçalardır. Sökme ve ekleme işlemlerinde aşınmalara dayanıklı olmaları için krom, nikel çelik gibi yüksek mukavemetli yapılar tercih edilir.

4.2.4.3 Matkaplar

Kırıntılı örnek alan ve karot örnek alan olmak üzere ikiye ayrılan matkaplardan jeotermal sondajları için uygun olanı kırıntılı örnek alanlarıdır. Bir çok çeşidi olsa da jeotermalde genel olarak 2 tip matkap tercih edilir.

PDC (polycrystalline diamond compact) matkaplar; döner parçaları olmayan bu matkapların eğimli yüzeylerine yapay elmaslar yapııştırılmıştır. Sondajın daha hızlı ilerlemesini sağlayan PDC matkaplar, daha fazla ağırlıkla çalışabilme ve kuyudan daha az sapma sağladıkları için de tercih edilirler. Fakat maliyeti son derece yüksektir.

Konili matkaplar; PDC matkaplardan çok daha ucuz oldukları için daha fazla tercih edilirler. Matkabın alt ucundaki konilerin üzerinde dişler vardır, matkap dizi sayesinde döndürülürken koniler de kendi milleri etrafında dönerek, dişler aracılığı ile formasyonu parçalar. Sapma eğiliminin en az olması nedeni ile 3 konililer tercih edilse de, 2 ve 4 konili matkaplar da kullanılmaktadır.

4.2.4.4 Jar, stabilizer ve shocke arborberlar

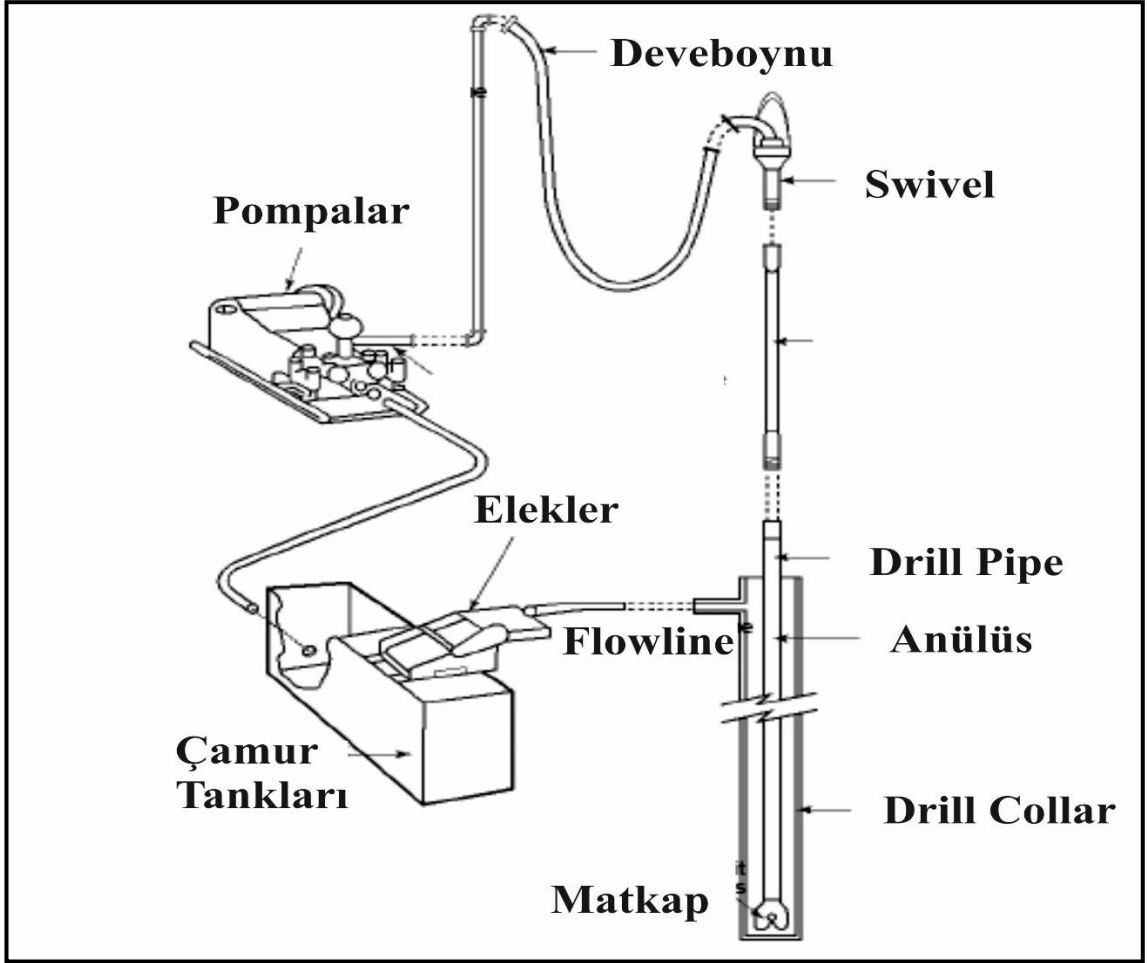
Jarlar, takım sıkışması ihtimalini azaltmak için sondaj dizileri arasında kullanılır. Yaylı bir sistem gibi hareket ederek, sert formasyonlarda yukarı ve aşağı doğru hareketlerde diziyi gevşetir. Stabilizerler; sondaj dizilerinin düz ve stabil durabilmesi için sondaj dizileri arasında kullanılır. Shoke Absorberlar; konglomera, çakıltaşı gibi iri taneli formasyonlarda oluşacak yukarı-aşağı hareketleri nötürleyen, diziyi iletmeyen dizi parçalarıdır. Bu ekipmanların sondaj dizisinde kullanılma sayıları, kuyunun derinliğine, formasyonların özelliklerine göre değişiklik gösterilebilir.

4.2.5 Çamur Sirkülasyon Sistemi

Yeraltında matkabın kayaktan kopardığı kırıntıların yeryüzüne taşınması için gerekli sıvı dolaşımı çamur sistemi ile sağlanır. Çamur tanklarında, Hopper adı verilen çamur tabancaları ile yapılan sondaj sıvısındaki kimyasallar pervaneler ile karıştırılarak

hazırlanır. Hazırlanan çamur, pompa ile deveboynu (standpipe), oradan da firdöndü (swivel) aracılığı ile sondaj dizisi içine pompalanır. Dizi içinden matkaplara oradan da kırıntılar ile birlikte, dizi ile kuyu cidarı arasından yukarı çıkarak, flowline'dan geçer. Flowline ile yüzeye tekrar çıkan çamur, buradan sallantılı eleklere (Shale Shaker) ulaşır.

Şekil 4.6: Çamur sirkülasyon sisteminin şematik gösterimi



Kaynak: www.steeldrillpipe.com

Elek açıklıkları genelde 30 – 80 mesh arasındadır. Çamur elekler ve çökeltme tankı ile kırıntılardan ayrıştırılmaya çalışılır. Buradan da emiş pompaları ile tekrar tanklara iletilir. Çamur tanklarından her sondajda en az 2 tanesine ihtiyaç vardır ve genellikle daha fazlası kullanılır. Tanklara ulaşan çamura, testler uygulanır ve test sonuçlarına göre iyileştirme yapılır. Tekrar aynı özelliklere kavuşturulan çamur, sisteme dahil edilmek üzere emiş tankına alınır ve sondaja iletilir. Eğer çamur iyileştirilemeyecek kadar bozulmuşsa mud pit adı verilen, doğal ortamla etkisinin membranlarla tamamen

kaldırıldığı havuza dökülür. Sondaj bitiminde mud pitler çimento ile kapatılır ve toprakla örtülüp, ağaçlandırılır (www.ozyalcinsondaj.com).

Kuyunun derinliğine ve basılacak çamurun miktarına göre sondajlarda birden fazla pompa kullanılır. Pompaların seçiminde çamur debisi, pompa basıncı, piston çapı, strok sayısı ve hacmi ile güç gibi değerler göz önüne alınır.

Sondaj sıvısı su ve içindeki kimyasallardan oluşur. Bu kimyasallar sondajın devam ettiği formasyonun özelliklerine göre değişiklik gösterirler. İlk sondaj sıvısı olarak su kullanılmıştır, burada su sadece matkabi soğutmak ve kırıntıları yüzeye getirmek için kullanılmıştır. Sonraları sondaj sıvısı, kuyu basıncını kontrol etmek, formasyonların kuyuya yıkılmasını engellemek, dizilerin tork almasını azaltmak, dizi ağırlığını azaltmak gibi görevleri de yerine getirecek şekillerde geliştirilmiştir. Yüzeye çıkan sondaj sıvısı rezervuar seviyelerdeki katı maddeleri ve gazı da içinde bulundurur. Çamur iyileştirmesinden önce bunlardan arınması gerekmektedir. Bu filtreleme işlemleri için desander (kum ayırıcı); 40-90 mikron arasındaki taneleri, desilter (silt ayırıcı); 15 – 25 mikron arasındaki taneleri, santrifüj; 3 – 10 mikron arasındaki taneleri, gaz ayırıcılar; çamur içindeki gazları ayırmada kullanılır (www.ozyalcinsondaj.com).

4.2.5.1 Sondaj sıvısının görevleri

Tabanı Temizlemek ve Kesintileri Yüzeye Taşımak: Sondaj esnasında matkap tarafından kayaktan koparılan kırıntılar, casingler ile muhafaza altında olmayan kısımlardaki formasyonlardan dökülen parçalar kuyunun dibine çökme eğilimindedir. Çamur sirkülasyonu ile bu engellenir. Kırıntılar tabandan uzaklaştırılır ve yüzeye taşınır. Kırıntıların sertliğine bağlı olarak metal ekipmanlarda aşınmaya sebep olurlar. Bu temizleme işi ile matkap dişleri temizlenir ve sondaj hızı düşmez.

Matkabi ve Sondaj Dizisini Soğutmak ve Yağlanmak: Sondaj operasyonu devam ederken matkap, sondaj dizisi ve kuyunun iç yüzeyi sürtünmeden dolayı ısınır. Matkabin ısınması dişlerinin körelmesine neden olur. Oysa çamur sürtünmenin olduğu yüzeylerin arasına girdiği için yağlama etkisi yapmaktadır. Bu özellikler için yabancı

madde katılmasına gerek yoktur, fakat bazı yağlayıcılar ile etkisi arttırılabilir (Örn. petrol vb). Bu sayede, matkabın ömrü uzar, takım sıkışmaları konusunda önlem alınmış olur, tijlerdeki aşınma azalır ve dizi döndürme momenti düşer (www.ozyalcinsondaj.com).

Göçmeye ve Oluk Oluşumuna Engel Olma: Sondaj yapılırken tabana doğru ilerlendikçe, derinlik artacağı için, üstteki tabakaların ağırlığı (tabaka yükü) ile sondaj delik yüzeyindeki kayaçlar sondaj içine göçme eğilimindedir. Çamurun hidrostatik basıncı ile bunlar da engellenmektedir.

Formasyonu Geçirimsiz Hale Getirmesi: Sondaj sıvısının içinde bulunan suyun karışımdan uzaklaşması durumunda çamur pastası (mud cake) adı verilen bir tabaka oluşur. Kuyu çeperlerinde suyun formasyona sızması ile kuyunun iç yüzeyinde geçirimsiz ince bir tabaka yaratır. Bu da gözenekli ve çatlaklı formasyonlarda, çamur kayıplarını ve formasyon içinden gelebilecek akışkanı engellemiş olur. Fakat sondaj sıvısındaki çamur pastasının kalınlığının artması, kuyu çapını azaltacağı, ve basınç kayıpları nedeni ile takım sıkışmasına neden olacağı için istenmez.

4.2.5.2 Sondaj sıvısının özellikleri

Sondaj sıvısının görevlerini iyi bir şekilde yapabilmesi için bazı özelliklerinin kontrol edilmesi gerekmektedir. Özellikle sondaj kuyusundan geri gelen çamurda bu özelliklerin istenen aralıklarda olup olmadığı test edilir ve iyileştirilme yapılır.

Yoğunluk: Çamurun yoğunluğu, sondajın ilerleme hızını etkiler. Hızın fazla olabilmesi için yoğunluğun az olması gerekmektedir. Çamurun yoğunluğu ise içindeki su ve kil miktarlarına ve oranlarına bağlıdır. Gerekli durumlarda katılan ek kimyasallar (arttırmak için barit vb., azaltmak için petrol vb) ile bu değerler değiştirebilir. Geçilen formasyonlar yüksek basınçlı ise yoğunluğun fazla, zayıf ve çatlaklı formasyonlarda ise yoğunluğun az olması tercih edilir. Yoğunluk hidrometre cihazı ile ölçülmektedir. Fakat sahalarda genelde “çamur terazisi” tercih edilir.

Filtrasyon: Mud cakein yukarıda bahsettiğimiz özelliği nedeni ile belirli seviyeler arasında kalması istenir. Kil ile hazırlanan sondaj sıvısındaki serbest haldeki su miktarının az olması beklenir. Bunun ölçümü için filtre presleri kullanılır. Üzerine basınç verilerek, su kaba gönderilir. Belirli bir sürede yapılan bu işlem 30 dakika süren bir kontrol işlemi ile karşılaştırılır.

Viskozite: Her sıvının akışa karşı gösterdiği direnç olarak bilinen viskozite, sahada marsh hunisi ile ölçülür. Huni çamur ile silme doldurulduktan sonra akış süresi ölçülür. Sondaj sıvısında ek olarak pH değeri de ölçülür, çünkü pH değeri 8 ile 9 arasında değilse viskozite değerleri fazladır. Turnusol kağıdı ile ölçülür.

Jel Kuvveti: Hareketsiz kalan sondaj sıvısı jelleşir. Sirkülasyon olmadığı durumlarda oluşan bu jel kırıntılarının tabana inmesini ve bu sebeple sıkışmaya sebep olmalarını önler. Fakat hareketsizken oluşması istenen bu jelleşmenin, sirkülasyon başladığında azalması istenir. Sondaj sıvılarının bu özelliğine de “tixotropik özellik” denmektedir. Jelleşme oranları fann viskozimetresi ile ölçülür.

4.2.6 Çimento Sistemi

Sondajlarda çeşitli seviyelerde, genelde formasyon değişikliklerinde, kuyuyu koruyabilmek için casing (muhafaza boruları) indirilir. Bu işlem sonrasında casingler ile kuyu arası çimentolanması gerekir. Çimento aracında hazırlanan çimento harcı casinglerin içinde kuyuya pompalarla basılır. Casingler içerisinden geçen çimento kuyu tabanından, kuyu çidarı ile casingler arasında kalan boşluğa (annülüs) ilerler ve flowlineda görülene kadar basılmaya devam edilir. Çimento miktarı, çimentolanacak bölgenin hacmi hesaplanarak elde edilir. Sondajda kaçak olmasını engellemek amacıyla da çimento operasyonu yapılır. Çimento bittikten (24 saatten az olmamak kaidesi ile) sonra çimentonun sertleşmesi beklenir. Çimento donduktan sonra, yeniden sondaja başlanabilir.

Çimento operasyonu yapılacak seviyelerin özelliklerine göre, çimentoya çeşitli maddeler katılır. İşlevlerine göre en sık kullanılan katkı maddeler aşağıdaki gibidir.

1. *Çabuklaştırıcılar:* Maliyetli bir operasyon olan sondajda zaman çok önemli olduğu için çimentonun çabuk donması istenir. Kalsiyum klorür en çok kullanılan çabuklaştırıcılardır. Sodyum Klorür ise düşük konsantrasyonlarda (yüzde 2-2,5) çabuklaştırıcı, yüksek konsantrasyonlarda geciktirici olarak etkir.

2. *Geciktiriciler:* Sıcaklık ve basıncın yüksek olduğu bölgelerde çimento karışımının pompalanabilmesi için sertleşmesinin geciktirilmesi gerekir.

3. *Su kaybı önleyiciler:* Geçirgen formasyonlarda çimentoda bulunan suyun formasyona girip, su kaybının oluşmaması için gereklidir. Su kaybı olan kısımlarda çimento çabuk donar, çimentonun her yere homojen olarak ulaşmasını engeller. Su kaybı önleyiciler; viskozite ve gecikmeyi de azaltırlar. Yüksek konsantrasyonlarda etkileri azaldığı için, düşük konsantrasyonda kullanılırlar.

4. *Ağırlaştırıcılar:* Basıncı formasyonların olduğu seviyeler ya da çamur ağırlığına eşitlenmek istediğinde kullanılırlar. Çoğunlukla yoğunlukları fazla olan bentonit, barit tercih edilir.

Şekil 4.7: Çimento aracı



Kaynak: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı

5. *Kaçak Önleyiciler*: Çatlaklı ve gözenekli seviyelerde kullanılır. Çamur kaçakları için kullanılanlara benzer. Genellikle ceviz kabuğu ve gilsonit kullanılır.

4.2.7 Kuyubaşı Donanımı

Sondaj operasyonu bittikten sonra, kuyular ile iletim hatlarının arasında, olası gelişlere karşı korunmaları için kullanılan koruyucu vanalardan oluşan ekipmanlardır.

Şekil 4.8: Kuyubaşı vanaları



4.2.8 Diğer Ekipmanlar

Muhafaza Boruları (Casing); kuyunun yıkılmasını önlemek, güvenli bir üretim gerçekleştirmek için kuyuya indirilen borulardır. Kuyu bitiminde olduğu gibi, bazı kritik seviyelerde de güvenlik için casing indirilir.

Motorlar; genellikle dizel yakıt kullanılır.

Vinç; operasyon sırasında ekipmanların kaldırılması ve çekilmesi gibi işlemleri yapan ekipmandır. Sondaj dizileri cat walks denilen yerden çekilmesi, askıda tutulması, dizilerin eklenme ve sökülme süreçlerinde kaldırılması, taşınması gibi görevleri vardır.

Slip; dizilerin sökülmesi veya birbirlerine eklenmesi sırasında masada askıda kalmasını sağlayan ekipmandır.

Tong Anahtarı; dizileri sökmek ve eklemek için gerekli döndürmenin yapılmasını sağlayan bir çeşit anahtardır.

Şekil 4.9: Slip ve tong anahtarı



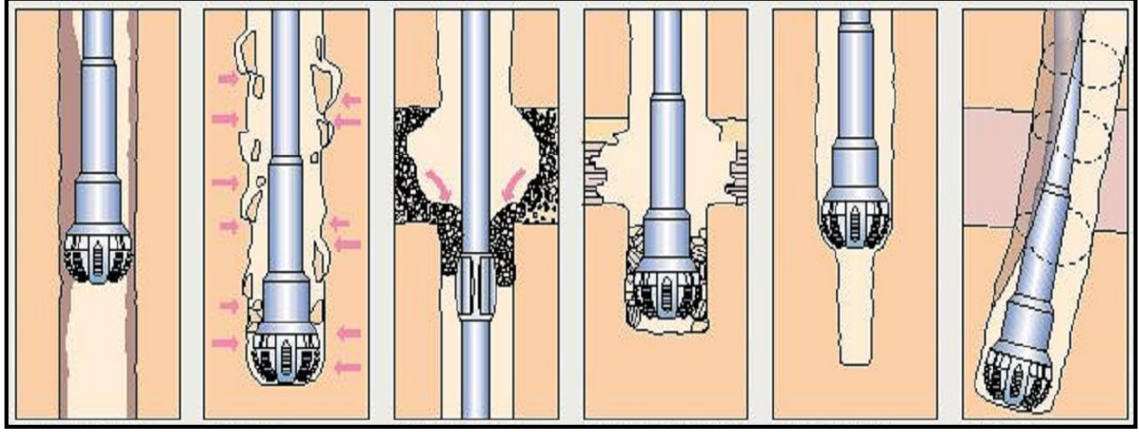
Kaynaklar: <http://www.shutterstock.com> ve <http://www.res3d.com>

4.2.9 Kuyu Kurtarma Ekipmanları

Sondaj dizisinin çeşitli sebeplerle hareketinin tek yönlü ya da tamamen kısıtlanmasına veya kaybetmesine takım sıkışması denir. Operasyondaki en tehlikeli ve istenmeyen olaydır. Formasyonların bloklar halinde kopması, yıkılması, kil gibi şişme yapan seviyelerde kuyu çapının daralması ya da dizinin kuyunun bir yanına dönme nedeni ile yapışarak tork alması gibi sebeplerden takım sıkışabilir (Şekil 4.10). Böyle bir durumda ilk yapılacak işlem takımı askıya alıp sirkülasyon yapılmasıdır. Eğer takım kil içerikli formasyonların şişmesi ile oluştuysa, takım bir kaç tij yukarı çekilir ve sirkülasyon yapılır. Buna short-trip denir. Kırıklı ve çatlaklı formasyonlarda kaçak nedeni ile böyle

bir sorun oluştuyorsa, kaçığın önlenmesi gerekir. Sonuç olarak takım sıkışma nedenine bağlı olarak, takımı kurtarmak için nasıl bir yol izleneceği kararlaştırılır.

Şekil 4.10: Takım sıkışmalarının sembolik gösterimi



Kaynak: Schlumberger-Managing Drilling Risk

Takımı sıkışmadan kurtarmaya çalışılırken oluşacak en kritik durum takım kopmasıdır. Matkap ve sondaj dizisinin bir kısmı kuyuda kalabilir. Kuyuyu üretim ya da reenjeksiyon olarak kullanabilmek, sondaja devam edebilmek için ve maliyeti yüksek olan diziyi kuyudan çıkarabilmek için kopan dizinin kurtarılmasına çalışılır. Bu kurtarma çalışmasına tahlisiye operasyonu denir. Yapılış şekillerine göre dörde ayrılır;

1. Dıştan Yakalayanlar: Eğer kuyu içinde kalan dizi, dıştan yakalanabilecek durumda ise tercih edilir. Genel olarak overshot, die collar ve junk basket tercih edilir.

2. İçten Yakalayanlar: Eğer dizi kuyuda sıkışmış ve dıştan yakalama ihtimali yok ise, içten yakalanlar tercih edilir. Taper tap (fare kuyruğu) ve realising spreall tercih edilenlerdir.

3. Dıştan Temizleyenler: İlk 2 yöntemle dizi kurtulamayacaksa ilk olarak kuyu çeperinin temizlenmesi denenir. Bu işlem wash over boruları ile yapılır.

4. Öğütücüler: Eğer diziyi kurtarmak mümkün değilse, kuyuyu kullanabilmek için tüm diziden vazgeçilir ve taper mill gibi bir parça ile öğütülerek kuyu kurtarılır.

5. JEOTERMAL ENERJİ SANTRALLERİ VE TÜRLERİ

5.1 KURU BUHARLI SANTRALLER

5.1.1 Giriş

Kuru buhar; içerisinde sıvı bulundurmayan, maddenin tamamen buhar halinde olduğunu anlatan termodinamik bir ifadedir. Diğer bir deyişle kuruluk fraksiyonu (x) 1'e eşittir (ayrıntılı bilgi 5.2.4 bölümünde anlatılacaktır). Kuru buhar tesisleri, jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi yapan ilk jeotermal santrali tipidir (DiPippo 2012, ss. 131). Kuru Buhar sistemi ile 110 yıldır işletmesi devam eden ilk santral Larderello Jeotermal Santrali 1904 yılında Prens Piero Ginori Conti tarafından İtalya'da (Toscana) inşaa edilmiştir. Prens'in tasarladığı mekanik cihaz ile küçük bir elektrik gücüne sahip olmuş olursa da, jeotermal santraller açısından bir dönüm noktası olmuştur (DiPippo 2012, ss. 131-132).

Tüm jeotermal santral tipleri arasındaki en basit ve en ekonomik sistem kuru buhar santralleridir. Temel olarak kaynaktan/rezervuardan gelen doymuş ve kızgın buharın türbin sistemine verilmesi yöntemiyle çalışırlar. Kuru buharlı santraller, jeotermal kaynağın yüzeye kuru, doymuş ya da kızgın buhar oluşturduğu yerlerde tercih edilir (Yalçınkaya 2012, ss. 17). Dünyada böyle sahalar oldukça sınırlıdır. Larderello, İtalya ve The Geysers, ABD'deki kaynaklar dünyadaki bu özelliğe sahip kaynaklara örnektir (DiPippo 2012, ss. 132).

5.1.2 Kuru Buhar Kaynaklarının Doğası

Larderello ve The Geysers dünyada keşfedilen 2 kuru buhar sistemli sahalar. Bunların haricinde kısıtlı potansiyele sahip olan Japonya (Matsukawa), Endonezya (Kamojang), Yeni Zelanda (Wairakei ve Poihipi Yolu bölümünde) ve Amerika Birleşik Devletleri (Cove Fort, Utah) gibi alanlar da mevcuttur. 200°C'in üstündeki tüm jeotermal potansiyeli olan sahalar arasında kuru buhar potansiyeli olan sahalar, özgün

rezervuar özellikleri nedeni ile yüzde 5 gibi küçük bir dilimi kapsar (DiPippo 2012, ss. 132). Rezervuar kayacı birbirileri ile bağlantılı ya da bağlantısız, kırık ve çatlaklı, gözenekli kayalardan oluşur. Kayaçların içindeki bu boşluklarda, içlerinde az miktarda (magmatik kökenli olduğunu düşünmemizi sağlayan) karbondioksit, hidrojen sülfid, metan gibi bazı gazları bulundur (DiPippo 2012, ss. 133).

Kuru buhar rezervuarındaki akışkan davranışlarının mekanizması komplekstir. Genel görüş buharın 3 kaynaktan beslendiği yöndedir. Bu kabule göre buhara ilk katkı, sert ve geçirimsiz kayacın çatlak ve boşluklarındandır. İkinci katkı, rezervuarın nispeten daha soğuk olan yan ve üst sınırlarında yoğunlaşan, buharlaşma suyundan gelmektedir. Üçüncü katkı ise, uzun süreli üretim yapılması sonucu düşen rezervuar basıncı nedeni ile oluşmaktadır.

Rezervuarın doğal beslenmesi büyük faylarla olur. Geri beslenme, üretim hızından düşükse akışkan daha derinlere çekilebilir ve basınç düşmesinde olduğu gibi daha fazla buharlaşma oluşur. Yüzeyde fümeroller, çamur volkanları, altere olmuş kayaç ve topraklar termal potansiyelin belirtilerindedir.

Araştırmalar, kuru-buhar rezervuarlarındaki gözlenen sıcaklıklar ile doymuş buhardaki maksimum entalpiye karşılık gelen sıcaklık arasında yakın bir korelasyon olduğunu göstermiştir.

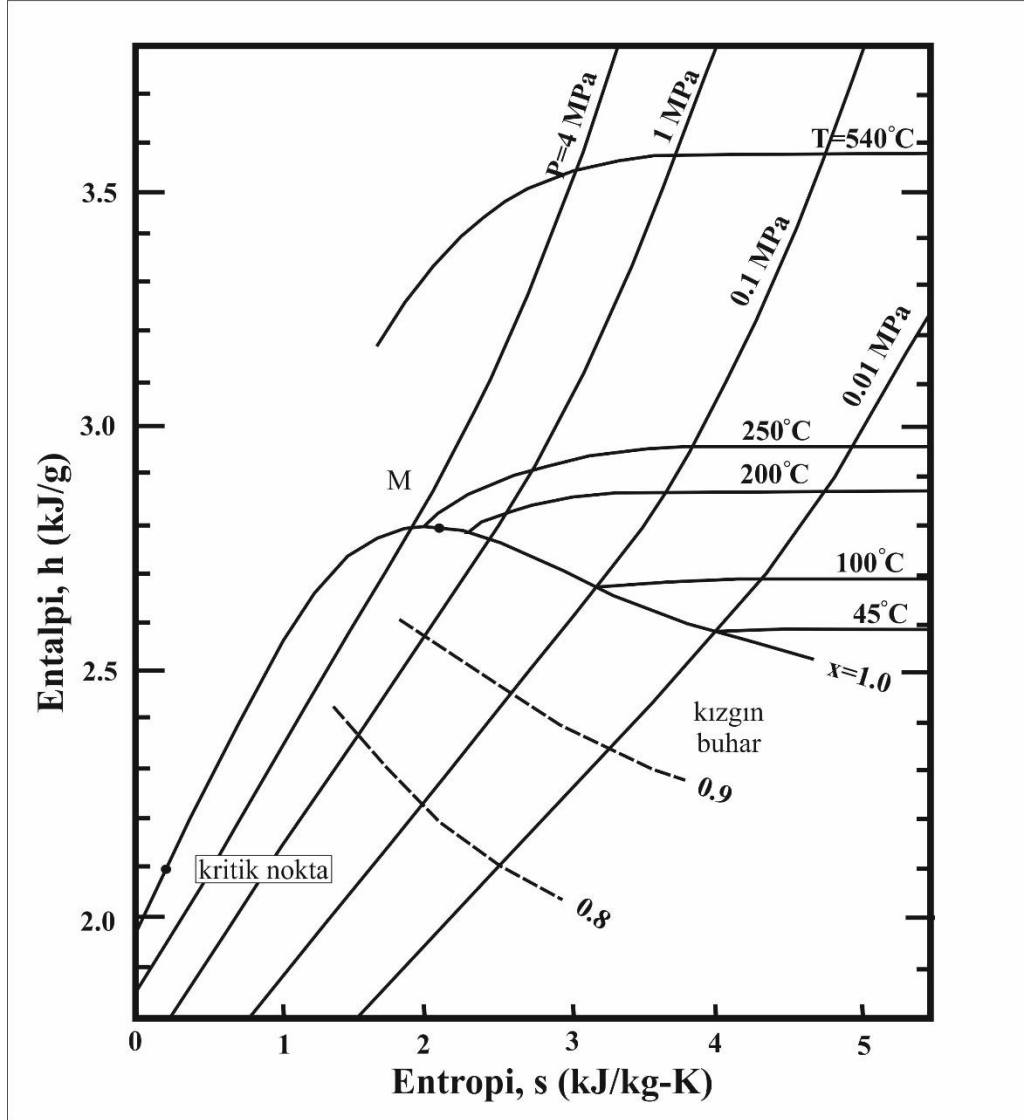
Doymuş buhar, yaklaşık (T) 235°C sıcaklık ve (P) 30,6 bar basınçta maksimum $h=2804.2$ kJ/kg'dır. Mollier Diagramı şekil 5.1'de gösterilmiştir.

5.1.3 Buhar Toplama Sistemleri

Flash sistemli santrallere kıyasla, kuru buhar sistemli tesislerdeki kuyu ve elektrik santrali arasındaki bağlantı nispeten basittir. Kuyularda vanaların yanında ekstra olarak buhar temizleyiciler vardır. Bunun yanı sıra iç hatlarda, boru hatlarına girmeden partikül maddelerini buhardan ayırabilmek için, aksiyal santrifüj separatör tasarlanmıştır. Destek direklerinin (stanchion) üstüne monte edilmiş buhar boruları izolasyon kaplıdır. Soğuk

ve sıcak ısıllara maruz kalmaları durumunda oluşacak boru hareketlerini nötrlemek için expansion looplar içerir. (Steam trap) Buhar kapanları yoğunlaşmaya engel olmak için, sonrasında geçirimsiz havuza ve reenjeksiyona gitmek üzere ayrılan borular boyunca stratejik yerlere oturtulur.

Şekil 5.1: Su için Mollier Diyagramı (M → max. entalpi noktası)



Kaynak: DiPippo, 2012

Buhar hattının elektrik santraline yakın kısmında, acil basınç tahliye istasyonu yer alır. Türbinin trip yapması durumunda, buharın geçici olarak tahliye edilmesini sağlar. Buhar atmosfere salıverilmeden önce Silencer'ın içinden geçer. Kuyuların açık ve kapalı pozisyonlarda devirde bulunmasındansa, sürekli açık pozisyonda muhafaza

edilmesinin daha iyi olduğu görülmüştür. Santralde bir buhar başlığı, bir son nem sökücü, bir dikey siklon separatör veya bir çift aynalı buğu gideri, ve buhar akış hızının doğru ölçümü için bir venturimetre bulunur.

5.1.4 Enerji Dönüşüm Sistemi

Buhar santrale ulaştıktan sonra sistem flash sistemli santraldekilerle aynıdır. Türbinlerde, impulse-reaction bladinglere (darbe kanatlarına) küçük birimler için tek akışın, büyük birimler için çift akışın olduğu basınç üniteleri kullanılır. Kondansörler, (direct-contact) doğrudan temas (düşük seviyelerde) ya da yüzey tipi (surface-type) olabilir. Küçük birimler için kondenser ve türbini yan yana tasarlamak daha avantajlıdır.

Türbin Genişleme Prosesi:

Türbinlerdeki kütle başına düşen buhar akışıyla, üretilen iş aşağıdaki şekilde formülize edilir;

$$w_t = h_1 - h_2 \quad (5.1)$$

Adyabatik türbinde giriş ve çıkışı arasında, akışkanın kinetik ve potansiyel enerji değişiklikleri ihmal edilir. İzentropik türbin verimliliği (η_t), gerçek işin izentropik işe oranıdır;

$$\eta_t = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \quad (5.2)$$

Türbin gücü aşağıdaki gibi formülize edilir;

$$\dot{W}_t = \dot{m}_s w_t = \dot{m}_s (h_1 - h_2) = \dot{m}_s \eta_t (h_1 - h_2) \quad (5.3)$$

Brüt elektrik; türbin gücü kadar jeneratör verimliliğine eşit olacak;

$$\dot{W}_e = \eta_j \dot{W}_t \quad (5.4)$$

Net güç, kondensat pompalama gücü, soğutma kulesi fan gücü ve aydınlatma dahil olmak üzere tüm ek güçlerin çıkarılmış halidir.

Yoğuşmalı ve kule soğutma süreçlerinin kullanım verimliliği

Kondansatör, soğutma kulesi ve kullanım verimliliği için çalışan denklemler flash sistemli ile aynıdır ve bir sonraki bölümde detaylı olarak anlatılacaktır.

5.1.5 Kuru Buhar Sistemli Santrallerin Ekipman Listesi

1. Buhar Besleme Sistemi
 - Kuyubaşı vanaları ve kumandaları
 - Buhar temizleyicileri
2. Kuyubaşı, Aksiyal Parçacık Sökücüler
 - Buhar boruları, izolasyonları ve üçayakları
 - Buhar başlığı
 - Nem sökücüler
3. Türbin-Jeneratör Ünitesi ve Kumandalar
 - Buhar türbin-jeneratör ünitesi ve aksesuarları
 - Kontrol sistemi
 - Hava kompresörü
4. Kondenser, Gaz Püskürtme ve Kirlilik Kontrolü
 - Kondenser
 - Kondensat pompaları ve motorları
 - Gaz giderme sistemi (buhar jet ejektörleri, turbo kompresörler, hibrit ejektör ve kompresörler)
 - NCG arıtma sistemi
5. Isı Rejeksiyon Sistemleri
 - Soğutma kulesi
 - Soğutma suyu pompaları ve motorları
 - Soğutma suyu arıtma sistemi
6. Yedekleme Sistemleri
 - Standby gün kaynağı

7. Gürültü Azaltma Sistemi

Susturucular

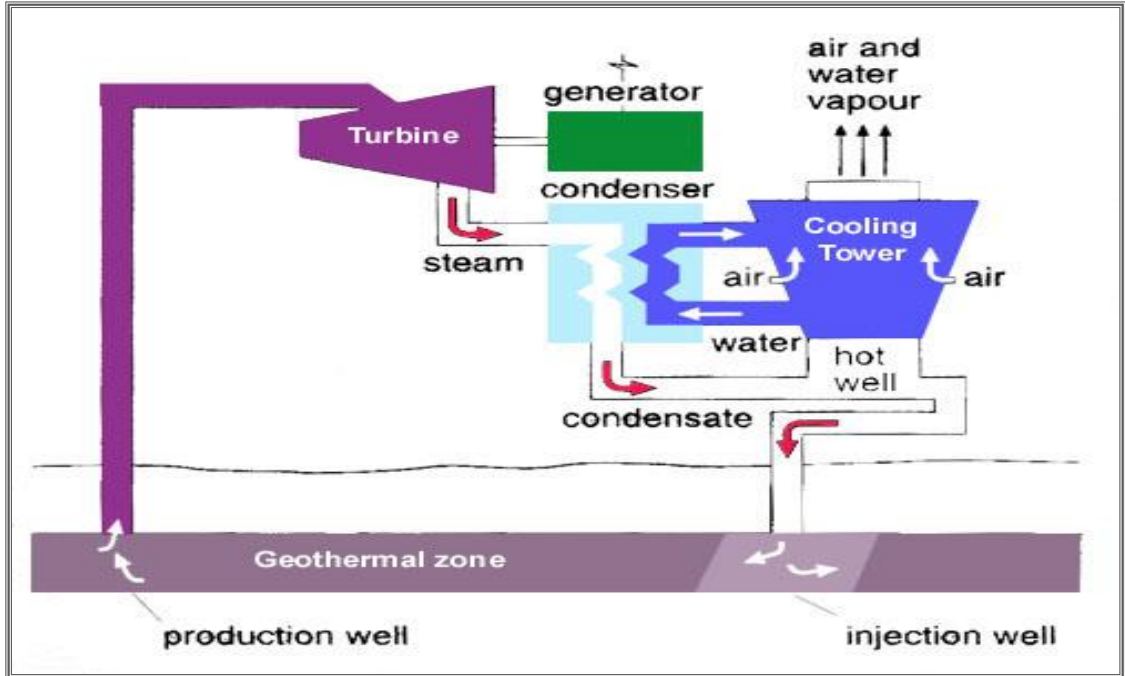
Gürültülü sıvı işleme bileşenleri için akustik yalıtım

8. Kondensat Boşaltma Sistemi

Aşırı yoğuşmuş enjeksiyon suyu ve soğutma kulesi boşaltma

Üretim kuyuları akifere kadar açılır, kızgın buhar ($180^{\circ} - 350^{\circ} \text{C}$)' de yüzeye ve türbine verilerek generatör üzerinden elektrik enerjisine çevrilir.

Şekil 5.2: Kuru buharlı santral şematığı



Kaynak: Boyle, Renewable Energy, 2004

5.2 FLAŞ SİSTEMLİ SANTRALLER

5.2.1 Giriş

Yer altından çıkarılan jeotermal akışkan genelde buhar+sıvı karışımında çıkar (Tamyerli 2007, ss. 26). Flash sistemli santraller, buhar yüzdesinin düşük olduğu veya jeotermal akışkanın tamamen sıvı fazında olduğu sahalarda tercih edilen santrallerdir. 180°C 'nin üzerindeki jeotermal akışkandan, elektrik üretiminde kullanılır. Rezervuardaki basınç

altındaki akışkan, yüzeyle çıktıkça buhar fazına geçmeye başlar. Belirlenen işletme basıncına kadar buhar sudan ayrıştırılarak türbine verilir. Arta kalan akışkan ise rezervuara geri kazandırılır.

Flash sistemli santraller; seperatör sayısına göre Single-Flash, Double-Flash, Triple-Flash olmak üzere 3 tipe ayrılır. Jeotermal sahada hangi tip flash çevrimin kullanılacağını; kaynak özellikleri, santralin kapasitesi, termodinamik-ekonomik optimizasyon analizleri ve ekipman kullanılabilirliği gibi parametreler belirler (Tamyerli 2007, ss. 27).

5.2.2 Toplama Sistem (Gathering System) Tasarım Konuları

Buhar ve sıvı karışımı, basınç kaybı en az olacak şekilde buhar ve sıvıya ayrılır. Bu işlem yoğunluk farkları sayesinde, kendi eksenine dikey yönelimli bir silindirik siklonik basınç kabı içinde santrifüj hareketi sonucu gerçekleşir. Seperatörlerin yerleri, belirli sıcaklık ve basınç altında akışkan kimyası, kuyu lokasyonları, topografya göz önünde bulundurularak yapılacak termodinamik ve ekonomik analizler sonucu santral tasarımlarına göre değişiklik gösterebilir (kuyubaşı ya da santralde olabilirler).

Üretim ve reenjeksiyon kuyularından gelen sıvı-buhar karışımını santrale ulaştırmak için bir borulama sistemi gereklidir. Borulamada ilk dikkat edilmesi gereken basınç kayıplarını önlemeye yönelik çözümler bulmaktır. Buhar basıncının düşüşü; buhar yoğunluğu ile akış hızının karşılaştırılmasına olduğu kadar boru çapı, uzunluğuna da bağlıdır. Bu parametreler arasında en kritik değişken boru çapıdır.

$$\Delta P_f = 0,8 \frac{L\dot{m}^{1,85}}{pD^{4,97}} \quad (5.5)$$

L; boru boyu (ft)

\dot{m} ; kütle akış hızı (lbm/s)

p ; yoğunluk (lbm/ft³)

D; boru çapı (in)

Buhar yoğunluğu kısmen daha düşük olduğu için, basınç değişimi, boru yüksekliği değişiminden çok daha küçüktür. Denkleme göre, beşinci kuvvete yükseltilmiş çapı ile ters orantılı olduğu için basınç düşüşünde boru çapı çok büyük bir rol oynar. Büyük çaplı borular ile basınç kaybı önemli ölçüde azaltılabilir fakat maliyetleri daha fazla olduğu için ekonomik açıdan kabul edilemez. Bu sebeple optimum boru çapı için, bir termodinamik-ekonomik optimizasyon çalışması yapılır.

Akış hattındaki basınç düşüşü, akışkan enjeksiyona gönderilene kadar ihmal edilebilecek kadar azdır. Fakat yeterli reenjeksiyon basıncını korumak için pompalar gerekebilir. Borulardaki sürtünme nedeniyle oluşan basınç düşümü, buhar borularındaki aynı değişkenlere ayrıca boru iç pürüzlülüğüne ve sıvı yoğunluğuna bağlıdır;

$$\Delta P_f = 1,75 \cdot 10^{-4} \frac{f L \dot{m}^2}{\rho D^5} \quad (4.6)$$

f ; sürtünme katsayısı Swamee-Jain denkleminde aşağıdaki gibi verilmiştir;

$$f = \frac{0,25}{[\log_{10}(\frac{\epsilon/D}{3,7}) + \frac{5,74}{Re^{0,9}}]^2} \quad (5.7)$$

ϵ ; boru iç pürüzlülüğü (1.48×10^{-4} ft ticari borularda bu sabit alınır)

Re ; Reynolds sayısıdır ($Re = 4 \dot{m} / \pi \mu D$)

μ ; sabit (su için 1.223×10^{-4} lbf/ft-s. 145 lbf/in², $300^\circ F$)

Boru yüksekliği bir değişiklik varsa, yerçekimi katkısı dahil edilmelidir;

$$\Delta P_g = \rho g \Delta H \quad (5.8)$$

g ; yerçekimi ivmesi ($g = 32,2$ ft/s² deniz seviyesi), ΔH ; yükseklikteki değişiklik (ft)

İki fazlı buhar-sıvı boru hatlarında basınç kaybı analizi, çok daha karmaşıktır. Basınç düşüşlerini belirlemek için saha testleri yapılarak belirlenir.

5.2.3 Enerji Dönüşüm Sistemi

İncelemeye kuyubaşından başlayacak olursak; her bir üretim kuyusunda kontrol ekipmanları vardır. Bu kontrol ekipmanları; vanalar, kuyubaşı vanası (WV), silencerlar (susturucular), siklon ayırıcı, borular, basınç ve sıcaklık göstergeleri ve bu göstergelerin kumanda odasına iletilmesini sağlayan ünitelerden oluşur (DiPippo 2012, ss. 87).

Yeraltından sıvı-buhar karışımı olarak gelen kaynak, kuyubaşından ve iletim hattından geçtikten sonra elektrik üretimi için türbine gönderilmeden önce sudan ayrıştırılması gerekir. Bu ayrışımı yapabilmek için seperatörler kullanılır. Seperatör ile ayrıştırılan buhar türbine iletilir, türbin kanatlarını döndürmesi ile mekanik enerji elde edilir. Mekanik enerji, türbin şaftı vasıtasıyla bir jeneratörü döndürerek elektrik enerjisi üretir (Tamyerli 2007, ss. 27). Türbinden geçen buhar, soğutma kulesinde elde edilen soğutma suyu ile kondenserde yoğunlaştırılır ve yeraltına enjekte edilir. Seperatör ile ayrıştırılan sıvının sıcaklığı yeterince yüksekse, ayrıştırma işlemine devam edilebilir. İkinci bir seperatörde ayrıştırılan buhar türbine gönderilir, sıvı ise sıcaklığı hala yüksek ise üçüncü bir seperatörde tekrar ayrıştırma işlemi yapılabilir. Ayrıştırmalar sonunda kalan sıvı reenjeksiyon pompaları ile yer altına enjekte edilir.

5.2.4 Çevrim Prosesinin Termodinamiği

Çevrim prosesinin analizi; temel termodinamik prensiplerine, kütle korunumu ilkesine ve enerji tasarrufu prensibine dayanmaktadır.

Sıcaklık-Entropi Proses Diyagramı

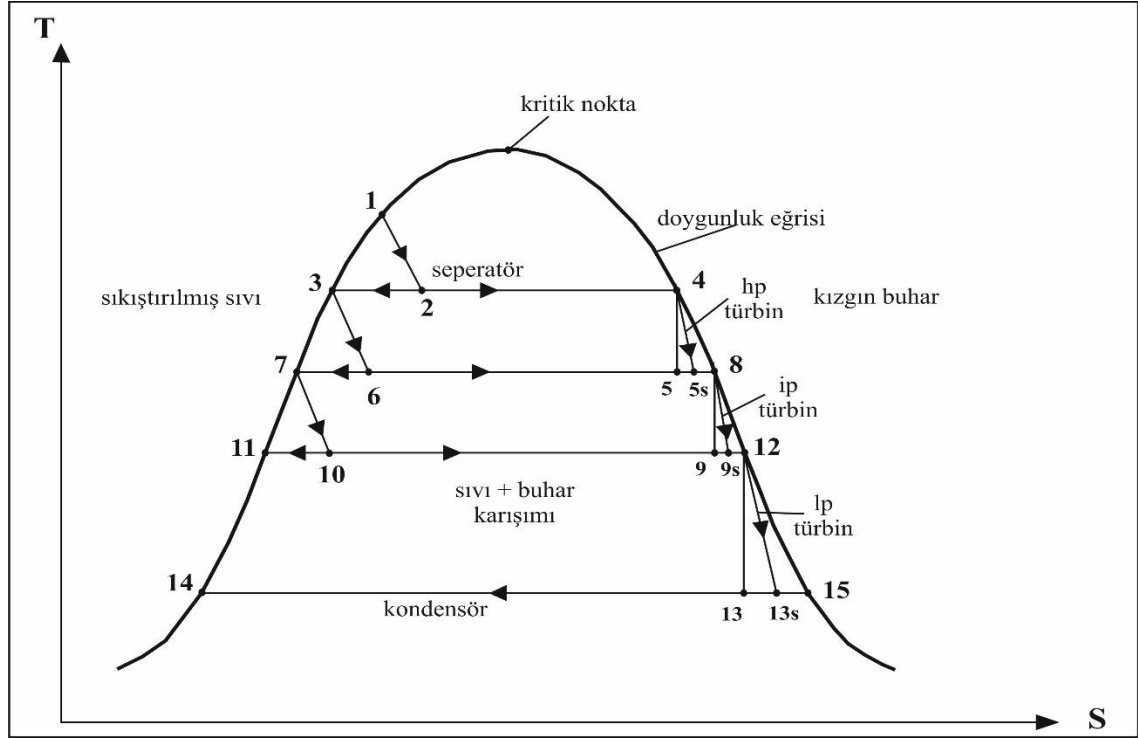
Jeotermal bir sistemde sıcaklık-entropi ilişkisini en iyi özetleyen diyagram T-S diyagramıdır. Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

Flash ve Ayrışma Prosesleri

Jeotermal kaynağın rezervuardaki mevcut durumunu temsil eden 1 noktası ile proses başlar. Eğri doymuş su ve buharı temsil eden eğridir. Kritik noktanın sağ tarafında

kızgın buhar, sol tarafında ise sıkıştırılmış su olduğu görülmektedir. Yatay çizgiler basınçları temsil eder ve basınç azaldıkça buhar oranının fazlaştığını grafikte anlatılır.

Şekil 5.3: Triple flash sistemli bir santralin T-S Diyagramı



Kaynak: DiPippo, 2012

Hiçbir etkiye gerek duymadan, kendiliğinden oluşan flashing prosesini, jeotermal akışkanın rezervuardan yüzeye geçişi 1 noktasından 2'ye giden eğri şeklinde görebiliriz. Flashın altındaki akışkanda kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiştir (bir kabul). Şu şekilde gösterilir;

$$h_1 = h_2, h_3 = h_6, h_7 = h_{10} \text{ (entalpiler eşit)} \quad (5.9)$$

Ayrıştırma prosesi sabit bir basınçta gerçekleşir. 2 noktası ayrıştırılan sıvı-buhar karışımını temsil eder. Kuruluk fraksiyonu x ile temsil edilir. Ayrıştırma noktalarındaki (2, 6, 10) kuruluk fraksiyonları, termodinamik kuralı ile aşağıdaki gibi bulunabilir;

$$x_2 = \frac{(h_2 - h_3)}{(h_4 - h_3)} \quad (5.10)$$

$$x_6 = \frac{(h_6 - h_7)}{(h_8 - h_7)} = \frac{(h_3 - h_7)}{(h_8 - h_7)} \quad (5.11)$$

$$x_{10} = \frac{(h_{10} - h_{11})}{(h_{12} - h_{11})} = \frac{(h_7 - h_{11})}{(h_{12} - h_{11})} \quad (5.12)$$

4 noktasındaki buharın kütlesi;

$$\dot{m}_{hps} = x_2 \dot{m}_{total} = \dot{m}_4 = \dot{m}_5 \quad (5.13)$$

3 noktasındaki suyun kütlesi;

$$\dot{m}_{hpb} = (1 - x_2) \dot{m}_{total} \quad (5.14)$$

8 noktasındaki buharın kütlesi;

$$\dot{m}_{ips} = x_6 \dot{m}_{hpb} = x_6 (1 - x_2) \dot{m}_{total} = \dot{m}_8 = \dot{m}_{10} \quad (5.15)$$

7 noktasındaki suyun kütlesi;

$$\dot{m}_{ipb} = (1 - x_6) (1 - x_2) \dot{m}_{total} \quad (5.16)$$

12 noktasındaki buharın kütlesi;

$$\dot{m}_{ips} = x_{10} \dot{m}_{ipb} = x_{10} (1 - x_6) (1 - x_2) \dot{m}_{total} = \dot{m}_{12} = \dot{m}_{15} \quad (5.17)$$

11 noktasındaki suyun kütlesi;

$$\dot{m}_{ipb} = (1 - x_{10}) (1 - x_6) (1 - x_2) \dot{m}_{total} \quad (5.18)$$

Ayrışan buharlar türbine gider.

Türbin Genişleme Prosesi

Yüksek basınç seperatöründe ayrıştıktan sonra 2'den 4'e doğru ilerleyen buhar, 4 noktasında yüksek basınç türbinine girer. İdeal şartlarda 4 noktasından 5 noktasına geçmesi beklenen buhar, pratikte (kayıplar nedeni ile) 5 ile 4 noktası arasında bir 5s noktasına ulaşır. Orta basınç seperatöründe ayrıştıktan sonra 6'dan 8'e ilerleyen buhar, orta basınç türbininde 8'den aynı sebeple 9s noktasına ulaşır. Alçak basınç seperatöründe ayrışan buhar da 10'dan 12'ye ilerler ve alçak basınç türbinine girdikten sonra 13s noktasına ulaşır. Yapılan iş; türbin boyunca ilerleyen buhar kütlelerinin genişlemesidir ve şu şekilde hesaplanır;

$$W_{hpt} = h_4 - h_5 \quad (5.19)$$

Türbinde hiç ısı kaybı olmadığı varsayılır. Kinetik ve potansiyel enerji değişiklikleri ihmal edilir. Türbin verimliliği (η_t);

$$\eta_t = \frac{(h_4 - h_5)}{(h_4 - h_{5s})} \quad (5.20)$$

Türbin tarafından geliştirilen brüt mekanik gücünü;

$$\dot{W}_t = \dot{m}_s w_t = x_2 \dot{m}_{total} w_t \quad (5.21)$$

Sisteme verilecek elektrik gücünü de jeneratör verimliliği ve türbin gücü ile bulabiliriz;

$$\dot{W}_e = \eta_j \dot{W}_t \quad (5.22)$$

Net gücü bulmak için pompalama gücü, soğutma kulesi fan gücü ve istasyon aydınlatma gibi tüm ek güçleri çıkarmak gerekir.

İzantropik verimliliği, nem negatif yönde etkiler. Baumann kuralına göre bu; “yüzde 1 oranında nem artışı, verimlilikte yüzde 1 azalmaya neden olur” şeklinde ifade edilmiştir. Baumann kuralına göre, türbinin izantropik verimliliği aşağıdaki gibi hesaplanmalıdır;

$$\eta_{tw} = \eta_{td} \frac{(x_4 - x_5)}{2} \quad (5.23)$$

Baumann kuralıyla türbin çıkış entalpisini hesaplamak istersek ($A=0,425(h_4-h_{5s})$ olarak sabit alınır);

$$h_5 = \frac{h_4 - A \left[1 - \frac{h_7}{h_8 - h_7} \right]}{1 + \frac{A}{h_8 - h_7}} \quad (5.24)$$

Üretilen toplam güç, türbinin güç toplamıdır;

$$\dot{W}_{total} = \dot{W}_{hpt} + \dot{W}_{ipt} + \dot{W}_{lpt} \quad (5.25)$$

Sonuç olarak, brüt elektrik gücü şu şekilde ifade edilir;

$$\dot{W}_{e,gross} = \eta_j \dot{W}_{total} \quad (5.26)$$

Yoğuşmalı prosesi

Bu proses genel olarak, soğutma kulesindeki sıvı ile türbinden çıkan sıvının sıcaklığını düşürmek ve karışım halindeki akışkanı yoğuşturmak şeklindedir. Termodinamiğin 1. Yasasına ile, enerji ve kütle korunum denklemleri ile yoğuşturucu analizleri yapılabilir. Soğutma suyunun akış hızı, buharın akış hızı ile orantılıdır (\hat{c} , soğutma suyunun sabit özgül ısı; ΔT kondenserden çıktıktan sonraki sıcaklık farkıdır; $\Delta T = T_6 - T_{cw}$).

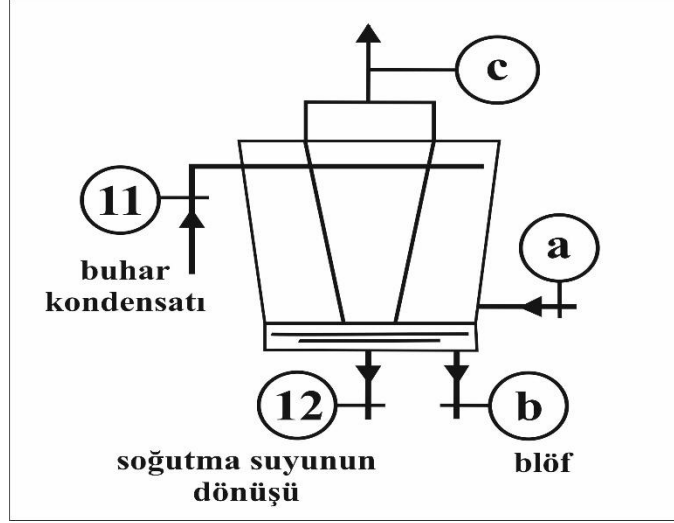
$$\dot{m}_{cw} = x_2 \dot{m}_{total} \frac{(h_5 - h_6)}{\bar{c} \Delta T} \quad (5.27)$$

Soğutma kulesi prosesi

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi soğutma kulesi akışkanın sıcaklığını düşürmek için kullanılan bir sistemdir (Kıvanç 2011, ss. 116). Bu sebeple, yoğunlaşmış buharın ısı yükünü karşılayabilecek şekilde tasarlanmalıdır. Kondenserlerden pompalanarak gelen

buhar, kulenin içine püskürtülür, bir fan aracılığı ile kulenin içine çekilir ve hava akışı ile düşer.

Şekil 5.4: Soğutma kulesi şematik gösterimi



Kaynak: DiPippo, 2012

Soğutma kulesine gelen akışkan ile soğutma kulesinden çıkıp kondensere giden akışkan arasında kütle ve enerji kaybı olmadığı varsayılır (Termodinamiğin 1. Yasası). Soğutma kulesi prosesi, su va buhardaki kütle ile ısı değişimini içerir. Kulenin genel çalışması aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\dot{m}_{11}h_{11} - \dot{m}_{12}h_{12} = \dot{m}_d h_d - \dot{m}_a h_a + \dot{m}_b h_b \quad (5.28)$$

Su kütlesi korunumu;

$$\dot{m}_{11} + \dot{m}_{wa} = \dot{m}_{12} + \dot{m}_b + \dot{m}_{wd} \quad (5.29)$$

Hava kütlesi korunumu;

$$\dot{m}_{ad} = \dot{m}_{aa} \quad (5.30)$$

\dot{m}_{wa} gelen buhardaki su içeriği, \dot{m}_{wd} çıkan buhardaki su içeriğini temsil eder ve özgül nem (w) ile aşağıdaki gibi bulunurlar;

$$\dot{m}_{wa} = w_a \dot{m}_a \quad \text{ve} \quad \dot{m}_{wd} = w_d \dot{m}_d \quad (5.31)$$

Soğutma kulesinde önemli olan 2 kriter vardır; ayırım (range) ve yaklaşım (approach). Ayırım suyun kuleden girişi ile çıkışı arasındaki sıcaklık farkıdır ($T_{12} - T_{11}$). Yaklaşım ise çıkış sıcaklığı ile ıslak termometre değeri arasındaki sıcaklık farkıdır ($T_{12} - T_{wt,a}$). Ayırımın yüksek, yaklaşım değerinin ise düşük olması kule performansının çok iyi olduğunu gösterir. Güç giren ısı enerjisi ile çıkan ısı enerjisinin farkına eşittir;

$$\dot{W}_e = Q_{in} - Q_o \quad (5.32)$$

Termal verimlilik;

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_e}{Q_{in}} \quad (5.33)$$

Kullanım verimliliği

Tüm sistemin verimliliği termodinamiğin 2. Yasası ile analiz edilir. Mevcut güç ile, verilen jeotermal akışkandan elde edilen teorik olarak maksimum güç karşılaştırılarak tesisin performansı hesaplanır. Teorik termodinamik güç (ekserjetik güç); toplam jeotermal akışkanın kütlesi ile ekserji değeri çarpılarak elde edilir.

$$\dot{E} = \dot{m}_{total} e \quad (5.34)$$

Gerçek net gücün, ekserjetik güce (teorik termodinamik güç) oranı ile, Ekserjetiğin 2. Kanunu olan kullanım verimliliğini buluruz;

$$\eta_U = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}} \quad (5.35)$$

Her türlü santralin, kullanım verimliliği bu denklem ile mukayese edilebilir.

5.2.5 Atık Su (Brine) İÇeriği

Su sıcaklığı fazla ise mineral çözünlüğü fazladır ve sıcaklık azaldıkta çözünlür haldeki mineraller, jeotermal santrallerin en büyük sorunu olan çökelmeye sebep olurlar.

Silika Kimyası

Jeotermal akışkanlarda her zaman bulunan minerallerden biri de silikadır (SiO_2). Bir çok jeolojik yapısal formda görülebilen silika, sıcaklık düştüğünde çökme eğilimindedir. Yüksek sıcaklıklardaki çözünlükler kuvars tarafından kontrol edilirken, düşük sıcaklıktaki akışkan ise amorf silika tarafından kontrol edilir. Kuvars aşırı doymuş halde bulunduğu için, proseslerin uygun tasarlanması ile doymun olan amorf silis çökmesini önlemek mümkündür.

Silika Ph ve tuzluluk konusunda işlevseldir. Belirli bir sıcaklık ve Ph değerinde, sulu çözeltilerde kuvars ya da amorf silis daha az çözünlüğe ve daha fazla tuzluluğa sahiptir. Belirli bir sıcaklık ve tuzlulukta, amorf silis çözünlüğü Ph'nin düşük değerlerinde (asidik) bağımsız olsa da, Ph'nin nötr üstü değerlerinde hızlıca artar. Yüksek tuzluluğa sahip akışkanlarda etkisi daha belirgindir. Silika çökelinin kinetiğini etkileyen 4 parametre vardır;

- 1 Aşırı doymunluk derecesi (SiO_2 denge konsatrasyonu)
- 2 Sıcaklık
- 3 Çözeltinin tuzluluğu ya da molalitesi
- 4 Partiküler ya da koloidal silis bulunması

İlk 2 maddede, uygun seperatör (ayırıştırıcı) ve flash seçimleri ile engellenebilir. 3. madde kontrol edilemeyen bir akışkan özelliğindedir. 4. madde için, akışkanın üretim kuyularından reenjeksiyon kuyularına kadar boru ve diğer ekipmanlarla ilerlenmesi sağlanarak ayarlanabilir.

Silika Çökmesi Prosesi

Rezervuar kaynağı sıcaklığı daha yüksek olduğu için, silika çökeli mi triple flashlı sistemlerde diğer flash sistemli lere kıyasla daha fazla görülmektedir. Ayrıca,

seperatörden ayrılarak tekrar ve tekrar değerlendirilen atık su, daha yüksek silika konsantresine sahiptir.

Rezervuar sıcaklığının t_1 olduğu ilk duruma bakacak olursak; akışkan, kuvars tarafından çözünürlüğü belirlenen silika çözeltisi taşır. Suyun saf olduğu varsayımıyla, kuvars konsantrasyonu aşağıdaki gibi gösterilebilir;

$$Q(t) = 41,598 + 0,23932t_1 - 0,011172t_1^2 + 1,1712 \cdot 10^{-4}t_1^3 - 1,9708 \cdot 10^{-7}t_1^4 \quad (5.36)$$

(sıcaklık değeri Celsius, kuvars konsantrasyonu (Q) birimi mg/kg ya da ppm)

Rezervuar akışkanı çeşitli proseslerden geçerken, silika sıvı içinde kalır ve sıvı içindeki konsantrasyonu artar;

$$S(t_3) = \frac{Q(t_1)}{(1 - x_2)} \quad (5.37)$$

$$S(t_7) = \frac{Q(t_1)}{(1 - x_2)(1 - x_6)} \quad (5.38)$$

$$S(t_{11}) = \frac{Q(t_1)}{(1 - x_2)(1 - x_6)(1 - x_{10})} \quad (5.39)$$

S; amorf silika tarafından (kuvars değil) kontrol edilen silika konsantrasyonunu gösterir. Binary çevrimler kullanılacaksa silika çözeltisi belli bir değerin altına düşürülmelidir. Silika çökelmesi olmadan önce, akışkanın daha düşük sıcaklıkta soğutulmasını sağlar.

5.2.6 Flaş Sistemli Santrallerin Çevresel Koşulları

Flash sistemlerde emisyonların oluşabileceği belli başlı yerler vardır;

- Kuyubaşı silencerları (susturucuları)
- Buhar kapanları ve boru hatlarındaki drenajlar
- Yoğunlaştırılmayan gaz ejektörlerindeki havalandırma delikleri

- d. Soğutma kulesindeki su buharı
- e. Soğutma kulesi boşaltması

Jeotermal buhar, hidrojen sülfid (H_2S), karbon dioksit (CO_2), metan (CH_4) ve çok az miktarda başka gazlar gibi yoğunlaşmayan gazlar içerir. Buharın kontrolsüz tahliyesi tüm bu gazları atmosfere salar. Normal şartlar altında bu gazlar kondansatörde izole edilir, ejektörlere çekilir ve gerekirse atmosfere yayılmadan önce işleminden geçirilir. Eğer salınan miktar ayarlanan limitleri aşarsa H_2S 'i gidermek için pek çok güvenilir ve maddi açıdan efektif yöntemler uygulanır. Flash tesislerinden salınan CO_2 , sera gazlarının nispeten küçük bir kısmını teşkil eder: Flash tesisler, 0.59 kg/kWh ile doğal gaz yakıtlı türbin ve 1.13 kg/kWh ile kömür yakıtlı tesisle kıyaslandığında 0.06 kg/kWh yayarlar.

Ayrıştırılmış tuzlu su, yüksek konsantrasyonlarda, akışkanda bulunan hemen hemen tüm çözünmemiş minerali içerir. Tipik olarak tuzlu suda bulunan bazı elementler (As, B, Ca, Cl, F, Li, Mg, K, Si, Na), karışımlarına izin verilirse, yüzeyi veya yeraltı sularını olumsuz etkileyecektir.

Su kirlenmesini engellemek için en etkin yol atık suyu reenjeksiyon yapmaktır. Reenjeksiyon işlemi aynı zamanda rezervuardaki basıncı da dengeleyeceği için, yüzey çökmeleri için de bir önlem olacaktır. Reenjeksiyon yaparken dikkat edilmesi gereken en önemli husus ise, rezervuardaki suyun sıcaklığını düşürmeyecek kadar iyi bir yer seçmektir. Rezervuar modellemeleri yer seçimi için yardımcı olur.

Sondaj operasyonu ve kuyu testleri gürültülü işlemlerdir. Silencerlar bunları azaltabileceği gibi sondaj yerlerinin yerleşim yerlerine yakın seçilmemesi de uygun bir önlemdir. Jeotermal enerji santralleri, diğer birçok enerji santrallerinden daha az arazi alanı gerektirir. İletim boru hatları yeraltından geçirilirse hem arazi kullanımı açısından hem görsel kirliliği engellemek açısından daha yararlı olacaktır. Santral bölgesi de ağaçlandırma ve tasarımlarla görsel anlamda bir değişiklik sunabilir.

Jeotermal rezervuarlar, hassas jeolojik yapıların bir ürünü olduğu için, gerçekleşen jeolojik değişikliklere uyum sağlayamazlar. Doğanın kendisi, doğal etkenler aracılığıyla bu mekanizmaları bozabilir. Gayzerler ya da depremler gibi etkenler sonucu, doğal termal etkiler doğanın kendisi tarafından değiştirilebilir. Santral sahası üretim için uygun olmadığı zaman kapatılması gerekir.

Tablo 5.1 Jeotermal enerjinin çevresel etkileri ve çözümleri

Olası etkisi	Ayrıntılar	Azaltım Teknikleri
Hava Kirliliği	H ₂ S emisyonları	Kullanılan çeşitli ticari sistemler
Su Kirliliği	Atık suların yüzeye boşaltılması, yeraltı sularını kirletmesi	Reenjeksiyon
Gürültü Kirliliği	Sondaj operasyonu, kuyu testleri	Silencer (susturucular)
Görsel Kirlilik	Çirkin borular ve doğal alanlarda inşaa edilen binalar	Düşük seviyeli yapıları kullanmak, Ekipmanları çeşitli renklere boyamak
Arazi Kullanımı	Well pad, boru hatları, santral binası ve trafo	Çok daha düşük etki bilinen tesisleri
Su Kullanımı	Soğutma kulesi (ikili santraller için)	Hava soğutmalı kondenserler kullanın
Arazi Çökmesi	Yeraltından su çıkarmak; yüzey çöküntülerine neden olabilir	Çok nadir, örn. Wairakei, Yeni Zelanda
Sera Gazları	CO ₂ emisyonları	Fosil yakıtlara göre çok az emisyon
Doğal Güzellikleri Kaybı	Termal bulgular kaybolabilir. Örneğin, Beowawe ve Vapur Springs, Nevada gayzer	Kaynakları büyütmek ya da ulusal parklara yakın yerlerde yapmamak

Kaynak: DiPippo, 2012.

5.2.7 Flaş Sistemli Santrallerin Ekipman Listesi

1. Kuyubaşı, Brine ve Buhar Besleme Sistemi

Kuyubaşı vanaları ve kumandaları (blowout preventer, master vanalar)

Seperatör Tankları (Dikey siklon tipi; alt-çıkış buhar tahliye, harici ve entegre su toplama tankı)

Flash Tankları (double ve triple flashlı sistemlerde)

Dikey veya yatay alçak basınç tankları

Giriş vanaları veya basınç düşüşünü kontrol eden plakalar

Atmosferik basıçtan daha büyük operasyon basıncı

Nem sökücü (double ve triple flashlı sistemlerde) (Yüksek, orta ve alçak basınç buhar hatlarında)

Çek Valfler

Buhar Boruları, İzolasyon, Destekler (kondensat kapanları, genişleme loopları ve spoolları)

Buhar Başlığı

Nem Sökücüler (dikey nem giderici)

Silencerlar (Susturucular)

Brine boruları, İzolasyonu ve Destekleri

2. Turbin-Jeneratör ve Kumandaları

Buhar türbin-jeneratör Ünitesi ve Aksesuarları

Çok kademeli, darbe reaksiyon türbini; nem giderme, tek silindirli, tek akışı veya çift akışlı, tandom-bileşiği, dört akımlı)

Rotor malzemesi: Paslanmaz Çelik (Tip % 12 Cr, % 6 Ni, % 1.5 Mo)

Bıçak malzemesi: Paslanmaz Çelik (Tip 403, % 13 Cr)

Stator malzemesi: Karbon Çelik

Yağlama yağı sistemi

Kontrol Sistemi

Hava Kompresörleri

3. Kondenser, Gaz Püskürtme ve Kirlilik Kontrolü

Kondenser

Yüzey tipi veya doğrudan temas

- Barometrik veya düşük seviyeli jet tipi
- Entegre gaz soğutucu
- İslanmış yüzeyler için: Paslanmaz Çelik
- Kondenser Pompaları ve Motorları
 - Dikey, santrifüj pompaları
 - İslanmış yüzeyler için: Paslanmaz Çelik
 - 2 tane yüzde 100 kapasite üniteleri
 - Elektrikli Motor
- Gaz Giderme Sistemi
 - Soğutucu arası ve sonrası buhar jet ejektörleri
 - Turbokompresör
 - Hibrid ejektör/kompresör
- NCG Arıtma Sistemi
- 4. Isı Rejeksiyon Sistemleri
 - Soğutma Kulesi
 - Çok hücreli, mekanik kaynaklı taslak, karşı akışlı ya da çapraz akışlı tip
 - Doğal taslak tipi (nadir kullanılır)
 - Damla tutucu
 - İnşaat için yangın geciktirici maddeler
 - Soğutma Su Pompa ve Motorları
 - Dikey, santrifüj, wet-pit tip
 - İslanmış yüzeyler için Paslanmaz Çelik
 - Low-head, yüksek debi tipi
 - 4 tane yüzde 25 ya da 2 tane yüzde 50 kapasite üniteleri
 - Elektrikli Motor
- 5. Soğutma Suyu Arıtma Sistemi
 - Ph (6,5-8,0) kontrolü için kimyasal katkı maddeleri
- 6. Yedekleme Sistemleri
 - Standby Güç Kaynağı
 - Izgaradan geri besleme
 - Dizel jeneratör
- 7. Gürültü Azaltma Sistemi

Rock mufflerları buhar için

Gürültülü sıvı işleme bileşenleri için akustik yalıtım

8. Akışkan Bertaraf sistemi

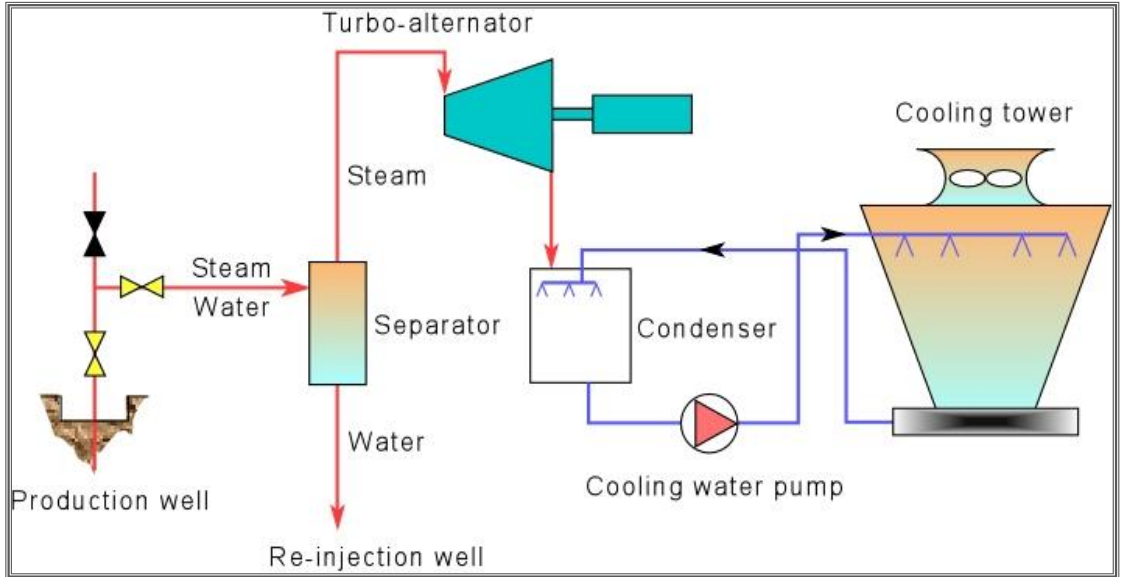
Enjeksiyon kuyuları (soğutma kulesi boşaltma)

Kuyular ve seperatörler için acil önlem havuzları

Geçirimsiz lagünler (atık su için)

Aşağıda tekli ayrıştırırmalı bir sistem düzeneği görülmektedir. Seperasyon ünitesine giren buhar-su karışımı buharın türbine suyun ise rezervuara gönderilmesi prensibi üzerine kuruludur (Şekil 5.5).

Şekil 5.5: Single flash sistemli santral şematığı



Kaynak: Boyle, Renewable Energy, 2004.

5.3 BİNARY ÇEVİRİM SİSTEMLİ SANTRALLER

5.3.1 Giriş

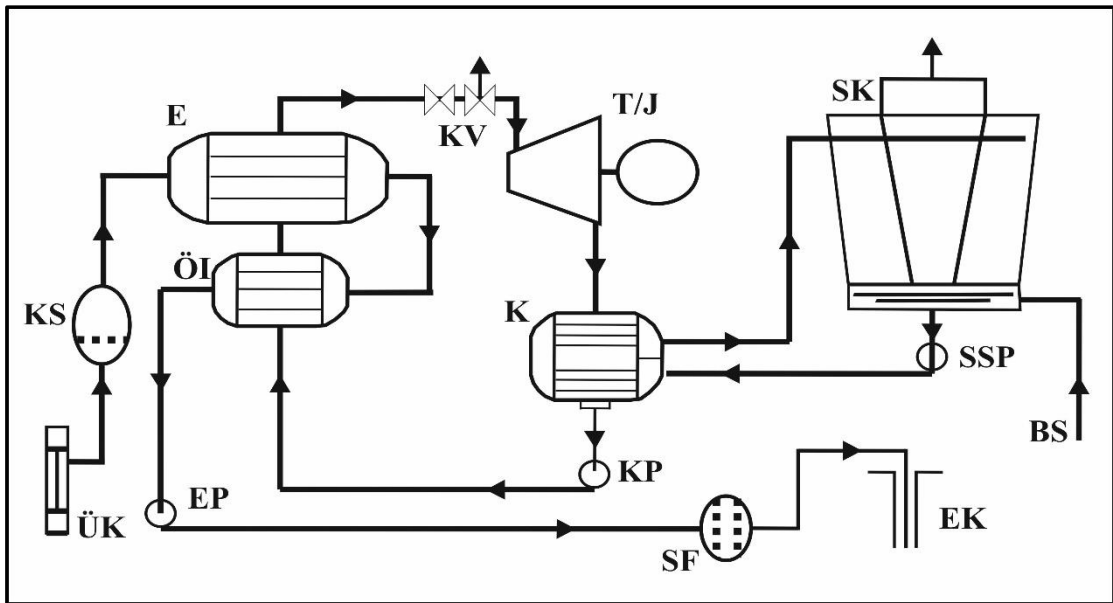
Diğer sistemlere kıyasla, akışkanın nispeten daha düşük sıcaklığa sahip olması ya da akışkanın direkt türbine verilmesinin uygun olmayacağı şekilde kirli olması nedeni ile tercih edilen sistemdir. Binary sistemlerinde, rankine çevrimine uygun olarak çalışan,

düşük kaynama sıcaklıklı ve düşük sıcaklıkta yüksek buhar basıncına sahip ikincil bir akışkan kullanılır.

5.3.2 Temel Binary Çevrim Sistemleri

Jeotermal akışkan sıcaklığı 180°C 'den küçük olduğu durumlarda flash sistemli santrallerin kullanımı hem verimlilik açısından hem de ekonomik açıdan uygun olmaz (DiPippo 2012, ss. 153). Düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynakların olduğu rezervuarlarda, kaynama noktası daha düşük olan ikincil bir akışkanın türbinden geçeceği şekilde bir binary çevrim sistemi tasarlanmıştır. Jeotermal akışkan ısı kaynağını oluşturur (Tamyerli 2007, ss. 30).

Şekil 5.6: Binary jeotermal elektrik santralinin şematik gösterimi

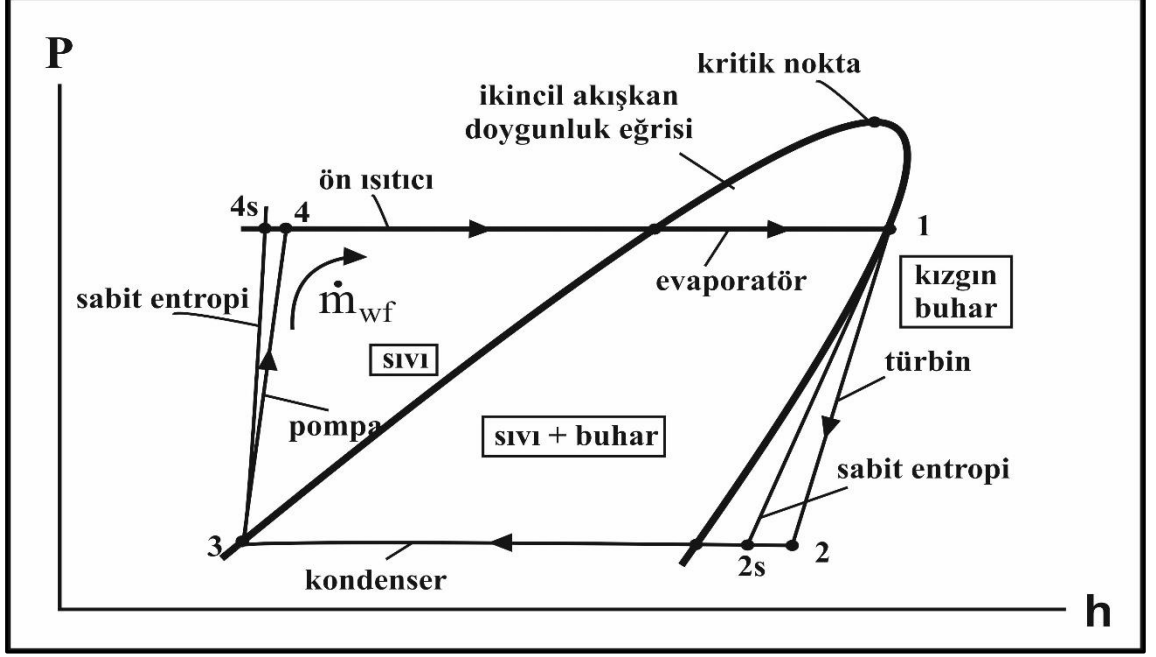


Kaynak: DiPippo, 2012

Genel olarak binary çevriminin akış diyagramı Şekil 5.6'da verilmiştir. Pompalar (P) üretim kuyularına (PW) takılmıştır. Pompalarla çekilen jeotermal akışkan, korozyon ve erozyonu engellemek için gerekli olan kum sökücülerden (SR) geçerek, evaporatöre (E) gelir ve doymuş buhar olarak çıkar. Ön ısıtıcı (PH) ile akışkan kaynama noktasına getirilir. Akışkan kalsiyum karbonat çökelimine yol açmaması için flash noktası üzerinden bir basınçta tutulur. Aynı zamanda akışkan sıcaklığı, silika çökelimine neden

olmaması için de özellikle enjeksiyon kuyusuna giden borularda, belirli bir sıcaklığın altına düşürülmemesi gerekir. İkincil akışkanın termodinamik süreçleri Şekil 5.7'deki P-h (basınç-entalpi) diyagramında gösterilmiştir.

Şekil 5.7: Basınç entalpi (P-h) diyagramı



Kaynak: DiPippo, 2012

5.3.2.1 Türbin analizi

Binary türbinlerin analizleri, buhar türbinlerinki ile aynıdır. Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edilebilir varsayımı ile, güç aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\dot{W}_t = \dot{m}_f(h_1 - h_2) = \dot{m}_f \eta_t (h_1 - h_2) \quad (5.40)$$

η_t ; izotropik türbin verimini gösterir. İkincil akışkan için, tasarım parametreleri ne olursa olsun, tablolardan ya da korelasyon yapılarak, termodinamik özellikleri rahatlıkla bulunabilir (DiPippo 2012, ss. 155).

5.3.2.2 Kondensar analizi

Kondensar analizleri de, flash ve kuru buhar sistemlerindeki kondenserler ile aynıdır. Soğutma ortamındaki ikincil akışkandan çıkan ısı aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$Q_c = \dot{m}_f(h_2 - h_3) \quad (5.41)$$

İkincil akışkan ile soğutma suyu arasındaki akışkan hızları aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\dot{m}_{cw}(h_y - h_x) = \dot{m}_f(h_2 - h_3) \text{ ya da } \dot{m}_{cw}\bar{c}(T_y - T_x) = \dot{m}_f(h_2 - h_3) \quad (5.42)$$

Soğutma suyunun giriş ve çıkışı arasındaki küçük sıcaklık aralığında, özgül ısısı sabit bir c sayısı olarak gösterilir. Atık ısıyı gerekli miktarda dağıtabilmek için, $(T_y - T_x)$ bir kütle akış oranı gerekir.

5.3.2.3 Besleme pompası analizi

Diğer denklemlerdeki varsayımlar aynen kullanarak, η_p izentropik pompa verimi olarak gösterilirse, besleme pompası tarafından kazandırılan ikincil akışkana ait güç aşağıdaki şekilde ifade edilir;

$$\dot{W}_p = \dot{m}_f(h_4 - h_3) = \dot{m}_f(h_2 - h_3)/\eta_p \quad (5.43)$$

5.3.2.4 Isı değiştirici analizi: ön ısıtıcı ve evaporatör

Termodinamik ve kütle korunumu yasalarının başka basit bir uygulaması da, jeotermal brine içindeki ikincil akışkan transferlerinde oluşan jeotermal enerjiye ait, ısı değişim analizleridir.

Bütün ısı transferlerinin brine ile ikincil akışkan arasında ve akışın sürekli olduğunu varsayımıyla (giriş-çıkış arasında potansiyel ile kinetik enerji farklılıkları ihmal edilir),

$$\dot{m}_b(h_a - h_c) = \dot{m}_f(h_1 - h_4) \quad (5.44)$$

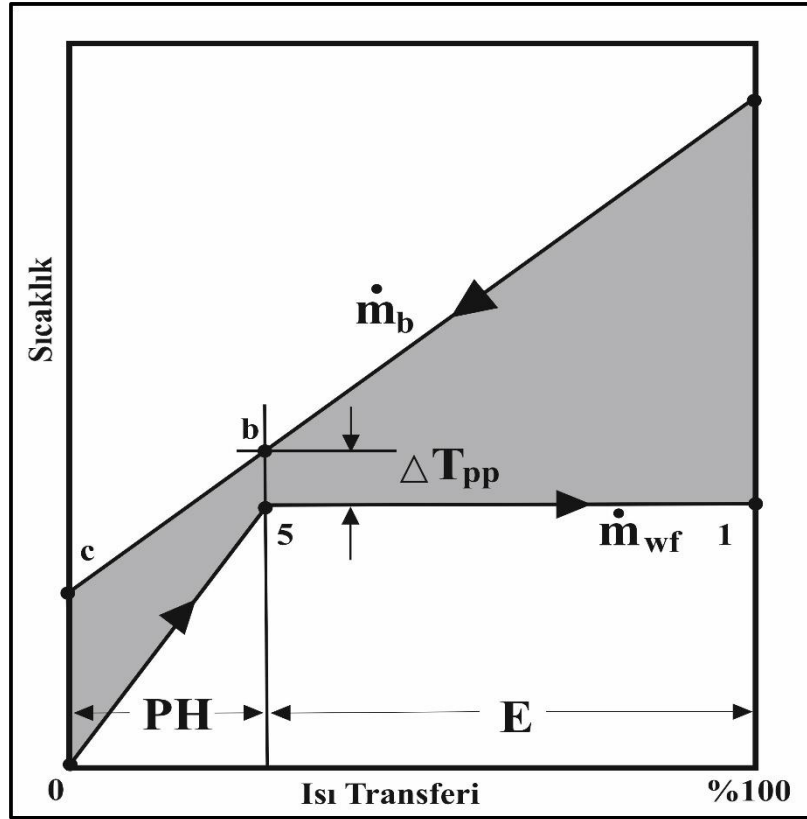
Brineda düşük çözünürlüklerde gaz ve katı var ise, denklemin sol tarafı brine'ın ortalama özgül ısısı ile değiştirilebilir;

$$\dot{m}_b \bar{c}_b(T_a - T_c) = \dot{m}_f(h_1 - h_4) \quad (5.45)$$

buradan brine debisini bulunabilir;

$$\dot{m}_b = \dot{m}_f \frac{h_1 - h_4}{\bar{c}_b(T_a - T_c)} \quad (5.46)$$

Şekil 5.8: Ön ısıtıcı ve evaporatörün sıcaklık-ısı transferi diyagramı.



Kaynak: DiPippo, 2012

Isı değiştiricilerin tasarımı için başka bir diyagramı incelemek gerekebilir; sıcaklık-ısı transferi (T-Q) diyagramı. Yatay koordinat, brine'dan geçen ikincil akışkanın toplam ısı miktarını temsil eder ve birimi kJ/kg wf olarak gösterilebilir. Ön ısıtıcı (Öİ) ikincil

akışkanı kaynama noktası olan 5'e yükseltebilmek için ısısını artırır. Saf ikincil akışkan için buharlaşma, izoterm boyunca (5-1) meydana gelir (Şekil 5.8).

Buharlaşma saf ikincil akışkan için bir izoterm boyunca meydana gelir. Brine ile ikincil akışkan arasındaki sıcaklık farkının değeri sıkıştırma noktasındaki sıcaklık farkı olarak belirlenir (ΔT_{pp}). 4 noktası sıkıştırılmış sıvı, 5 noktası kazan basıncında doymuş sıvı, 1 noktasında doymuş buhar özellikleri görülmektedir. Bu sayede 2 ısı eşanjörü ayrı ayrı analiz edilebilir.

Ön Isıtıcı;

$$\dot{m}_b \bar{c}_b (T_b - T_c) = \dot{m}_f (h_5 - h_4) \quad (5.47)$$

Evaporatör;

$$\dot{m}_b \bar{c}_b (T_a - T_b) = \dot{m}_f (h_1 - h_5) \quad (5.48)$$

Brine giriş sıcaklığı T_a , sıkıştırma noktasındaki sıcaklık farkı genellikle T_b olarak gösterilir ve T_5 bilinen değeri ile hesaplanmaya çalışılır. Sıkıştırma noktası teorik olarak ön ısıtıcının soğuk sonunda oluşuyorsa da, pratikte hiç böyle değildir.

Her iki akışkan arasındaki evaporatörün ısı transfer yüzey alanı (A_E), temel ısı geçişi ile belirlenebilir;

$$Q_E = \bar{U} A_E LMTD|_E \quad (5.49)$$

\bar{U} ; toplam ısı transferi katsayısını, LMTD; günlük ortalama sıcaklığı temsil eder. Buharlaştırıcı ortalama sıcaklığı;

$$LMTD|_E = \frac{(T_a - T_1) - (T_b - T_5)}{\ln \left[\frac{T_a - T_1}{T_b - T_5} \right]} \quad (5.50)$$

şeklinde hesaplanır. Buharlaştırıcı ısı transfer oranı da;

$$Q_E = \dot{m}_b \bar{c}_b (T_a - T_b) = \dot{m}_f (h_1 - h_5) \quad (5.51)$$

Ön ısıtıcı için düşündüğümüzde;

$$Q_{\dot{O}I} = \bar{U} A_{\dot{O}I} LMTD|_{\dot{O}I} \quad (5.52)$$

$$LMTD|_{\dot{O}I} = \frac{(T_b - T_5) - (T_c - T_4)}{\ln \left[\frac{T_b - T_5}{T_c - T_4} \right]} \quad (5.53)$$

(5.52) ve (5.53) ten yola çıkarak aşağıdaki denklem yazılabilir;

$$Q_{\dot{O}I} = \dot{m}_b \bar{c}_b (T_b - T_c) = \dot{m}_f (h_5 - h_4) \quad (5.54)$$

Toplam ısı transferi katsayısı olarak (\bar{U}), santralde kullanılmak için uygun akışanı tespit edilmelidir. Isı eşanjörleri çeşitli şekillerde inşa edilebilmekte olup, yapısal olarak yukarıdaki denklemler kullanılarak düzenleme yapılmalıdır.

5.3.2.5 Genel döngü analizi

Binary sistemlerinin tamamına bir bütün olarak bakacak olursak, termal verimlilik kullanarak 1. Kuralı ile değerlendirilebilir;

$$\eta_{th} = \frac{\dot{W}_{net}}{Q_{\dot{O}I/E}} \quad (5.55)$$

Döngünün net gücü, ısı güç girişi ve çıkışı arasındaki farktır ve aşağıdaki gibi formüle edilir;

$$\eta_{th} = 1 - \frac{Q_c}{Q_{\dot{O}I/E}} = 1 - \frac{h_2 - h_3}{h_1 - h_4} \quad (5.56)$$

Çıkan ısı;

$$\frac{Q_c}{\dot{W}_{net}} = \frac{1}{\eta_{th}} - 1 \quad (5.57)$$

Bu formüller, santral için değil, döngü için geçerlidir. Eğer santral için yapılacak hesaplamada net çevrim enerjisi kullanılacaksa, santrali tam karşılayabilmek için kuyu pompaları, soğutma kulesi fanları, istasyon aydınlatması gibi yardımcı güçlerin de hesaplanmasına ihtiyaç vardır. Tüm bu ek hesaplanan güçler, net çevrim gücünden çıkarılmalıdır.

Döngüsü ve tesis performansının bir diğer hesaplaması, kullanım verimliliğinin (η_u) 2. Yasası ile elde edilebilir. Kullanım verimliliği rezervuardaki akışkandan elde edilen gerçek net tesis gücünün, maksimum teorik güce oranı olarak tanımlanır.

$$\eta_u = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{E}_{rez}} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{m}_b(h_{rez} - h_0) - T_0(s_{rez} - s_0)} \quad (5.58)$$

T_0 ; (ölü durumda) soğutma kulesi kullanılması durumundaki lokal termometre sıcaklığı, h_0 ve s_0 ; 0 anındaki basınç ve sıcaklıkta, akışkanın entalpi ve entropi değerleri

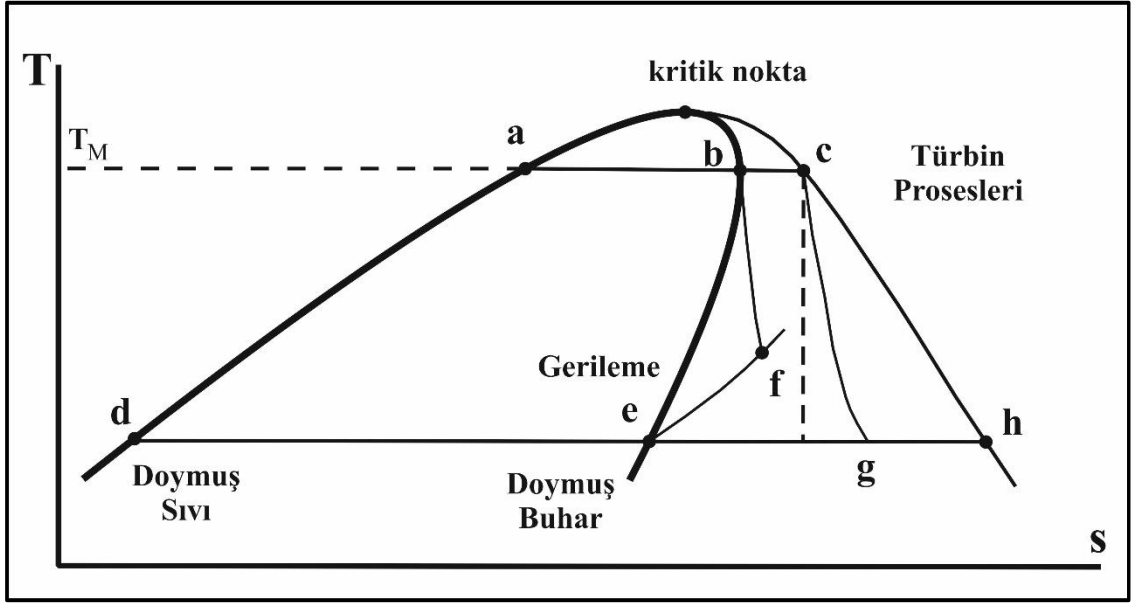
5.3.3 İkincil Akışkan Seçimi

İkincil akışkan seçimi, binary tesisinin performansı için büyük önem taşır. İkincil akışkan için bir çok seçenek varken, termodinamik akışkanların özelliklerinin yanı sıra sağlık, güvenlik ve çevresel etki gibi kısıtlamalar da vardır.

İkincil Akışkanın Termodinamik Özellikleri

Bu akışkanların binary karışımları, jeotermal binary tesisleri için de incelenmiştir. İkincil akışkanın en önemli kriteri, kritik sıcaklık ve basınçların jeotermal akışkandan daha düşük olmasıdır. Isı değiştiricide termodinamik kayıpları gösteren, brine soğutma eğrisi ve ikincil akışkanın ısınma-kaynama çizgisi arasındaki alan küçüldüğü için azalmıştır.

Şekil 5.9: Normal ve geriye doymuş buhar eğrilerinin kontrast T-S Diyagramı.



Kaynak: DiPippo, 2012

İkincil akışkan olarak propan (C_3H_8), i-bütan (i- C_4H_{10}), n-bütan (C_4H_{10}), i-pentan (i- C_5H_{12}), n-pentan (C_5H_{12}), amonyak (NH_3) vb. tercih edilir. İzopentan ve izobütan doymuş buhar eğrileri pozitif eğilimindedir. Türbin çıkışında hala kızgın buhar halde olabildikleri için, proses boyunca nem olmadığından türbin aşınmaları oldukça önlenir. Az deformasyon, düşük kaynama sıcaklıkları ve yüksek ısıl kapasiteleri nedeni ile izopentan ve izobütan daha çok tercih edilirler (Tamyerli 2007, ss. 32). Amonyak-su karışımı, ikincil akışkan için en yüksek verime sahip olsa da zehirli ve zararlı olmaları sebebi ile çok tercih edilmez.

5.3.4 Geliştirilmiş Binary Çevrimleri

Geliştirilmiş bir binary çevrimi hakkında fikir sahibi olmak için önce teorik bir binary çevrimine göz atmak gerekir.

5.3.4.1 İdeal bir binary çevrim

Basit bir binary santralinin düşük ısıl verimliliğinin olmasının nedeni ısı kaynağı ile soğutucu arasındaki küçük sıcaklık farkıdır. Isı kaynağı (T_H) ile soğutucu (T_L)

sıcaklıkları arasında çalışan termodinamik ideal çevrimi; T_H sıcaklığında, izantropik genişleme süreci olan izotermal ısı ekleme prosesini ve ardından gelen T_L sıcaklığında, izantropik sıkıştırma süreci olan izotermal ısı çıkış prosesini kapsar.

Carnot verimliliği bu iki sıcaklık arasında kalan çevrimin en yüksek verimliliğini temsil eder ve aşağıdaki gibi formülüne edilir;

$$\eta_{cc} = \eta_{max} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \quad (5.59)$$

Aslında, brine izotermal bir ısı kaynağı değildir, fakat ikincil akışkanı ısı transferi ile soğutur.

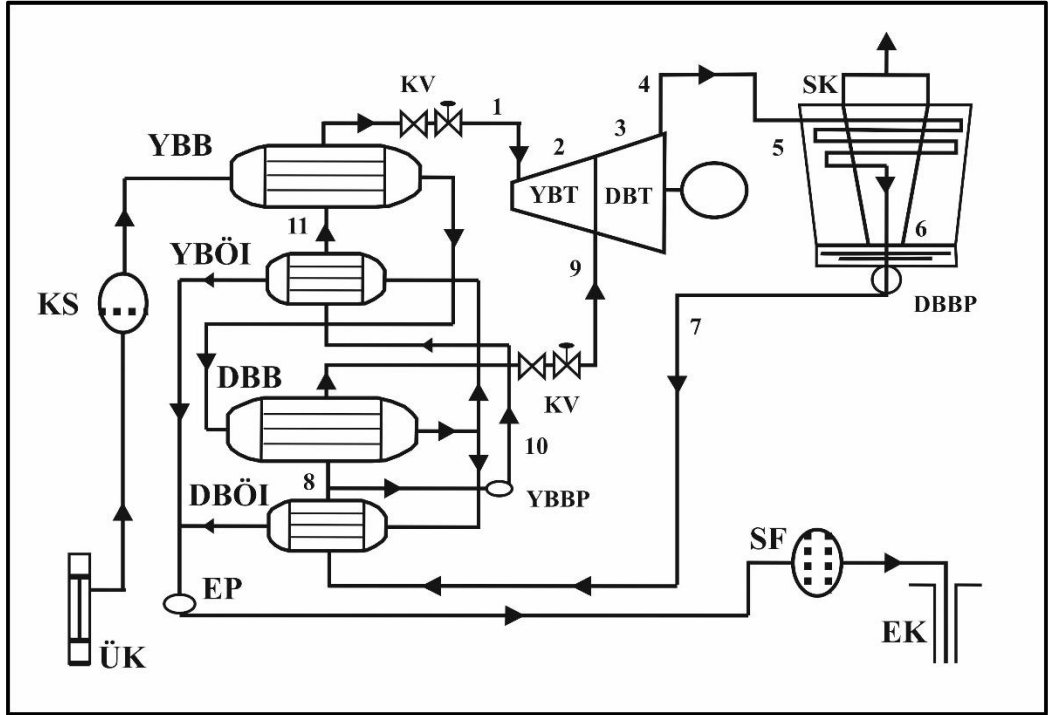
5.3.4.2 Çift basınçlı binary çevrim

Çift basınçlı binary çevrimler, termodinamik kayıpları azaltmak için geliştirilmiştir (Kökçe 210, ss. 30). Bu tip Binary Çevrimlerde kuyulardan gelen jeotermal akışkan önce 1. Kademe binary sisteme gider buradaki ikincil akışkanı buharlaştırarak, 2. kademeye geçer ve buradaki ikincil akışkanı buharlaştırarak, rezervuara reenjekte edilir. Bu sistemlerde işlemler boyunca jeotermal akışkan sıvı fazda bulunur. Bu sayede kabuklaşma sorunu ortaya çıkmaz (Coşkun 2011, ss. 16). Tek basınçlı binary çevrimlerinin, çift basınçlı binary çevrimlere göre ısı verimleri düşük olmasına rağmen, kullanım verimleri yüksektir (Durmuş, 2006).

5.3.4.3 Kalina tipi binary çevrim

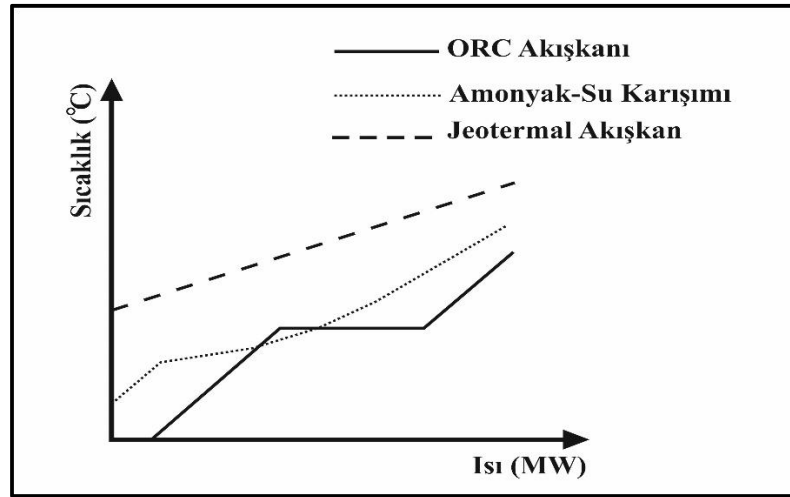
Binary sistemli çevrimler arasında en verimli olarak görülen çevrim Kalina Tipidir. İkincil akışkan olarak, değişken buharlaşma ve yoğunlaşma sıcaklığına sahip olan amonyak-su karışımı (yüzde 82 Amonyak) kullanılır (Coşkun 2011, ss. 17). Kalina çevriminin diğerlerine kıyasla daha verimli olmasının sebebi, enerji verimliliğinin temel sebebi olan, (ikincil akışkan) amonyak-su karışımının buharlaşma sırasındaki sıcaklık değişim eğrisi ile jeotermal akışkanın ısı verme sırasındaki sıcaklık azalma eğrisinin birbirine çok yakın olmasıdır (Tamyerli 2007, ss. 35).

Şekil 5.10: Çift basınçlı binary jeotermal santrali akış şeması



Kaynak: Durmuş, 2006

Şekil 5.11: Akışkanların buharlaşma eğrileri



Kaynak: DiPippo, 2012

Şekil 5.11'de görüleceği gibi, Termodinamik kayıpları gösteren; jeotermal akışkanın buharlaşma eğrisiyle, amonyak-su karışımının buharlaşma eğrisi arasındaki alan organik rankie çevrimi akışkanı eğrisi ile olan alandan daha küçüktür (Coşkun 2011, ss. 18).

5.3.5 Binary Çevrim Sistemli Santrallerin Çevresel Koşulları

Binary çevrimlerinin çevresel şartlarını incelediğimizde, tek etkinin ısı çıkışı sırasında olduğu tespit edilir ve bu sebeple jeotermal santraller arasında çevreye en uyumlu olan sistem olduğu söylenebilir. Rezervuardan pompalarla çekilen ve ısı transferi sonrasında tekrar rezervuara gönderilen jeotermal akışkan yer üstü ile ne fiziksel ne de kimyasal açıdan hiç teması yoktur.

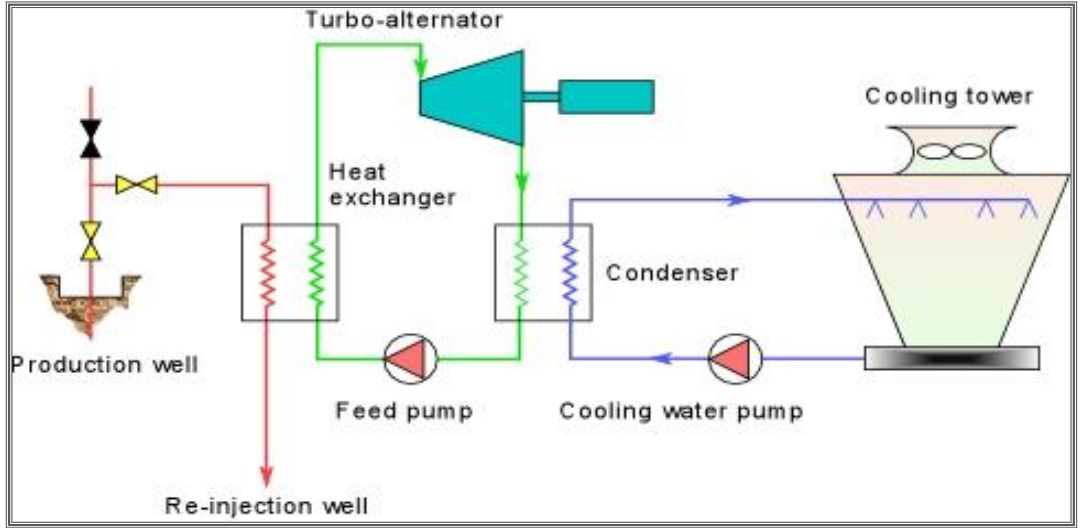
Jeotermal santrallerin her biri, diğer termik santrallere kıyasla çok fazla atık ısı çıkışına sebep olduğu için, binary çevrimlerinde (sadece) termal kirlilikten bahsedilebilir. Güç kaybına da neden olan bu ısı çıkışına engel olabilmek için yalıtıma önem verilmelidir. Santral çevresinde yapılabilecek toprak ya da sera ısıtması gibi faaliyetler de ısı kaybını minimize edebilir.

5.3.6 Binary Çevrim Sistemli Santrallerin Ekipman Listesi

1. Downwell Pompalar ve Motorlar
Çok kademeli santrifüj pompalar, güç prizi odaklı elektrikli motorlar
2. Kaynak Su (Brine) Besleme Sistemi
Kum temizleme sistemi
3. Kaynak Su ve İkincil Akışkan Isı Eşanjörleri
Ön Isıtıcı
Evaporatör/ Kızdırıcı
4. Türbin-Jeneratör ve Kontrolleri
İkincil akışkan türbini (eksenel ve radyal akış), jeneratör ve aksesuarları
5. İkincil Akışkan Kondenseri, Akümülatör ve Depolama Sistemi
Kondansatör
Döküm tankı ve akümülatör
Depolanan İkincil Akışkanı bakım sırasında tahliye etmek için pompalar
6. İkincil Akışkanı Besleme Pompa Sistemi
Kondensat pompaları
Buster pompaları (gerekirse)

7. Isı Atma Sistemi
 - Islak soğutma sistemi
 - Kuru soğutma sistemi (telafi su kaynağı mevcut değilse)
8. Yedekleme Sistemleri
 - Standby güç kaynağı
9. Brine Bertaraf Sistemi
 - Brine dönüş pompaları ve boruları
10. Yangın Koruma Sistemi (ikincil akışkan yanıcı ise)

Şekil 5.12: Binary çevrim sistemli santral şematığı



Kaynak: Boyle, Renewable Energy, 2004

5.4 KOMBİNE SİSTEMLER

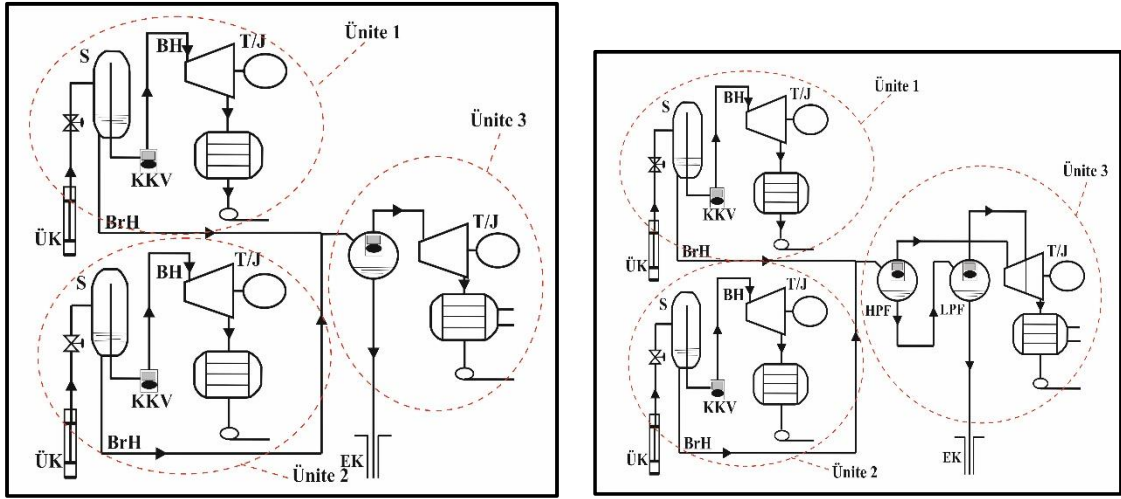
5.4.1 Giriş

Jeotermal kaynaklar, jeolojik etkiler sonucu ortaya çıktıkları için her biri birbirinden farklı özellik gösterirler. Jeotermal santraller de bu kaynakların özelliklerine uygun olarak tasarlanır. Şu ana kadar anlattığımız kısımlardan 3 ana santral tipi olduğu söylenebilir. Fakat jeotermal kaynağın özelliklerine göre bu santral tipleri birbirleri ile kombine edilerek yeni santral sistemleri uygulanabilir.

5.4.2 Hibrid Single Flash ve Double Flash Sistemleri

Entegre ve kombine olmak üzere 2 tür sistemi mevcuttur. Entegre istemde 2 single flash sisteminde, seperatör ile ayrılan atık sular birleştirilerek bir seperatörden daha geçirilip 3. Bir türbine verilir. Toplamda sistemde 3 ünite bulunur. Fakat 3 ünite ile entegre edilmiş sistem için ayrıca yeni kuyular açmak durumunda kalınmaz. Kombine sistemde ise 2 tane single flash sistemden gelen atık su birleşerek yeni bir seperatöre gönderilir. Bu seperatör double flash bir sistemin ilk seperatörüdür, buradan çıkan atık su bir seperatöre daha iletilir. Toplamda 3 türbin olan 3 üniteden oluşur.

Şekil 5.13: Entegre (a) ve kombine (b) single-double flash sistemi tesis şemaları

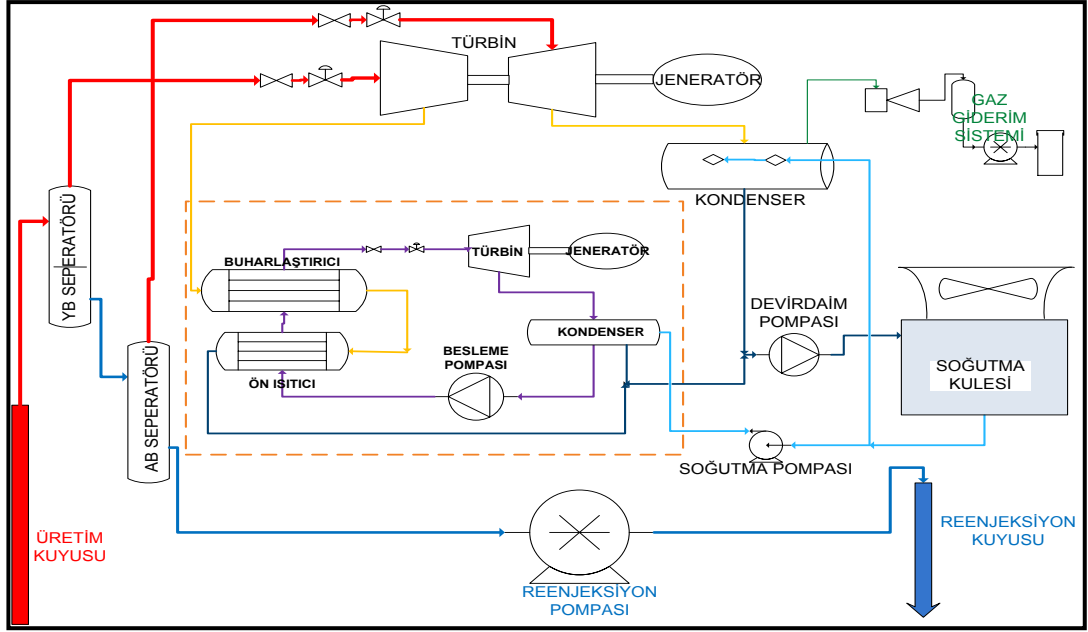


Kaynak: DiPippo, 2012

5.4.3 Hibrid Flash-Binary Sistemler

Jeotermal akışkan içinde çözünmüş madde oranı fazla ise, seperatörden ayrılan suda bu oran daha da artacağı için kabuklaşma sorunu ortaya çıkabilir. Bir hibrit sistem yapılacaksa, bu durumda olan bir single flash sistemine binary sistem eklemek daha uygun olacaktır (Tamyerli 2007, ss. 33). Kombine flash-binary sistemlerinde seperatörden çıkan atık su binary sistemindeki gibi ikincil bir akışkanı buharlaştırmak için (ısı değiştiriciye) iletilir.

Şekil 5.14: Kombine single flash-binary sistemi çevrim modeli



Kaynak: Zorlu Doğal Elektrik Üretim A.Ş.

5.4.4 Kuru Buhar-Binary Hibrid Sistemi

Kuru buhar-binary sisteminde, rezervuar kaynaktan gelen kızgın buhar nem alıcılardan sonra türbine gönderilir. Türbinden çıkan atık buhar, ısı değiştiriciye iletilir ve binary sistemindeki gibi ikincil akışkanı buharlaştırmak için kullanılır (Coşkun 2011, ss. 15).

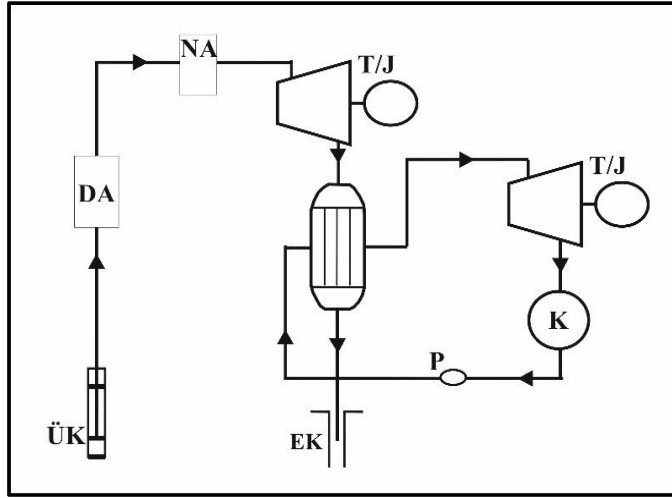
5.4.5 Toplam Akış Sistemleri

Kuyulardan gelen suyun, kuyu basıncı ile hiç bir separasyon (ayrışma) işlemine tabi tutulmadan türbine gönderilmesi sonucunda oluşan mekanik hareketten elektrik üretmeyi hedefleyen bu sistem, teorik olarak gerçekleşmesi mümkün görünse de pratikte ekonomik olarak uygunluğu tespit edilemeyecek kadar yeni uygulamalardır (Şekil 5.15). ABD'de Nevada'da "Desert Peak" 2 fazlı rotari seperatörlü turbo-altenatörlü tek santraldir.

5.4.6 Hibrid Fossil-Jeotermal Sistemler

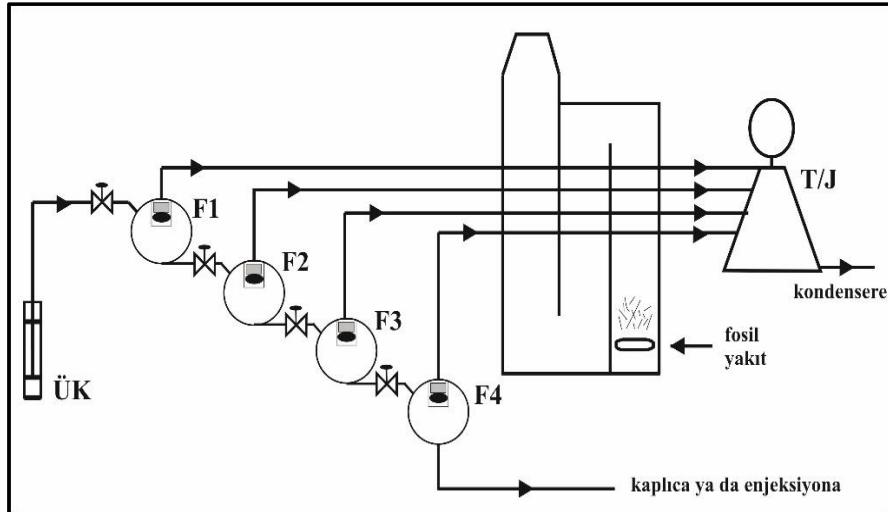
Kaplıca ve termal tesislere su sağlayan sistemde, seperatör ile buhar ayrıştırıldıktan sonra fosil yakıtlar ile sıcaklığı artırılarak elektrik üretimi sağlanır (Şekil 5.16) . Bu sisteme hibrid fossil-jeotermal sistem denir. Seperatör sayısı suyun sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Şekil 5.15: Kuru buhar-binary hibrit sistemi şeması



Kaynak: DiPippo, 2012

Şekil 5.16: 3 Aşamalı fosil yakıtlı sistemin tesis şeması



Kaynak: DiPippo, 2012

5.4.7 Güneş-Jeotermal Hibrid Sistemler

Jeotermal akışkanı güneş enerjisi ile buharlaştırmak ya da tekrardan buharlaştırmak prosesi üzerine tasarlanmış sistemlerdir. Teoride uygulanabilir fakat pratikte bir örneği henüz yoktur. Bunun sebeplerini inceleyecek olursak; jeotermal enerji her zaman kullanılabilir durumdayken, güneş enerjisi geceleri ya da bulutlu havalarda ve hatta mevsimsel olarak performans değişiklikleri nedeni ile her zaman kullanılır durumda değildir. Bu da hibrit tasarımı için önemli kısıtlayıcılardandır. Ekonomik açıdan her enerji kaynağı tipi birbirinden çok farklı ve bağımsız maliyetler içerirler. Güneş enerjisi maddi olarak jeotermalden daha masraflıdır.

6. JEOTERMAL ENERJİ ELEKTRİK SANTRALİ EKONOMİSİ

Projelerin yatırım kararının alınabilmesi için en önemli faktör proje maliyetidir. Proje maliyeti eğer santral üretime alındıktan sonra kısa sürede kendini amorti ediyorsa yatırım için daha tercih edilir bir çalışma olur. Maliyet değerlendirme aşamasında proje sahipleri ile kredi desteği yapacak olan bankalar farklı görüşe sahiptirler. Proje sahipleri, sermayenin geri dönme zamanı ile ilgilenirken, bankalar hem sermaye hem borç geri ödemesini değerlendirirler (Durak 2008, ss. 409).

Enerji kaynakları açısından jeotermal enerjiden elektrik üretimi, fosil yakıtlı üretimlere nazaran çok daha ekonomik olduğu için tercih edilmektedir. Doğalgaz ya da petrolde kaynak için para ödenirken, jeotermalde sıcak suyun doğada bulunması nedeni ile ödeme yapılmaması maliyetleri son derece azaltmaktadır. Elektrik satışı kısmında ise önemli olan, birim üretim maliyetinin satış fiyatından düşük olmasıdır.

Jeotermal enerji maliyetleri; en büyük maliyeti sondaj operasyonu giderleri olan yatırım maliyetlerine, işletme ve bakım giderlerine, kredi faiz oranlarına bağlıdır. Yatırım kararının alınması için, iyi bir proje planı ve buna bağlı uygun ekonomik değerlendirme yapılması çok önem teşkil eder.

6.1 MALİYET HESAPLARI

Proje maliyetlerini genel olarak 3 ana kriter ile temsil edebiliriz. Santralin işletmeye alınana kadar yapılan ve en büyük maliyetleri kapsayan yatırım maliyetleri ilk kriterdir. Üretime geçildikten sonra santral ömrünün tamamlanana kadar geçen süredeki maliyetleri kapsayan işletme ve bakım maliyetleri ikinci kriteri oluşturmaktadır. Finansman maliyetleri ise proje başında bankalardan alınan kredinin faizli olarak geri ödenmesini anlatan kriterdir.

6.1.1 Proje Yatırım Aşamasındaki Masraflar

Yatırım maliyetleri direkt ve endirekt maliyetler olarak ikiye ayrılır;

Endirekt Maliyetler

Genel Masraflar; vergi, sigorta, danışmanlık, çevresel konular, halkla ilişkiler ve reklam maliyetleri, kamulaştırma ve arazi alımları gibi giderleri içermektedir. Gerek santral inşaaası gerek sondaj operasyonu süreçlerindeki yukarı bahsettiğimiz masraflar tüm proje yatırım maliyetlerinin yaklaşık yüzde 6'sı civarındadır.

Operasyonel Maliyetler; personel ücretleri, seyahat, ulaşım, konaklama gibi personel giderleri, taşıt giderleri, haberleşme giderleri, ofis, kamp, tesis ve lojman giderleri gibi masrafları içermektedir. Operasyonel maliyetler tüm proje yatırım maliyetlerinin yüzde 7 gibi bir bölümünü kapsamaktadır.

Direkt Maliyetler

Mühendislik Maliyetleri; proje için gerekli izin ve lisansların alınması, ön fizibilite için mühendislik çalışmalarının yapılması, proje geliştirme amaçlı temel mühendislik çalışmalarının maliyetlerini içerir. Proje yatırım maliyetlerinin yüzde 7 civarına denk gelmektedir.

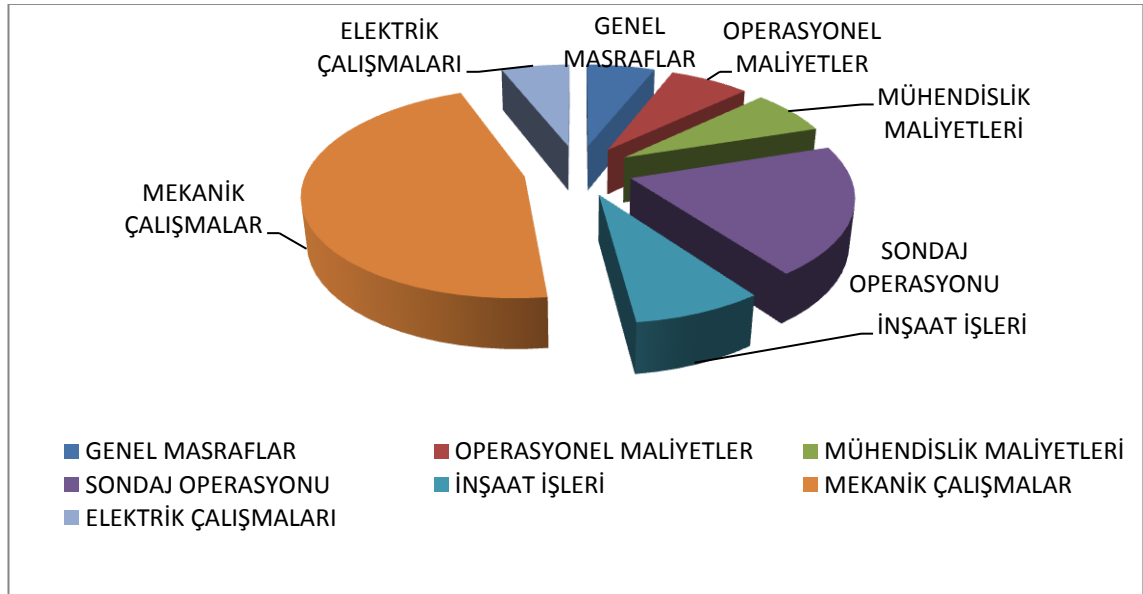
Sondaj Operasyonu; projenin en maliyetli operasyonudur. Jeotermal akışkanın yeraltından çıkarılması için üretim ve sonrasında rezervuardaki su miktarının azalmaması için geri basılmasını sağlayan reenjeksiyon kuyularını açmak için yapılan operasyondur. Sondaj kimyasalları, operasyonda kullanılan mekanik malzemeleri, matkapları, casing ve floating equipmentları, kuyu başı ekipmanlarını, sondaj işçiliğini, sondaj sonrası test çalışmalarını, kuyu tabanı temizleme çalışmasını, sondaj çamur hizmeti servisini ve sondaj kulesi servisini kapsar. Proje yatırım bütçesinin yaklaşık yüzde 20'si civarındadır.

İnşaat İşleri; santral inşaatı başladığı zaman başlayan, hafriyat, betonarme, yalıtım, yapısal çelik gibi inşaat işleri ile ince mimari işleri, altyapı ve çevre düzenlemesi, işçilik gibi hizmetlerini oluşturmaktadır. Proje bütçesinin yüzde 8 civarında maliyeti vardır.

Mekanik Çalışmalar; en maliyetli kalemidir. Santralin ana ekipmanları olan maliyeti yüksek NCG sistemi, türbin, soğutma kulesi, kondenser, buhar grubu ekipmanları gibi ekipmanları ve bunların montaj ve işçilik maliyetlerini kapsar. Bütün proje bütçesi maliyetinin yarısına yakını (yüzde 45-47) bu kaleme harcanır.

Elektrik Çalışmaları; şalt sahası, iletim hatları ekipmanları, güç kabloları, transformatörler, yardımcı servis trafolar, hat kesiciler ve bunların işçiliğini kapsar ve proje bütçesinin yaklaşık yüzde 5-6'sını içerir.

Tablo 6.1. Yatırım maliyeti dağılımı



Kaynak: Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı

6.1.2 İşletme Aşamasındaki Masraflar

Santral üretime alındıktan sonra da santral inşaatı ya da sondaj operasyonundaki gibi büyük maliyetleri olmasa da düzenli ödemelerin yapıldığı giderler devam etmektedir.

Bunlar bakım ve onarım, işletme, yönetim ve sigorta gibi maliyetlerdir. Masrafların yüzde 95 gibi büyük bir kısmı işletme giderleri ile bakım-onarım giderlerinden oluşur.

Bakım ve Onarım Giderleri; jeotermal santrallerde de, diğer santraller gibi bakım ve onarım giderleri yer alır. Bunların başında santral binası gelmektedir. Sondaj kuyuları, taşıt ve ofise ait bakım ve onarım giderleri de bütçelenmesi gereken kalemlerdir. İşletme giderlerinin yaklaşık yüzde 30'unu oluşturmaktadır.

İşletme Giderleri; üretim esnasında yapılan, genel olarak çalışan personele ait, personel maaşları, yemek, temizlik, sağlık, personelin kullandığı araçlar için yakıt gibi giderlerdir. Bunun yanı sıra, vergiler, elektrik, su, telefon, kargo, ofis malzemeleri gibi rutin ofis giderleri de yer alır. giderlerdir. İşletme esnasındaki giderlerin yaklaşık yüzde 65'ine denk gelmektedir.

6.1.3 Finansman Maliyetleri

Jeotermal projesinde, üretim aşamasına gelene kadar oluşacak maliyetleri karşılamak için kredi çekilmektedir. Finansman desteğinin alınmasının yanı sıra, bu destek için bazı maliyetler de söz konudur. Maliyetlerin oranları yapılan sözleşmeye bağlı olarak değişkendir.

Arrangement Fee (düzenleme ücreti); finansman için çekilen kredi için ödenen düzenleme ücretidir. Kredi sözleşmesinin yapılmasının akabinde ödenmesi gerekmektedir.

Commitment Fee (taahhüt ücreti); finansman kaynaklarından alınan krediyi, istediği zamanda istediği kadar çekebilmesi için ödenmesi gereken ücrettir. Kredinin henüz kullandırılmamış kısmından alınır.

IDC (Interest During Construction); kredinin geri ödemesi, işletmeye geçilince başlanılıyor olsa da, finansmanın faizi olan IDC, santral inşaatı esnasında ödenmeye başlanılan bir maliyettir.

6.2 JES SİGORTASI

Jeotermal enerji santrallerinde yapılan sigortalar kısaca operasyon aşamasında ve proje aşamasında olmak üzere ikiye ayrılabilir.

6.2.1 Operasyon Aşamasındaki Sigortalar

Santral inşasına kadar geçerli olan sigortalardır. Enerji paket sigorta poliçesi kapsamında; kuyu kontrolü (control of well insurance) ve mali mesuliyet (liabilities) sigortalarını kapsar. Mali mesuliyet sigortası; operasyon aşamasında, başkalarının mallarına istemeden, doğrudan ya da dolaylı olarak zarar verilmesi halinde ödenmektedir.

6.2.2 Proje Aşamasındaki Sigortalar

Projenin başladığı ilk andan, üretime geçene kadar olan kısımda yapılan sigortalardır. Genel olarak; CAR (construction all risks), üçüncü şahıs sorumluluk sigortası (third party insurance), işveren mali sorumluluk sigortaları gibi poliçelerden oluşur. CAR; proje kapsamında karşılaşılabilecek her türlü risk durumunda ödenen sigorta poliçesidir. Üçüncü şahıs sorumluluk sigortası ise, hizmet alınan taşeron firmalardakilerin üçüncü bir şahsa, şahsın malına istemeden, doğrudan ya da dolaylı olarak zarar verilmesi halinde ödenmektedir. İşveren mali sorumluluk sigortası; sözleşmeli çalışanların proje süresi boyunca, çalışma esnasında yaşayacağı zararlara karşı işverene düşen sorumluluğu teminat altına alan poliçedir.

7. JEOTERMAL ENERJİ ELEKTRİK SANTRALİ ÇEVRE ETKİLERİ

7.1 GİRİŞ

Bu bölümde, jeotermal enerjinin olası zararlı etkilerini anlatılmıştır. Diğer enerji kaynakları ile karşılaştırarak çevre açısından ne kadar avantajlı olduğu gösterilmiştir. Doğa ile iç içe olan jeotermal gibi bir enerji kaynağının gerek arama aşamasında gerek santral yapımı aşamasında bir takım zararlı etkilerin ortaya çıkması kaçınılmazdır. Fakat fosil yakıtlar ya da nükleer yakıtlar, hatta diğer yenilenebilir enerji kaynakları ile kıyaslandıklarında bu etkilerinin eser miktarda olduğu ve genel olarak tesis çevresi ile sınırlı olduğu görülür. Arama çalışmalarında yer alan sondaj operasyonu, rezervuarın bilinmezliği nedeni ile ilk riskli aşamadır. Santral aşamasında ise, inşaat ile ilgili operasyonlar diğer zararlı etkilerin oluşabileceği aşamadır. Fakat gelişen teknolojiler ile bu etkilerin minimuma indirgenebileceğine de değinilmiştir. Yeni teknolojiler ile yapılan jeotermal elektrik santrallerinde çevre kirliliği sıfıra yakındır (Akkoyunlu 2006, ss. 12).

Küresel ısınma etkisi sebebiyle sera gazı salımları dünyaca kaygı uyandıran bir çevre kirliliğidir. Jeotermal enerji kaynaklı santraller ise tüm enerji kaynakları arasında en az CO₂ salımı yapan enerji üretim tesislerinden biridir. Yakıt yakılmadığı için azot emisyonu da oluşmamaktadır. Binary sistemlerinde ise hiç gaz salımı olmaz. Arazi kullanımı da bir çok diğer santrallerden azdır. Kullanılan jeotermal akışkan düşük miktarlarda kimyasal ve katı atıklar nedeni ile tehlike oluşturabilmektedir. Yapılan reenjeksiyonlar ile bunun da önüne geçmek mümkündür. Genel olarak bakıldığında elektrik üretimi için kullanılan tesisler arasında en çevre dostu enerji santralleri jeotermal enerji santralleridir. Önceliklerini; personel sağlığının güvene alınması, gürültü azaltımı, doğal felaketlerin olmaması için önlemlerin alınması, doğal termal özelliklerin korunması olarak seçen ve planlayan bir jeotermal enerji santrali ile sürdürülebilir, tükenmez, güvenilir, yerli ve yeşil bir enerji santrali kurmak mümkündür.

7.2 GAZ EMİSYONLARI

Jeotermal sistemlerdeki gaz emisyonları yoğuşturulamayan gazlardan kaynaklanır ve bunlar jeotermal akışkanda çözülmüş olarak tanışırlar. Jeotermal buharlarda; akışkanlar rezervuarda kayalardan ve gazlardan ayrılan çeşitli oranda gazlar içerirler, karbondioksit (CO₂) ve hidrojen sülfid (H₂S) en yaygın yoğuşmayan gazlardır. Düşük konsantrasyonlarda metan, hidrojen, kükürtdioksit veya amonyak gazları da bulunur. Gaz bileşeni ve miktarı jeolojik koşullara göre değişiklik gösterebilir.

NCG ile bu gazlar türbinin üstüne çekilerek, kondenser içinde biriktirilir. Soğutma kulesi aracılığıyla havaya salınırlar. Yoğuşmayan gazları atık su içine basarak (compress), tekrar enjekte etmek de bir çözümdür. Fakat bu, üretim kuyularından gelen akışkanda zamanla konsantrasyon artışına sebep olur. Binary sistemlerde ise ısı transferi boyunca yoğunlaşmayan gazlar çözelti içinde kalır ve tekrar rezervuara enjekte edilir. Kapalı çevrimlerde emisyon sıfırdır, ama eğer gaz ayrıştırma gibi işlemler söz konusu ise bir miktar sera gazı emisyonundan söz edilebilir. Düşük sıcaklıklı kaynaklar ve binary çevrim sistemlerinden kullanım yaygınlaşırsa sera gazı emisyonlarında düşüş devam edecektir. Fosil yakıtlar yerine jeotermal kaynaklar ile ısınmayı tercih etmek, ayrıca seracılık gibi ek kullanımlarda bulunmak emisyon oranını önemli ölçüde düşürür (Edenhofer ve diğerleri 2012, ss. 418).

Yaşam döngüsü değerlendirmesi, bir projesinin ilk aşamasından proje ömrünü tüketene kadar geçen süredeki emisyonları analiz eder. Jeotermal projelerde bu analiz için arama çalışmaları, santral inşası, işletme ve işletmeden çıkarılma süresi olarak belli başlı aşamalara ayrılır.

Kömür yakıtlı elektrik üretim sera gazı emisyonlarına kıyasla çok küçük olmasına rağmen, hem binary sistemli santrallerde hem de geliştirilmiş sistemlerde sera gazı emisyonu var görülüyor. Sonuç olarak, jeotermal enerjinin yaşam döngüsü değerlendirmesi, diğer yenilenebilir enerjilerinkine benzer olduğunu göstermektedir (Edenhofer ve diğerleri 2012, ss. 419).

7.3 ARAZİ KULLANIMI

Jeotermal Santralleri, sadece santral alanı için araziye ihtiyaç duymaz. Kuyu alanları ve iletim hatları için de işgal edilen alanlar vardır. Gerekli olan alan ise, rezervuar özelliklerine ve santral tipine göre değişiklik gösterir. Düşük kapasiteli santraller, yüksek kapasitelilere göre daha az alana ihtiyaç duyabilirler. Ya da rezervuar alanı daha dar olan bir santralin sondaj yapacakları kuyuların birbirlerine olan mesafeleri çok olamaz. Santraller termodinamik kayıpların olmaması için üretim kuyularına yakın yerlerde inşaa edilirler. Yönlü sondaj operasyonları ise sondaj sahasının en verimli şekilde kullanılmasını sağlar.

İletim Hatları, genelde araç yolları boyunca döşenirler. Yol ayrımlarında loop adı verilen dikey ya da yatay döngüler dahil edilir. Sondaj operasyonları bittikten sonra “sondaj sonrası” çalışması ile yerel halkın yaşam standartlarını etkilememek için, çevre düzenlemesi yapılır. Sondaj alanı, çevresindeki hiçbir bitki örtüsünü, tarım alanını etkilemez. Yönlü sondaj teknikleri, boru hatlarının tasarımı ve jeotermal kaynakların üzerinde kalan araziler tarım, bahçivanlık ya da ormanlık alan gibi başka amaçlar için de kullanılabilir (DiPippo 2012, ss. 488).

Tablo 7.1: Tipik jeotermal enerji üretimi için arazi gereksinimleri (üretim kapasitesi ve yıllık enerji üretiminin başına metre kare cinsinden ifade edilen)

Santral Tipi	Arazi Kullanımı	
	m ² /MWe	m ² /GWh/yy
110-MWe jeotermal flash tesisleri (kuyular hariç)	1,260	160
56-MWe jeotermal flash tesisleri (kuyular, borular dahil)	7,460	900
49-MWe jeotermal FC-RC tesisleri (kuyular hariç)	2,290	290
20-MWe jeotermal binary tesisleri (kuyular hariç)	1,415	170

[FC: Flash döngüsü. RC: Rankine çevrimi (1991) DiPippo alınan, Tester dataları, (2006)].

Diğer enerji santrallerine bakacak olursak, bir binary ya da tek flashlı jeotermal santrale göre, aynı kapasiteye sahip olan bir güneş santrali yaklaşık 20 katı, kömür santrali yaklaşık 30 katı, nükleer santral yaklaşık 7 katı daha fazla araziye ihtiyacı vardır

(DiPippo 2012, ss. 490). Üstelik jeotermal santrallerin araziler üzerinde kullanılacak diğer alternatif tesisler ile daha cazip bir tercih olmaktadır.

7.4 TOPLUMUN JEOTERMAL ENERJİYE BAKIŞI

Jeotermal projelerin başarıyla gerçekleşmesi genellikle yerel halk tarafından kabul edilmesine bağlıdır. Bunun için; çevre üzerindeki zararlı etkilerinin en aza indirilmesi ya da önlenmesi, arazi işgallerinin en az seviyede tutulması ve yerel topluluğa faydası olacak işlerin yapılması etkili kriterlerdir. (Edenhofer ve diğerleri 2012, ss. 420).

Jeotermal projenin gelişim aşamasında arama, sondaj ve inşaat süresi boyunca, çevre bölgelerde yaşayanlar için iş olanakları sağlanmış olur. Santral çalışmaya başladığında ise kalıcı ve tam zamanlı bir istihdam yaratılır. Bu sayede jeotermal kaynakların olduğu bölgelerde yaşayanlar için ekonomik bir yarar söz konusudur. Bazı jeotermal şirketleri ve devlet kurumları; enerji santrallerinin işletilmesi ile elde edilen karlardan finanse ederek, yerel huzuru ve güvenliği sağlayacak yollar, okullar, sağlık tesisleri gibi sosyal konulara el atarlar (Edenhofer ve diğerleri 2012, ss. 421).

7.5 JEOTERMAL SİSTEMLERİN FİZİKSEL ETKİLERİ

7.5.1 Gürültü Kirliliği

Jeotermal kaynakların sondajlar çalışması, üretim aşaması ve santral inşaatı süreçlerinde istenmeyen sesler meydana gelebilir. Bu ses kirliliği geçici süreliğine oluşmuş olsa da; sondaj alanlarının yerleşimden uzak bölgelerde yapılması, sondaj operasyonu sonrasında yapılan kuyu testlerinde silenserin (susturucuların) kullanılması ile, gürültünün önüne geçilebilir. İletim hatlarından geçen buhar, jeneratör, su soğutma kuleleri, motorlar, pompalar ve ısı değiştiriciler gibi işletim sırasında oluşacak kalıcı sesler için uygun çözümler düşünülmelidir. İletim hatlarına yalıtım yapıp, diğer ekipmanlara da uygun silenseler eklenebilir.

7.5.2 Arazi Çökmesi

Jeotermal santrallerde yeraltından akışkan çekildiği için, rezervuarda bir basınç düşmesi yaşanır. Bu sebeple alanda bir çökme oluşabilir. Bunun örneğini Şekil 7.1’de görmekteyiz. Fakat reenjeksiyon sistemi ile bu basınç kaybı en aza indirilebilir. Yine de az miktarlarda çökme görülecektir. Bugüne kadar kaydedilmiş en büyük çökme olayı Yeni Zelanda’daki Wairakei ve Ohaaki sahalarında görülmüştür. Wairakei’deki çökme yıllık yaklaşık 5 mm.’dir (Badruk 2005, ss. 354). 50 sene boyunca reenjeksiyon yapılmadan işletilen Wairakei santralinde, bugüne kadar toplam 15 metre çökme görülmüştür (DiPippo 2012, ss. 494).

7.5.3 Doğal Hidrotermal Olayların Bozulması

Sıcak suların kendiliğinden yüzeye çıkmaları ile oluşan, gayzer ve fümeroller gibi yapılar turistik açıdan son derece dikkat çekicidirler. Beslendikleri rezervuarlardan üretim için akışkan çekilmesi ile bu hidrotermal oluşumların zayıflamasına hatta yok olmalarına sebep olabilir.

7.5.4 Yapay Depremsellik

Tektonik olarak hareketli sahalarda oluşan jeotermal kaynaklar, depremler konusunda aktif bölgelerdir. Jeotermal kaynaktan enerji üretilse de üretilmese de jeolojik yapılara ek olarak hidrotermal oluşumlar nedeni ile, basınç ve sıcaklıkların değişimlerine bağlı olarak düşük ölçekli depremler yaşanacaktır. Basınç ve sıcaklık değişikliklerinin yanı sıra üretim ve enejksiyon akışkanları jeomekanik gerilim/stres değişiklikleri doğal olayların oluşma hızını artırır (Edenhofer ve diğerleri 2012, ss. 13). Yapılan ölçümlere göre, reenjeksiyonların üretime nazaran yapay depremlerin oluşumuna daha etkili olduğu görülmüştür (Badruk 2005, ss. 355). Bu tür yapay depremsellikler, az bir ihtimalle de olsa toprak kaymalarına neden olabilir. Bu hareketler insan yaralanması ya da maddi hasara yol açacak kadar büyüklükte değildir (Edenhofer ve diğerleri 2012, ss. 404).

7.5.5 Su Kullanımı ve Su Kirliliği

Her güç geliştirme projesinde olduğu gibi jeotermalde de su kullanımına ihtiyaç vardır. Fakat diğerlerine kıyasla, su temini daha kolay ve iyileştirme imkanı mümkündür.

Sondaj esnasında kullanılan su, sondaj sıvısı (çamur) yapımı için gereklidir. Çamur, su ve kimyasal karışımıdır. Sondajdan çıkan çamur küçük bir soğutma kulesinde soğutulur, bu sebeple su kaybı çok azdır. Temini ise çevredeki gölet, nehir veya sığ kuyulardan yapılır.

Flash sistemli çevrimlerde ısının dışarı atılması için soğutma kulelerinde kullanılmak üzere su gerekir. Yeteri kadar yoğunlaşma olduğu zaman, buharlaşarak su kaybeden soğutma kulelerine su telafisi yapılmış olur. Yine de blöf için, az miktarda da olsa suya ihtiyaç vardır. Kuru Buharlı sistemlerde ise soğutmak için su ihtiyacı yoktur.

Seperatörlerde ayrışan ve türbinlerden çıkan sular, buharlaşma nedeni ile çözelti içerikleri fazladır. CO₂'nin yanı sıra rezervuarın bulunduğu sahaya bağlı olarak, bünyelerinde hidrojen sülfid (H₂S), hidrojen (H₂), metan (CH₄), amonyak (NH₃) ve azot (N₂) da eser miktarda mineraller de çözülmüş halde bulundurabilirler. Hatta bu çözülmüş mineral (örneğin, bor ve arsenik) bazı yüzey ya da yeraltı sularına, bitki örtüsü ya da hayvanlara zarar verebilir. Atık su diye isimlendirebileceğimiz bu sular, reenjeksiyon ile tekrar yeraltına gönderilerek hem rezervuar basıncını dengelemeleri sağlanmış olur, hem de olumsuz çevre etkilerine ve içme sularına karışmaları engellenmiş olur.

Sondaj esnasında kullanılan sondaj sıvısı da zararlı pek çok kimyasalı içinde barındırır. Çimentolama ile yerleştirilen muhafaza boruları, çevre bölgelerdeki içilebilir sığ yeraltı sularını kirlenmeye karşı korur. Sondaj esnasında kullanılamaz durumdaki çamur, toprak ile bağlantısı olmaması için geçirimsiz membranlar ile zemini kaplanan mud pitlere (çamur havuzları) atılır. Sondaj bitiminde üzeri önce çimento, sonra toprak ile kapatılır ve yeşillendirme işlemi yapılır.

7.5.6 Atık Su

Isının su ile boşaltılması yüzey sularını ve buna bağlı olarak bitkisel hayatı biyolojik açıdan etkiler. Bu sebeple, iklimsel değişime neden olduğu bilirse de ısının atmosfere salımı suyla boşaltılması yerine tercih edilir (Badruk 2005, ss. 356).

7.5.7 Kazalar Nedeni ile Oluşan Kirlilik

Çeşitli öngörülemeyen kazalar nedeni ile de çevreye zarar vermesi mümkündür. Sondaj esnasında kuyunun geliş yapması (blowout), türbin arızaları, iletim hatlarındaki kazalar, yangın gibi beklenmedik gelişmeler olabilir. Doğru mühendislik ve uyumlu tasarımlar ile, çalışan personelin bilinçlendirmesiyle de, ciddi kayıplara neden olabilecek bu kazaları gerekli önlemleri alarak en aza indirmek gerekir.

Şekil 7.1. Alaşehir Manisa bölgesindeki sondaj kazası



Şekil 7.2. Alaşehir Manisa bölgesindeki sondaj kazası



7.6 YÖNETMELİKLER

Türkiye’de jeotermal enerji kullanımına dönük çalışmalar için, resmi enerji politikalarının zorlayıcı etki yaratan düzenlemeleri devreye girmiş ve caydırıcı unsurlar giderek belirginleşmiştir. Önceleri 9385 numaralı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun” ile yenilenebilir enerji kaynaklarından biri olarak jeotermalin elektrik üretimi amaçlı kullanılmasının yaygınlaşması, sera gazı emisyonlarını azaltacak bir kaynak olarak ekonomiye kazandırılması, temiz enerji bir kaynağı seçerek çevrenin korunması amaçlanmıştır. Bu kanun ile jeotermal kaynakların tercih edilmesi teşvik edilmiştir. Fakat son 8 senedir ülkemizde jeotermal enerjiye yönelim hızlı bir şekilde artması ile, gündeme gelen yeni sorunlar için daha spesifik çözümler gerekmiştir. Bu bağlamda 03.06.2007 tarihinde, 5686 numaralı “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu” yürürlüğe girmiştir. Enerji Bakanlığı tarafından, 30.05.2014 tarihinde “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu Uygulama Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair

Yönetmelik” ile son güncel halini almıştır. Bu Kanun ile; jeotermal alanlar üzerinde daha net haklara sahip olunmuştur. Jeotermal kaynakların aranması, üretilmesi, jeotermal saha üzerinde hak sahibi olunması ve hakların devredilmesi, kaynakların terk edilmesi esnasında yapılması gerekenler gibi hususlar “Jeotermal Kaynaklar Ve Mineralli Sular Kanunu Tasarısı” ile düzenlenmeye çalışılmıştır. Herhangi bir faaliyete başlamadan ruhsat alınması da bu kanun ile yasallaştırılmıştır.

Türkiye'de çalışmakta olan toplam 15 adet jeotermal enerji santrali bulunur. Santrallerin kurulu olduğu iller ve santral sayıları şöyledir: Aydın (10), Denizli(3), Manisa(1), Çanakkale (1). Ayrıca; Aydın'da 4, Manisa'da 2, Denizli'de 1 adet jeotermal santral kurma çalışmaları devam etmektedir (28.02.2015 itibari ile güncel hali). 450 MW kurulu gücündeki santraller Türkiye toplam kurulu gücünün yüzde 0,59'unu oluşturur.

8. JEOTERMAL ENERJİ UYGULAMALARI

8.1 LARDEROLLO KURU BUHAR ENERJİ SANTRALİ

İtalya; Avrupa ve Afrika kıtalarının çarpışmaları nedeni ile tektonik olarak hareketli bir alandır. Yer kabuğunun incelmesine neden olan bu kıta hareketleri, magmanın yüzeye yaklaşması ve oluşan kırıklı çatlaklı ve faylı tabakalar sayesinde bölgeyi jeotermal açıdan son derece uygun hale getirmiş, yaklaşık 400 km²'lik bir alanı kaplayan Larderello-Travale-Radicondoli-Lago jeotermal bölgesini oluşturmuştur. Bu bölümde ilk jeotermal santrali olmasıyla bilinen Larderello santrali anlatılacaktır.

Şekil 8.1: Larderello jeotermal santralinden bir görüntü



8.1.1 GelişmeTarihçesi

İtalya'nın Toscana bölgesinde yer alan Larderello jeotermal santralindeki ilk jeotermal çalışma, Francesco Giacomo Larderel'in borik asit fabrikasını aydınlatmak için 5 ampulün ihtiyaç duyduğu enerjiyi jeotermal buhar ile elde etmesiyle 1818 yılında

başlamış, ilk jeotermal sondaj 1828 yılında yapılmıştır (DiPippo 2012, ss. 249). Ve bölge bundan sonra Larderello adı ile anılmıştır. Jeotermal potansiyelin dikkatini çekmesiyle 1933 yılında Paolo Savi, bu bölgenin jeotermal rezervuarını ve yayılımını araştırmaya başlamış, 1904 yılında da elektrik üretimine başlanmıştır. Fakat bölgede ilk jeotermal santral 1931 yılında kurulmuştur.

II. Dünya savaşının 1943 – 1945 yılları arasında jeotermal elektrik santrali ve bor fabrikasının burada olması nedeni ile Larderello bölgesi stratejik öneme sahip olmuştur. 1944 yılında Larderello santralleri ağır tahribat almıştır. 136,8 MW kapasiteli santrallerden sadece küçük bir tanesi kurtulmuştur (DiPippo 2012, ss. 250). Savaş biter bitmez daha modern yeni tesisler için çalışmalar başlamış, 1959 yılında 300 MW kapasiteli son halini almıştır. Performans düşüşü nedeni ile, gerekli olduğu anlaşılan reenjeksiyon çalışmalarına 1983 yılında başlanılmıştır. 2000’li yılların başlarında 10 yeni santral daha kurularak 254,5 MW kurulu güce sahip bir tesis haline dönmüştür. 2010 yılından beri ise, H₂S ve Hg gidermek için 22 adet AMIS (Abbattimento Mercurio e Idrogeno Solforato) adını verdikleri sistem çalışmaktadır (DiPippo 2012, ss. 251). Bugün ise Larderello’nun toplam kapasitesi 351 MW’tır.

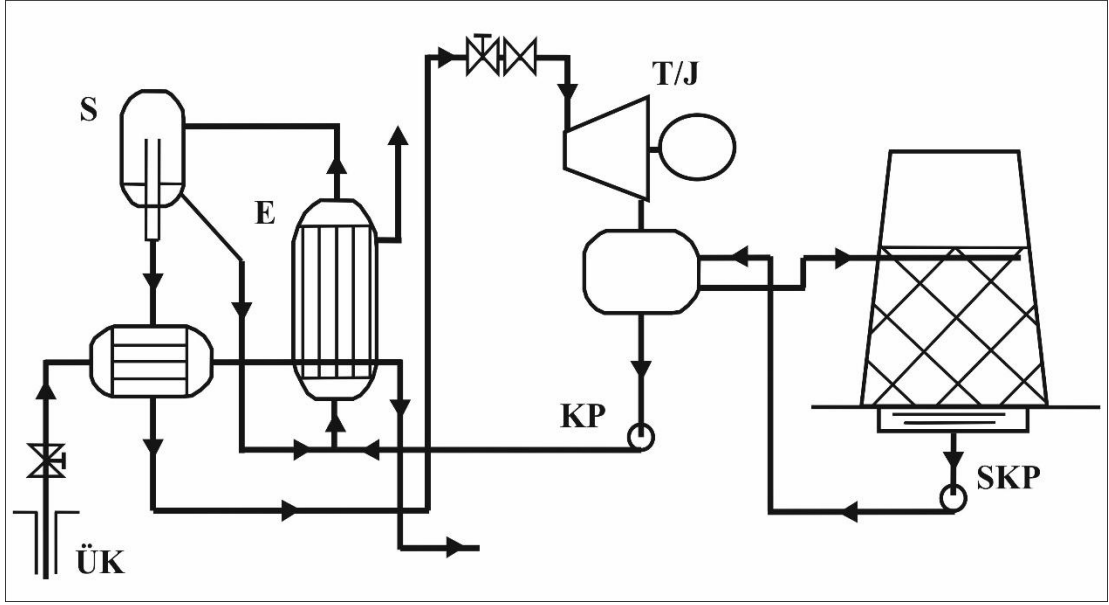
8.1.2 Enerji Santralleri

Larderello santralleri 3 ana döneme ait farklı tasarımlarda 3 kategoride incelenir.

İlk Santraller (1904 - 1968)

İlk santrallerin yapım aşamasında; buhar basıncının düşük olması, asit içerikli gazlar, kimyasal maddeler içermesi ve jeotermal akışkanın içerdiği değerli mineralleri geri kazanmak için suyun işlenmesi gerekliliği gibi hususlar tasarımlarda etkili olmuştur. Bu sayede dolaylı döngü ortaya çıkmıştır. Jeotermal buhar eşanjöre gönderilir, buradaki saf su kaynatılır. Kondensattaki jeotermal buhar da kimyasal ve maden geri kazanımı için tesise yollar (Şekil 8.2). Bu sistemler, buhardan elektrik elde etmekten daha çok maden geri kazanımı konusunda daha baskın olunan dönemlere ait sistemlerdir (DiPippo 2012, ss. 257).

Şekil 8.2: Dolaylı döngü sisteminli güç üretimi



Kaynak: DiPippo, 2012

Modern Tasarımlar (1968 – 1995)

Borik asit ve boraks geri kazanımının artık yeterince ekonomik olmadığı dönemler, yeni sistemler keşfedilmiştir.

Atmosfer havalandırmalı doğrudan alım (Şekil 8.3a); yoğuşturulamayan gaz miktarlarının fazla olduğu buharlarda kullanılmıştır.

Yoğuşturmalı doğrudan alım (Şekil 8.3b); sığ rezervuarlarda yoğuşturulamayan gazlar ile birlikte, ayırıştırma yapmadan kullanılmıştır (DiPippo 2012, ss. 262).

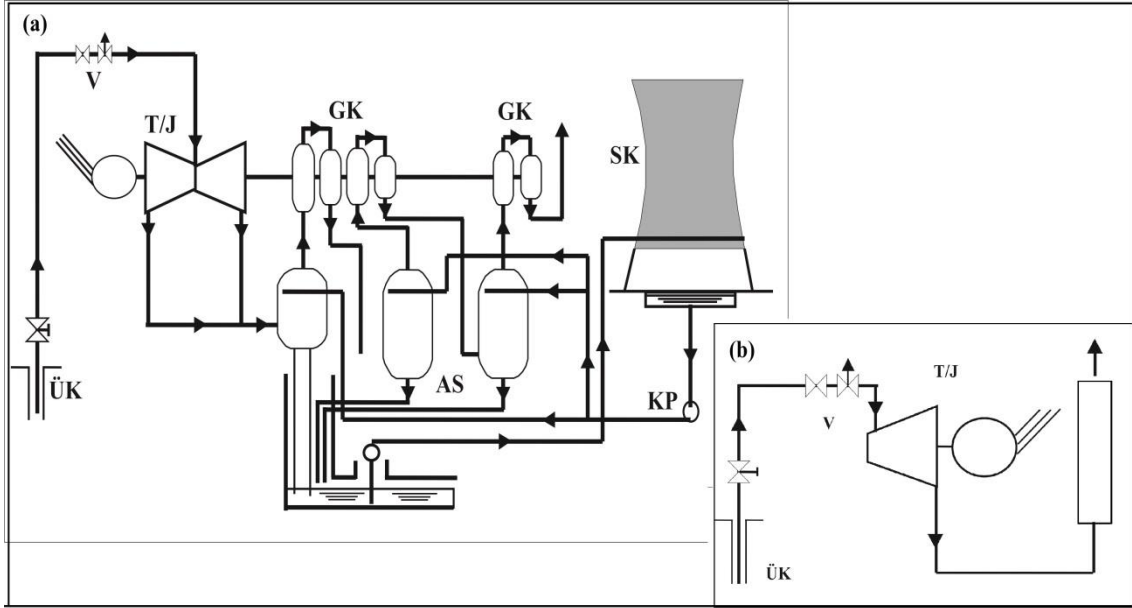
Son Santraller (1995 - ...)

20 yıl öncesinde derin rezervuarların bulunması ile bölgedeki santrallerde önemli gelişmeler olmuştur. 3 eski santralin ekonomik ömrünü tamamladığı ve 1 tanesinin de çevresel açıdan uygun olmadığı kanaatine varılmıştır. Bu eski tesislerin yerine, mevcut boyutlarını koruyacak şekilde yeni tesisler tasarlanmıştır (Şekil 8.4).

Jeotermal buharda; CO₂, H₂S ve çeşitli silikatlar, sülfat, borik asit ve klorit içerikli yüzde 5 oranında NCG (yoğuşmayan gazlar) bulunmaktadır. Özellikle klorit içeriğinin

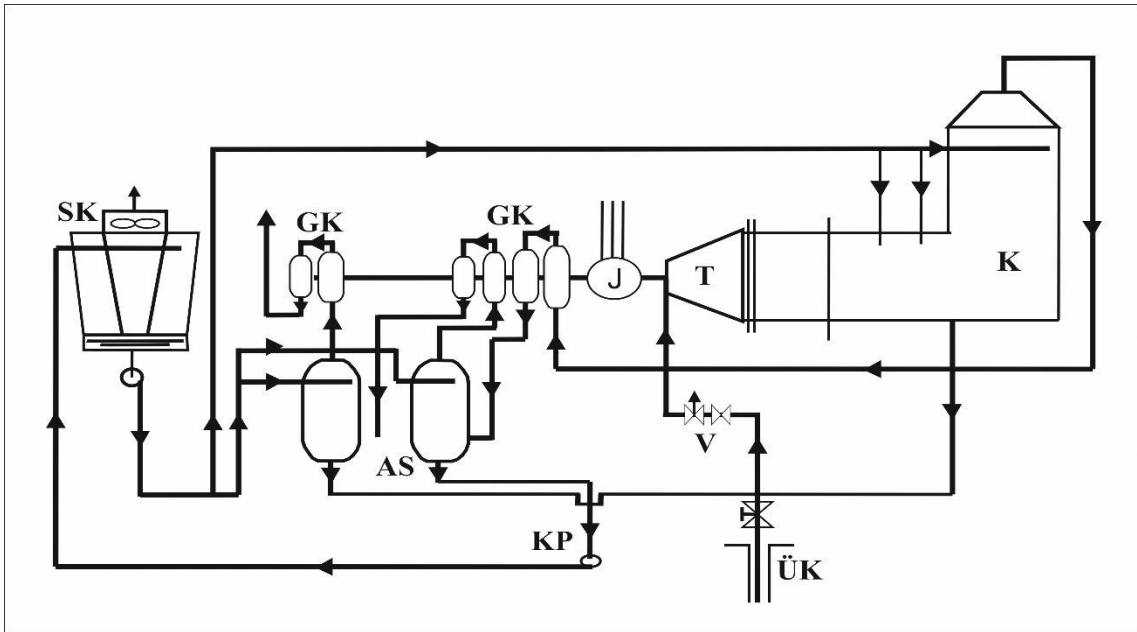
200-300 ppm seviyesinde olan türbin girişlerinde, bu oranı 35 ppm altına düşürecek temizleyiciler bulunması gerekli hale getirilmiştir. Larderello'ya kendine has bir görüntü veren heybetli soğutma kulelerinin (Şekil 8.1) yerine mekanik taslaklı kuleler almıştır (DiPippo 2012, ss. 264).

Şekil 8.3: Atmosferden havalandırmalı ile yoğuşturmalı doğrudan alım şemaları



Kaynak: DiPippo, 2012

Şekil 8.4: Larderello'nun yeni birimleri için modüler tesis düzeni



Kaynak: DiPippo, 2012

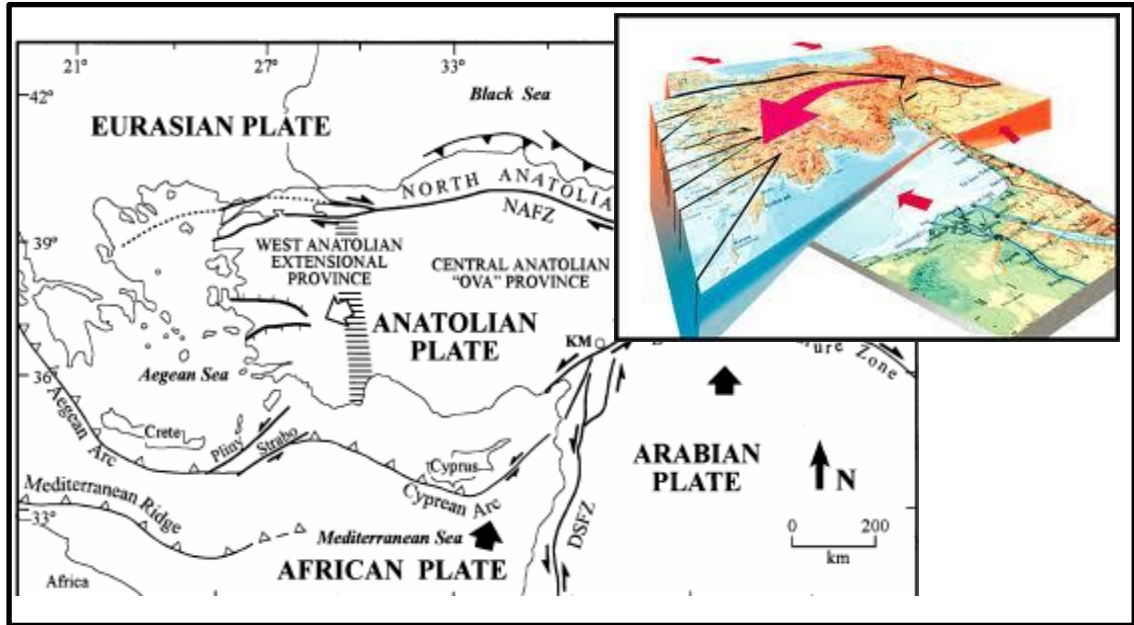
8.1.3 Çevresel Etkisini Azaltma

Güncel santraller ile santrallerin çevreye etkisini de azaltmak için çalışılmıştır. Yeraltı rezervuarını korumak için reenjeksiyon sistemi zaten uzunca bir süredir yapılmaktadır. ENEL firması tarafından uygulamaya konulmuş AMIS sistemleri ile H₂S ve Civa temizlenmektedir. Yeni kurulan modern santraller ile güç kapasitesi sabit kalmış olsa da üretilen elektrik yaklaşık yüzde 20 artmıştır. Yani eski santraller ile aynı oradan elektrik üretilmek istenseydi yüzde 20 daha fazla jeotermal akışkan işlenmiş olacaktı (DiPippo 2012, ss. 267).

8.2 TÜRKİYEDEKİ ENERJİ SANTRALLERİ

Türkiye; Avrasya, Arap ve Afrika kıtaları arasında kalan bir ülkedir. Levha hareketleri açısından aktif bir bölgede olan Türkiye'nin Ege Bölgesinde levha kalınlığı doğu bölgesine kıyasla daha incedir. Bu da magmanın yer yüzüne daha yakın olmasını sağlamış, sıkışma hareketi ile de oluşan horst-graben jeolojik yapıları sayesinde oluşan faylar da bölgeyi jeotermal açıdan son derece uygun hale getirmiştir.

Şekil 8.5: Türkiye'nin batısındaki tektonik hareketler



Kaynak: Bozkurt, 2001.

Ege Bölgesinin tektonik evrimi için 3 ana model öngörülür;

- a. Tektonik Kaçış Modeli: Arap levhasının Avrasya plakası ile çarpışması sonucu, Anadolu levhası batıya doğru hareket etmeye başlamıştır (Şengör).
- b. Yay Ardı (Arc Basın) Modeli: Avrasya, Afrika levhaları ve Batı Anadolu'nun çarpışması nedeni ile K-G yönde gerilmeler oluşur (McKenzie).
- c. Orojenik Çöküş Modeli: İzmir-Ankara-Erzincan kenet bölgesinin gravite nedeni ile kalınlaşması sonucu, Batı Anadolu'da yer yer çökmeler oluşur (Seyitoğlu).

Jeolojik oluşum senaryoları hala tartışmalı konular olsa da, bölgenin tektonik açıdan aktif olduğu kesin bir sonuçtur ve jeotermal potansiyelin oluşmasını sağlamıştır.

Türkiye'de 2009 yılına kadar tek jeotermal santral Denizli-Kızıldere sahasındaki 20,5 MWe kurulu güce sahip olan santraldir. Bu sebeple ülkemizdeki jeotermal santralleri Kızıldere Jeotermal Santrali'nden başlayarak değinmek daha uygun olacaktır.

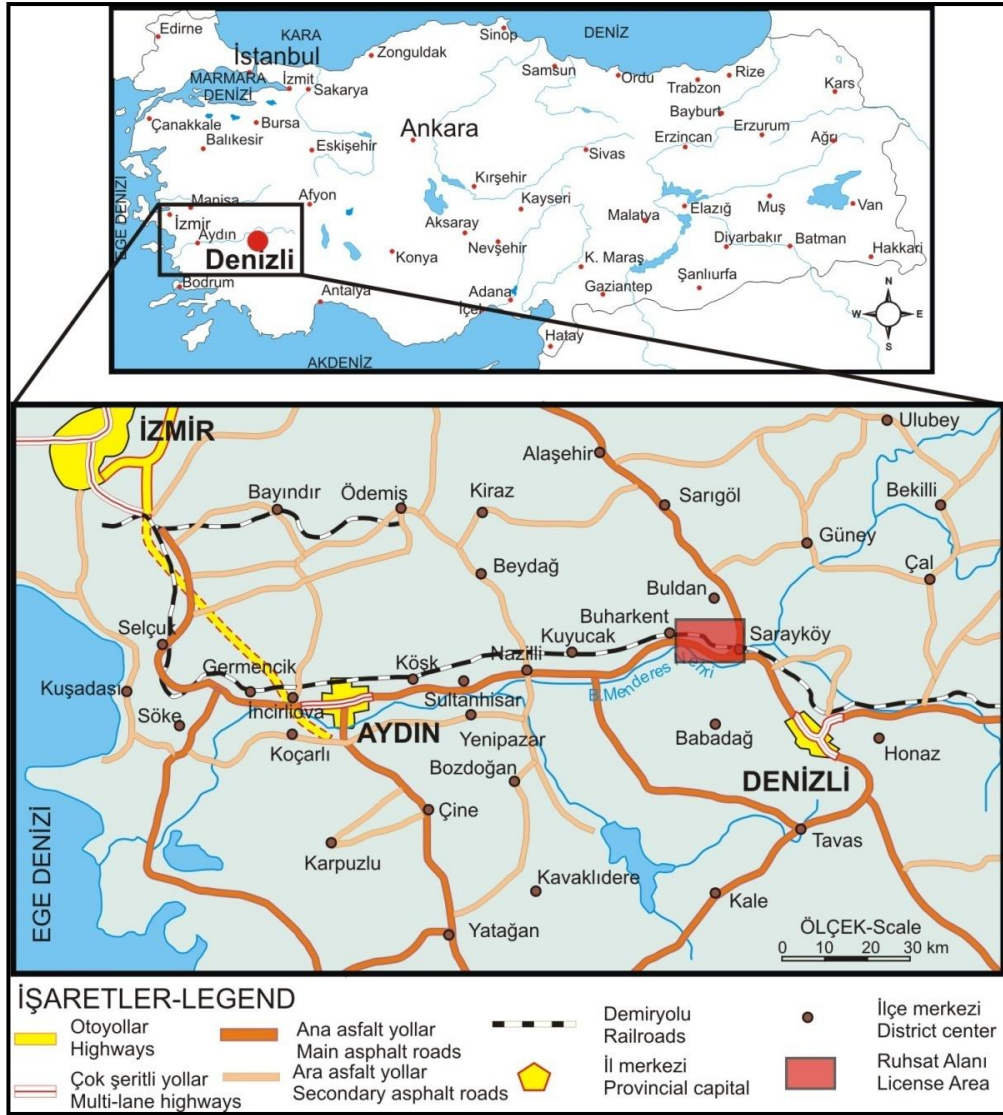
8.2.1 Kızıldere Single Flaş Sistemli Santral

Kızıldere bölgesi; Denizli iline ait, Aydın ilinin sınırında kalan bir bölgedir (Şekil 8.1). Büyük Menderes grabenin üzerinde yer alan bu saha, büyük fayların kesişim ve yaklaşımında olduğu tektonik bir alan üzerinde yer alır.

Bölgede bulunan doğal buhar çıkışların ve gayzerlerin varlığı, 1967 yılında UNDP (United Nations Development Program) işbirliği ile MTA'nın jeolojik, jeofizik, jeokimyasal çalışmalar başlatmasını sağlamıştır. Gravite ve rezistivite jeofizik etüdüleri A. K. Tezcan tarafından 1967 yılında yapılarak ilk sondaj yerleri kararlaştırılmıştır. İlk derin sondaja (KD-1) 1968 yılında başlanmış, hemen akabinde 1. rezervuar olarak bilinen Sazak Formasyonuna hedeflenen 7 sondaj (KD-2, KD-1A, KD-3, KD-4, KD-8, KD-12 ve KD-17) daha yapılmıştır. 1969 yılında M. Demirörer tarafından ilk sıcaklık ölçümleri yapıp, sonuçlar değerlendirilmiştir. 2. Rezervuarı hedefleyen ilk kuyu KD-111, 1969 yılında yapılmıştır. Maks. Sıcaklık 212 °C'ye ulaşılmış ve 8 derin kuyu (KD-6, KD-7, KD-9, KD-13, KD-14, KD15, KD-16) daha açılmıştır. Tekkehamam tarafında açılan 1 araştırma kuyusu ile birlikte 1975 yılında 17 sondaj kuyusuna ulaşılmıştır. 1974 yılında MTA tarafından 0,5 MWe kapasiteli ilk pilot santral kurulmuş ve elektrik

santrali kurulmasına yönelik ön fizibilite raporu hazırlanmıştır (1975). Kızıldere Jeotermal Santrali olarak bildiğimiz ilk santral TEK (Turkish Electricity Authority) tarafından 1984 yılında kurulmuştur. Üretimi desteklemek için sonrasında 3 kuyu daha açılmıştır. 1986 yılında kuru buz üretimi için CO₂ fabrikası açılmıştır. Araştırmalar da devam etmiş ve 3. rezervuarın varlığı yapılan etütlerle tespit edilmiş, bunun üzerine, sondaj sonraki testler ile 242 °C sıcaklığa sahip olduğu görülen, R-1 araştırma kuyusu kazılmıştır. Bunun akabinde 3 sondaj (R-2, R-3, KT-1) daha yapılarak toplam sondaj sayısı 25'e yükselmiştir.

Şekil 8.6: Kızıldere jeotermal sahası yer bulduru haritası



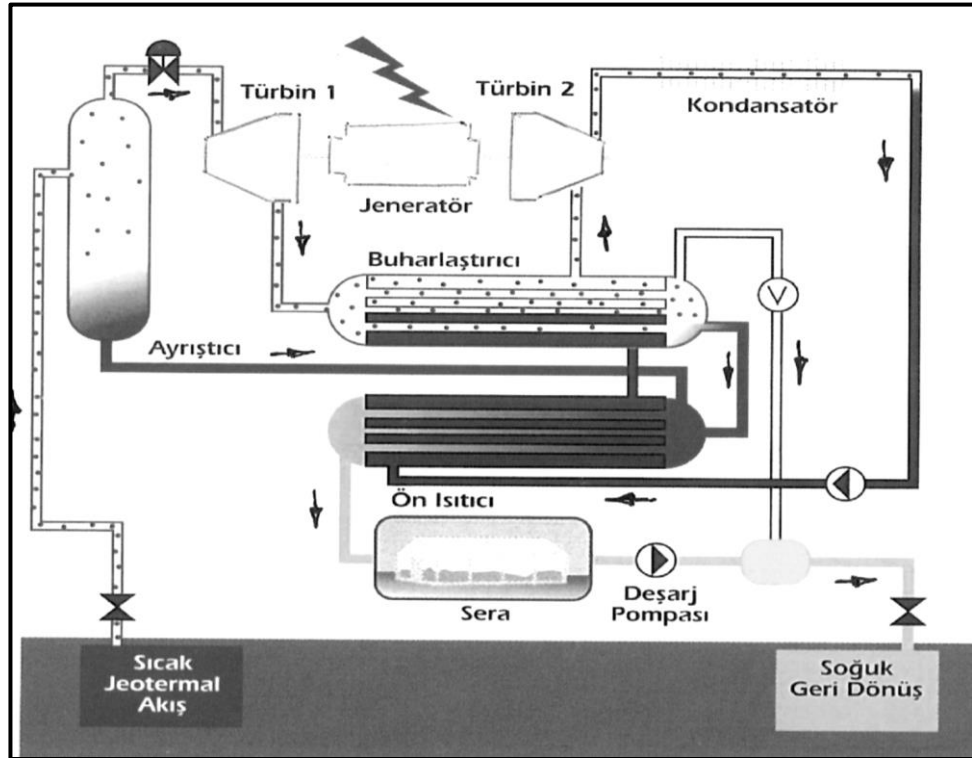
Kaynak: Ş.Şimşek, 2009

Kızıldere Jeotermal Santrali 20,4 MWe kurulu güce sahip olmasına rağmen, bölgenin sularının kalsiyum karbonat içeriklerinin fazla olması nedeni ile kabuklaşma oluşmakta ve üretim 10 MWe seviyelerine kadar düşmekteydi. Yılda 2 defa 6 ay aralıklarla MTA asitleme operasyonu yaparak borularda oluşan kabuklaşmayı temizlemekteydi. 2008 yılında özelleştirilen santrali Zorlu Doğal Elektrik Üretim A.Ş devraldıktan sonra ilk iş olarak sahaya inhibitör sistemi getirmiştir. İnhibitör sistemi ile kalsiyum ve karbonatın birleşmesi engellenmiş ve kabuklaşma sorunu büyük ölçüde önlenmiştir. Bu sayede single flash sistemine sahip Kızıldere Jeotermal Santralinin üretimi yıl boyunca çok az bir kayıp ile stabil kalabilmektedir.

8.2.2 Salavatlı Binary Sistemli Santral

Aydın ilinin Salavatlı ilçesinde bulunan Salavatlı (Dora-I) Santrali, Türkiye’de özel şirket tarafından elektrik üretimi sağlanan ilk jeotermal santraldir. AS-1 ve AS-2 üretim kuyularından elde edilen 7,95 MWe kurulu gücü ile 2008 yılında işletmeye alınmıştır.

Şekil 8.7: MEGE-Salavatlı elektrik santrali şematik gösterimi



Kaynak: M. H. Özt Demir, 2011.

Dora-I jeotermal santrali rankine çevriminin olduğu iki fazlı akışkandan elde edilen kombine bir sistemdir (Şekil 8.2). Jeotermal akışkan seperatörde ayrıştırılır; yüksek basınçlı buhar 1. türbine gönderilir, türbin çıkışında buharlaştırıcı ile tekrar yoğunlaştırılır. Hem yoğunlaştırılan buhar, hem de seperatörde ayrıştırılan sıcak su da binary sistemindeki ön ısıtıcı olarak kullanılır. Buharlaştırıcıdaki ikincil akışkanı (penton) buharlaştırarak 2. türbine gitmesini sağlar (Öztemir 2011, ss. 13-14). 78°C'ye kadar soğuyan akışkan tekrar rezervuara enjekte edilmektedir.

Menderes Geothermal Elektrik Üretim Anonim Şirketine ait olan Dora-I santrali'nin bugün Dora-II (9,5 MWe), Dora-III (34 MWe) ve Dora-IV (17MWe) santralleri ile birlikte toplam 68,45 MWe kurulu güce sahip 3 santrali bulunmaktadır.

8.2.3 Germencik Double Flash Sistemli Santral

Aydın iline bağlı Germencik ilçesindeki jeotermal arama çalışmaları 1982 yıllarında MTA ile başlamıştır. 1999 yılına kadar 11 sondaj çalışması yapan MTA (Tablo 8.1), 2002 yılında jeofizik değerlendirme raporu hazırlamıştır. Gürmat Elektrik Üretim A.Ş şirketi, MTA'dan sahayı devraldıktan sonra 2007-2008 yılları arasında 9 sondaj kuyusu daha açılmıştır.

Şekil 8.8: Germencik (Ömerbeyli) jeotermal santrali



Kaynak: Germencik Kaymakamlığı

220 °C'nin üstünde rezervuar sıcaklığı olması sebebi ile sahada double flash santral tipi uygun görülmüştür. Türkiye'nin ilk double flash sistemli santralidir.

Tablo 8.1: Germencik Sahasında Açılan Sondaj Kuyuları

Kuyu Adı	Açılış Yılı	Derinlik (m)	Sıcaklık (C)	Debi (l/s)
ÖB-1	1982	1000	203	92
ÖB-2	1982	975,5	232	144
ÖB-3	1983	1196,7	221	145,6
ÖB-4	1984	285	213	535
ÖB-5	1984	1302	212	136,5
ÖB-6	1984	1100	217	450
ÖB-7	1985	2398	223	143
ÖB-8	1986	2000	221	343
ÖB-9	1986	1464,7	216	425
A-1	1989	148,9	56	2
A-2	1999	488	70	3

Kaynak: Doğdu, 2006.

8.2.4 Kızıldere Triple Flash-Binary Kombine Sistemli Santral

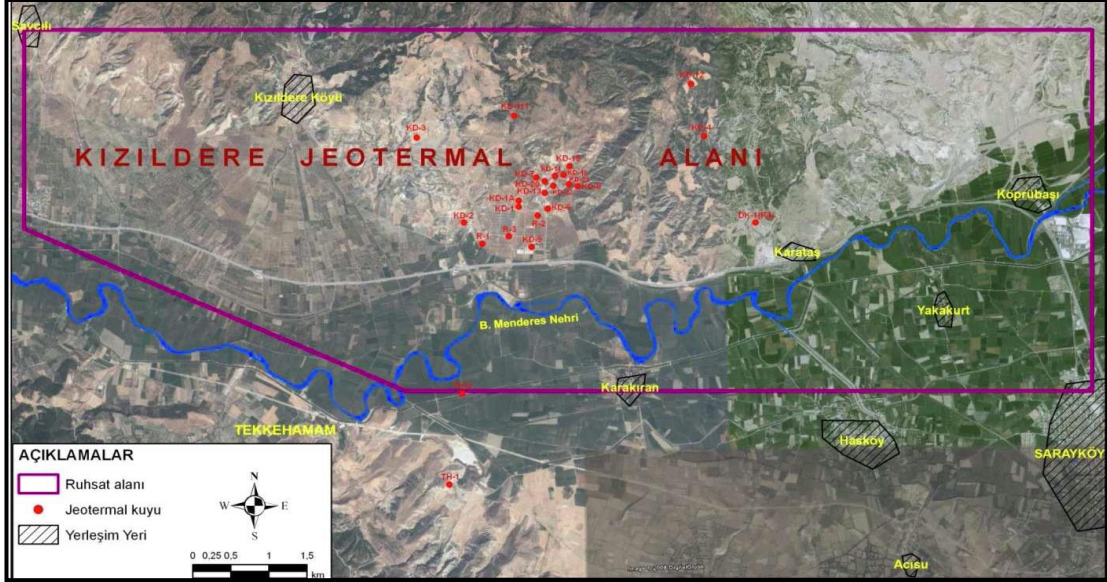
T.C. Başbakanlık Özelleştirme İdaresi tarafından 2008 yılında yapılan ihale sonucu, Kızıldere jeotermal santrali ile birlikte 64.375km² lisans sahası Zorlu Doğal Elektrik Üretimi A.Ş tarafından devralınmıştır.

2009 yılının kasım ayında yeni santral için sondajlara başlanmış, derinlikleri 1500 ile 2800 metre arasında değişen, 12 üretim 8 reenjeksiyon toplam 20 sondaj kuyusu kazılmıştır (toplam derinlik 42800 m). Sondaj sonrası yapılan testlerde 220-245 °C arasında rezervuar sıcaklığı tespit edilmiştir. Rezervuar çalışmaları sonucu sahada 60 MW triple flash-20 MW binary kombine sistem kurulması uygun bulunmuştur (Şekil 8.3).

Kızıldere kombine santrali, seracılık ve kurubuz üretiminin de yapıldığı dünyadaki tek triple flash-binary kombine çevrim sistemli santraldir. Rezervuardan gelen ortalama 230°C sıcaklıktaki akışkan sırayla yüksek basınç (HP), orta basınç (IP) ve alçak basınç (LP) seperatörlerinde ayrılarak türbine iletilir. Yüksek türbininden çıkan, yaklaşık 80°C

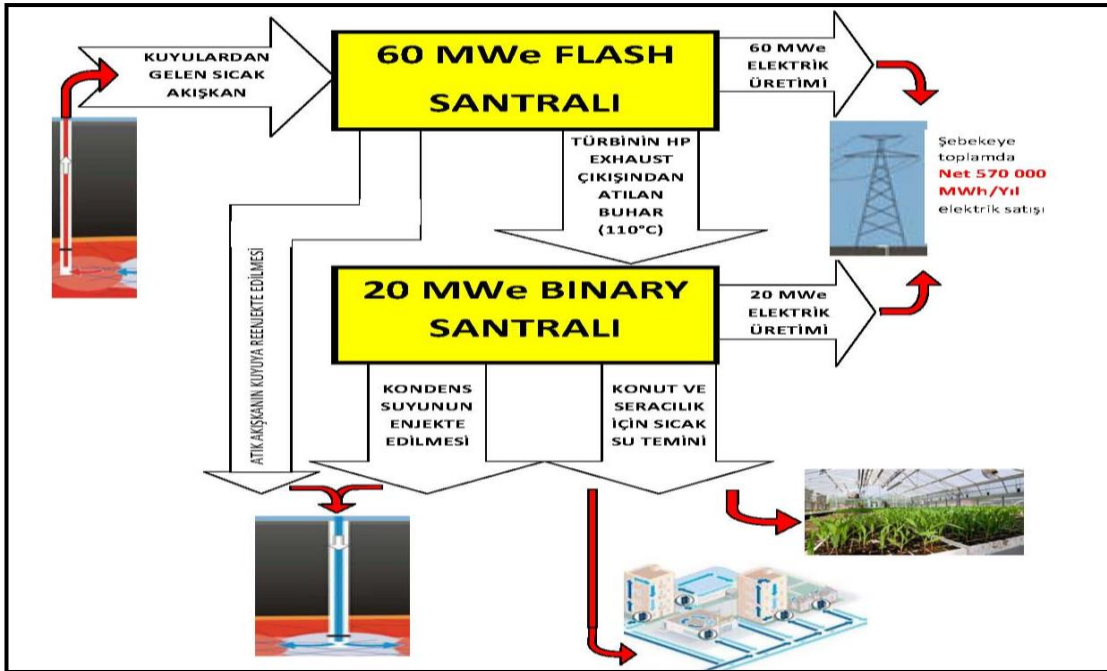
sıcaklığa düşen akışkan, binary eşanjörlerine gönderilerek enerjisinden bir kere daha faydalanılarak elektrik üretimi yapılır. Jeotermal akışkanın en verimli kullanıldığı sistem Türkiye’de tek örnektir.

Şekil 8.9: Kızıldere jeotermal ruhsat sahası



Kaynak: Zorlu Doğal Elektrik

Şekil 8.10: Kızıldere kombine sistemli santral tasarımı



Kaynak: Zorlu Doğal Elektrik

8.2.5 Jeotermal Enerjinin Mevcut Durumu ve Geleceği

Üretim açısından, dünden bugüne enerjinin sürdürülebilirliğini sağlamak en önemli konulardan biri olmuştur. Teknolojik gelişimin fosil yakıtlı kaynakların çevresinde gelişmesi, insanları bu kaynakların tükenme riski ile karşı karşıya getirmiştir. Sera gazı etkisi ile dikkatlerin çevre kirliliğine çekilmesi sonucu, enerji üretiminde kullanılan kaynaklar irdelenmeye başlanmıştır. Çevresel etkilerin az olması ve dışa bağımlılığı azaltması nedenleri ile yenilenebilir enerjiye yönelim son yıllarda artmış, jeotermal enerji çalışmaları da gelişmiştir.

Tablo 8.2: Türkiye birincil enerji kaynakları üretim ve tüketimi (2011)

Kaynak türü	Birincil enerji kaynakları üretimi		Birincil enerji kaynakları tüketimi	
	Enerji üretimi (bin tep)	Oranı (%)	Enerji tüketimi (bin tep)	Oranı (%)
Kömür	17,87	55,5	35,841	31,3
Doğal gaz	652	2	36,909	32,2
Petrol	2,555	7,9	30,499	26,6
Hidrolik	4,501	14	4,501	3,9
Biyokütle	3,555	11	3,573	3,1
Jeotermal ısı	1,463	4,55	1,463	1,3
Diğer yenilenebilir	1,633	5,1	1,712	1,5
Toplam	32,229	100	114,48	100

Kaynak:EUAS

Tektonik olarak son derece aktif olan Türkiye’de, özellikle Batı Anadolu’nun faylar açısından son derece zengin bir jeolojik yapıya sahip olması, yer kabuğunun doğuya nazaran daha ince olması nedeni ile jeotermal potansiyeli yüksektir. MTA’nın yapmış olduğu çalışmalar sonucu, ülkemizde yaklaşık 198 adet jeotermal alan olduğu ve jeotermal ısı potansiyelinin 31.500 MW olduğu tespit edilmiştir (Hepbaşlı ve Çanakçı 2003) (Yılmaz 2012, ss 11). Türkiye’deki jeotermal kaynaklarının sadece yüzde 6’sı elektrik enerjisi üretimi için uygundur (Koçak 2001). Elektrik potansiyeli 640 MW’tır. 337,4 MWe kurulu gücü işletme halindedir (Şekil 8.1). Türkiye jeotermal potansiyeli

bakımından Avrupa’da birinci, Dünya’da üçüncü sıradadır, fakat elektrik üretimi açısından Dünya’da 12. Sırada yer alır.

Tablo 8.3: Türkiye’deki jeotermal elektrik santralleri

Tesis Adı	Tesis Lokasyonu	Kurulu Gücü (MWm)	İşletmedeki Kapasite (MWe)
Kızıldere II JES	DENİZLİ-Sarayköy	80	80
Galip Hoca Jeotermal Elektrik Santrali	AYDIN-Germencik	47,4	47,4
Maren Santrali	AYDIN-Germencik	44	44
Dora-3 Jeotermal Enerji Santrali	AYDIN-Köşk	34	34
Kerem JES	AYDIN-Germencik	24	24
Deniz (Maren II) JES	AYDIN-Germencik	24	24
Türkerler Alaşehir JES	MANİSA-Alaşehir	24	24
Dora-4 Jeotermal Enerji Santrali	AYDIN-Köşk	17	17
Kızıldere JES	DENİZLİ-Sarayköy	15	15
Gümüşköy JES	AYDIN-Germencik	13,2	13,2
Dora-2 Jeotermal Enerji Santrali	AYDIN-Köşk	9,5	9,5
Dora-1 Jeotermal Enerji Santrali	AYDIN-Sultanhisar	7,95	7,95
Tuzla	ÇANAKKALE-Ayvacık	7,5	7,5
Kızıldere	DENİZLİ-Sarayköy	7,06	6,85

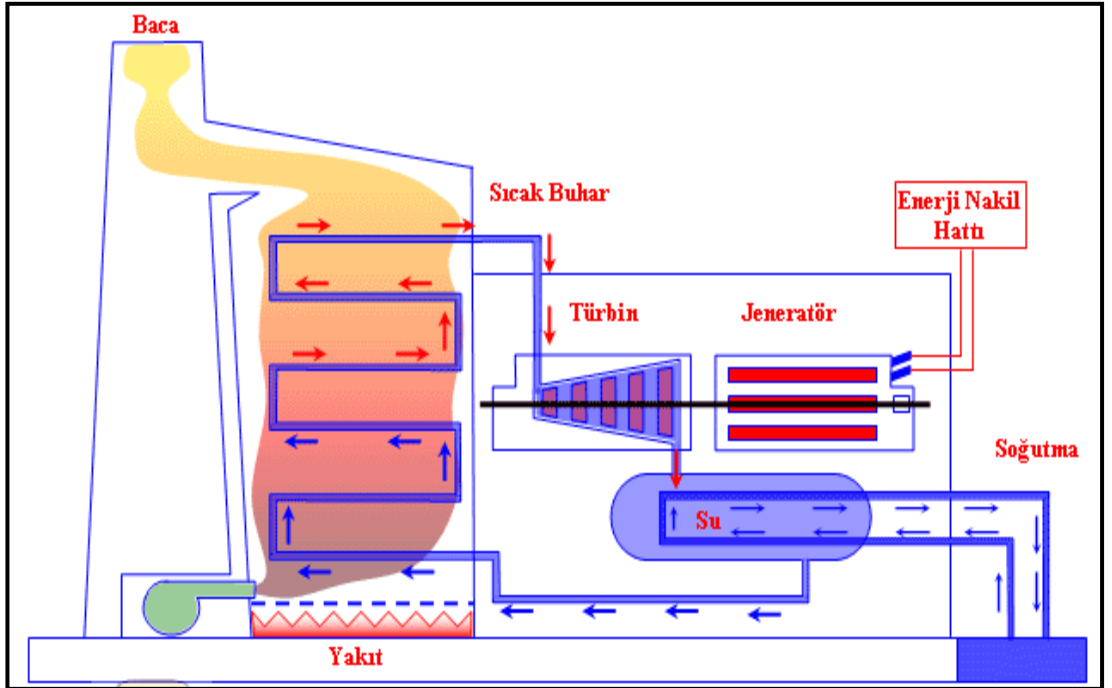
9. DİĞER ENERJİ SANTRALLERİ

Hayatın her alanında ihtiyaç duyulan enerji, çeşitli yöntemlerle elde edilmektedir. Kullanılışlarına göre sınıflandırmak istersek; kaynaklarının tükenebileceği düşünülen yenilenemez enerji kaynakları ile, uygun kullanımla tükenmeyeceği öngörülen kendini yenileyebilen kaynaklar da yenilenebilir enerji kaynaklarıdır (Koç 2013, ss. 33).

9.1 YENİLENEMEZ ENERJİ SANTRALLERİ

Sanayi devrimi ile daha da artan enerji talebi, o dönemlerde sabit fiyatta seyreden petrole ve kömüre yönelimi sağlamıştır. Sanayi sektörünün ucuz olması nedeni ile fosil yakıt odaklı gelişim göstermesi sonucu, Dünya’da hala büyük oranda bu yenilenemeyen enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu santraller, yenilenemeyen kaynaklardan termik makineler kullanarak güç üretimi yapan santrallerdir. Genel olarak; fuel-oil, kömür, doğal gaz ve nükleer santral olarak sınıflandırılır (Şekil 9.1).

Şekil 9.1: Temsili termik santral



Kaynak: K. Bostancıoğlu, U. C. Kahraman

9.1.1 (Sıvı Yakıt Enerjili) Fuel-Oil Santraller

Petrolün damıtılması ile elde edilen fuel oil, enerji üretmek için de yaygın olarak tercih edilen bir fosil yakıttır. Genel olarak fuel-oil santrallerinde, güç üretimi fuel-oilin yakılması ile başlar. Ocağın su-kazan bölümündeki su, kızgın buhar haline dönüşür ve bu buhar, elektrik üreten jeneratörlere bağlı türbinleri çalıştırıp elektrik üretimini sağlar.

9.1.1.1 Enerji verimliliği

Sıvı yakıtların taşınabildiği her yerde kurulabilmesi ve kuruluş masraflarının az olması nedeni ile tercih edilen ekonomik santrallerdir. Santral ömürleri 30-40 yıl olarak öngörülen fuel-oil santrallerinin km² başına ortalama 2.500-2.600 MW elektrik üretim kapasiteleri bulunmaktadır. Diğer yenilenemeyen enerji santralleri ile benzer oran göstermektedirler.

9.1.1.2 Çevresel değerlendirilmesi

Enerji üretimi için yakma işlemi yapılmasından dolayı uzun sürede ayrışan yüksek miktarda SO_x ve NO_x gazları ortaya çıkmaktadır. Kükürtoksit ve azotoksitlerin sudaki çözünürlüklerinin yüksek olması nedeni ile yağmur damlacıkları ile birleşerek asit yağmurlarına sebep olmaktadır (Kadioğlu ve Tellioğlu 1996, ss. 59)

9.1.2 Kömür Santralleri

Yenilenemeyen enerji santralleri arasında en ekonomik santral kabul edilen kömür santrallerinde çalışma prosedürü yakıt haricinde diğer termik santraller ile aynıdır. Üretim, taşıma süreçlerinde de çevre kirliliğine neden olan kömür santrallerinde, buhar türbinlerini döndürecek buharın oluşması için suya verilmesi gereken ısı enerjisi kömürün yakılması ile elde edilir.

9.1.2.1 Enerji verimliliği

Ömürleri ortalama 30 yıl olarak öngörülen kömür santrallerinin de km^2 başına ortalama 500-600 MWe kapasiteleri bulunmaktadır. Arsa kullanımının fazla olması nedeni ile termik santralleri arasında güç yoğunluğunun en az olduğu santrallerdir. Enerji üretim fiyatlarının ucuz olması nedeni ile tercih edilirler.

9.1.2.2 Çevresel değerlendirilmesi

Kömür santralleri içerdikleri karbon miktarlarının çok olması nedeni ile en fazla karbondioksit kirlenmesine neden olan (tüm CO_2 salımın yaklaşık yüzde 40'ı) termik santrallerdir. Ayrıca yakıt için bir işleme prosesi ve kaynak santrale yakın değilse nakledilmesi gerekir. Bir yanma prosesi gerçekleştiği için çevreye CO_2 , SO_2 , NO_x gibi zehirli gazların çıkmasının yanında atık kül de bunlarla birlikte ortaya çıkan ve birçok hastalığa sebep olarak atık ürünleri arasında yer alır. Zehirli gazların salımı nedeni ile asit yağmurlarına da sebep olmaktadır. Bu atıklar yeraltı sularına ulaşırsa, tatlı suları zehirlenmektedir. Ayrıca civa, kadmilyum ve kurşun gibi toksik ağır metaller de çevreye salınmaktadır.

9.1.3 Doğal Gaz Santralleri

Kömürden sonra en ekonomik fosil yakıt doğal gazdır. Yanma prosesi sonucunda ortaya katı ve sıvı atık çıkarmadığı için diğer yenilenemeyen enerji santrallerine göre çevreye daha az zararlıdır. Doğal gaz santrallerinin tek başına verimleri düşük olsa da, doğal gaz ve buhar türbinlerinin birlikte kullanıldığı kombine çevrim sistemi ile verimi arttırılmaktadır.

9.1.3.1 Enerji verimliliği

Doğal gaz santrallerinin ise kömür santralleri gibi ömürleri 30 yıl kabul edilmektedir. . Santral için geniş sahalara ihtiyaç olmaması nedeni ile ortalama km^2 başına 1.500-2.000 MWe üretim kapasitesi düşmektedir.

9.1.3.2 Çevresel değerlendirilmesi

Fosil kaynaklarından biri olan doğal gaz, yanma sonucunda karbondioksit gazlarının da, kül ve katı partiküllerin de oluşmasına neden olmaz. Yanma sıcaklığının ve yanma esnasındaki hava miktarının yüksek olması nedeni ile kükürtoksit (SO_x) oluşumuna neden olabilmektedir. Fakat yakıt ve hava oranı, özel yakma sistemleri ile kontrol altına alınabilmektedir (Ertürk ve diğerleri 2006, ss. 58).

9.1.4 Nükleer Santraller

Nükleer enerji santralleri de aynı diğer yenilenemeyen enerji santralleri gibi bir prosedürle çalışır. Türbinlerin buhar basıncı ile dönmesi ile elektrik üretilir. Kazanlarda yer alan suyu buhara çevirmek için ise, reaktörlere ihtiyaç vardır. Bu reaktörlerde fisil çekirdeklerin zincirleme fisyonu sonucu açığa çıkan ısı enerjisi ile suyun olduğu kazan ısıtılır. Fosil yakıtlı santrallerin aksine, fiyat dalgalanmalarından etkilenmemesi nedeni ile tercih edilen nükleer santrallerin, uzun süre kullanabileceği nükleer yakıtı küçük bir alanda depolanabilmektedir.

9.1.4.1 Enerji verimliliği

Nükleer santraller, kaynakları doğadan olmaması nedeni ile spesifik bir sahaya ihtiyaç duymadıkları için uygun olan lokasyona inşaa edilir, bu sebeple doğal ortama müdahale minimumdur. İnşaa edildikleri alanlar, kömür ve fuel-oil santrallerindeki gibi yakıtın çıkarılması, işlenmesi, iyileştirilmesi gibi ekstra işlemlere ihtiyaç duyulmadığından nispeten daha küçüktür. (Ertürk ve diğerleri 2006, ss. 42). Üretim kapasitesi, dünya elektrik gereksiniminin yüzde 17'sini karşılayacak kadar fazladır (Ertürk ve diğerleri 2006, ss. 39).

Kapladıkları sahaya oranla büyük verime sahiptirler. 2 reaktöre sahip Arkansas Nükleer istasyonu 1800 MWe kapasiteli bir istasyondur. Saha olarak 1,1 km² alana kurulmuştur (www.entergy-arkansas.com). Megawatt başına kapladıkları alan yaklaşık 6,1 X 10⁻⁴ km²/MW kadardır.

9.1.4.2 Çevresel değerlendirilmesi

Nükleer santraller teknolojik açıdan ilerlemiş ülkelerde, istikrarlı ve disiplinli bir şekilde işletilmesi gereken santrallerdir. Özellikle santralin inşaa edileceği lokasyon jeoteknik açıdan son derece titiz bir şekilde etüd edilmelidir. Aktif olan fay hatları tespit edilmeli, santral bu fay hatlardan uzakta kurulmalıdır.

Nükleer santrallerin sera gazı etkisi yaratacak CO₂, SO₂, NO_x ve ağır metaller gibi atıkları, sera etkisi, asit yağmurları gibi zararları bulunmamaktadır. Fakat ufak bir hatanın ya da ihmalkarlığın bile geri dönüşü çok uzun sürern büyük hasarları mevcuttur (Örn: Çernobil faciası, Three Mile Island kazası, Fukushima). Oluşabilecek bir kaza sonrası çevreye yayılan radyoaktif maddeler, direkt ya da bitki ile hayvanları etkilenmesiyle dolaylı olarak insan sağlığını etkilemektedir. Ayrıca soğutma için kullanılan suyun dışarı verilmesi, bölgedeki doğal yaşamı ve canlıları tehdit etmektedir.

Şekil 9.2: Three Mile Island kazası



Kaynak: <http://www.worldculturepictorial.com>

Tüm dünyada yaklaşık 440 nükleer santral bulunmaktadır. Bunlardan bir yılda çıkan nükleer atıklar 12.000 ton'dur (Ertürk ve diğerleri 2006, ss. 44). Bu atıkların camlaştırılarak, çelik bidon ve kaplar içinde sızdırmazlıkları sağlanmış bir şekilde yer altına depo edilmesi gerekmektedir.

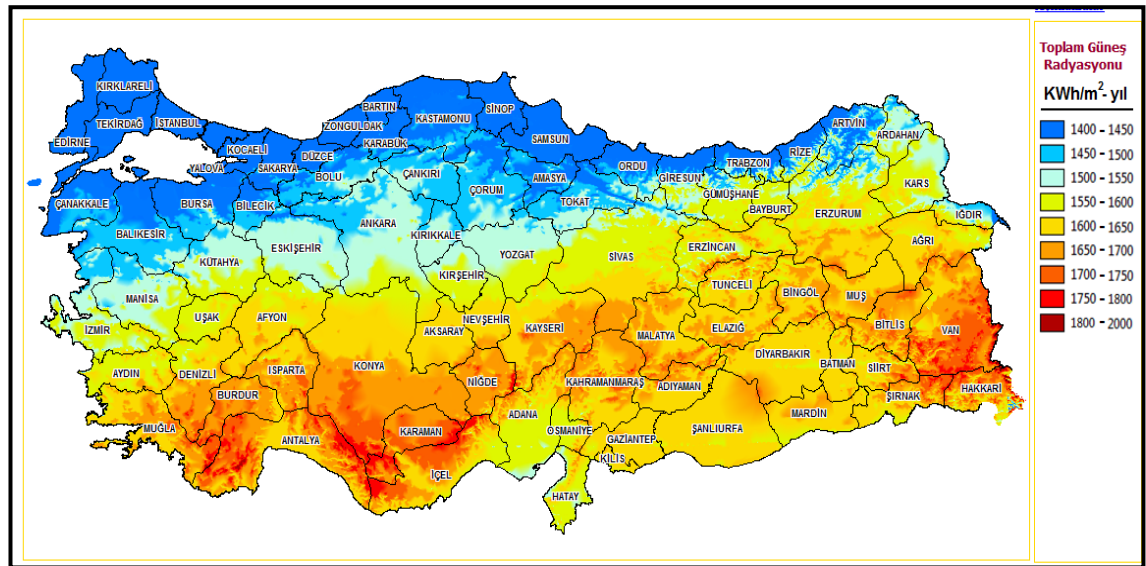
9.2 YENİLENEBİLİR ENERJİ SANTRALLERİ

Enerjiye olan ihtiyaç gün geçtikçe artarken, fosil yakıt yataklarından kömürün 250 yıl, petrolün ise 50 yıl sonra tükeneceği öngörülmektedir. Elektrik üretimi için yeni enerji kaynaklarına yönelim, fosil yakıtlı santrallere ikame olması için, son dönemlerde artmıştır. Kaynak maliyetleri olmayan bu santrallerin teknolojileri, enerji verimlilikleri ve çevresel etkileri bakımından farklılıklar göstermektedir.

9.2.1 Güneş Enerjisi Santralleri

Kaynağı güneş olan, güneşten gelen fotonik enerjiyi elektrik enerjisine çeviren santrallerdir. Çalışma yöntemleri bakımından; fotovoltaik ve solar-termal sistemler olarak ikiye ayrılır.

Şekil 9.3. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyel haritası



Kaynak: EİE

Fotovoltaik Santraller

Fotovoltaik santraller (PV), güneş ışınlarının fotovoltaik paneller vasıtası ile elektrik enerjisine çevrildiği sistemlerdir. Hareketli parçalara ihtiyaç duymadan güneş enerjisini elektrik enerjisine dönüştürler (Yenilebilir Enerji Kaynakları ve Önemi, 2012, ss. 14).

Solar-Termal Santraller

Solar-termal santrallerinde güneş ışınları özel aynalar vastası ile merkezleme kulesine iletilir (Şekil 9.4). Burada bulunan yağ, su vb. akışkan ısıtılarak buhara dönüştürülür. Buharın türbinleri döndürmesi ile de mekanik enerji kinetik enerjiye çevrilmiştir. Güneş enerjisinin önce ısıya, ardından buhar aracılığı ile mekanik enerjiye çevrilmesi ile elektrik üretilir. PV santrallerin haricinde güneşin izlenmesi, ışınım değişmelerinin dengelenmesi gibi daha karmaşık teknolojiler gerekmektedir (Ertürk ve diğerleri 2006, ss. 34).

Şekil 9.4: Barstow, Kaliforniya'daki güneş enerjisi kulesi



Kaynak: <http://www.inforse.org/europe/dieret/Solar/solar.html>

9.2.1.1 Enerji verimliliği

Bir güneş santralinin verimi aldığı enerjinin ne kadarını elektriğe dönüştürdüğüün hesaplanması ile bulunur. Gelen spektrumun sadece belirli dalga boyu aralığındakiler elektrik enerjisine dönüştürülebilir. Büyük orandaki geri kalanları ya yansıtılmakta ya da soğrulmaktadır. Standart bir fotovoltaik pilin yüzde 6-20 civarında verimi vardır. Fakat biz bu bölümde bütün enerji santrallerini, kapladıkları sahanın ürettikleri elektriğe oranı olarak değerlendirmeye çalışacağız.

Tablo 9.1: Türkiye'nin aylık ortalama güneş enerjisi potansiyeli

AYLAR	AYLIK TOPLAM GÜNEŞ ENERJİSİ		Güneşlenme Süresi
	(Kcal/cm ² -ay)	(kWh/m ² -ay)	(Saat/ay)
OCAK	4,45	51,75	103,0
ŞUBAT	5,44	63,27	115,0
MART	8,31	96,65	165,0
NİSAN	10,51	122,23	197,0
MAYIS	13,23	153,86	273,0
HAZİRAN	14,51	168,75	325,0
TEMMUZ	15,08	175,38	365,0
AĞUSTOS	13,62	158,40	343,0
EYLÜL	10,60	123,28	280,0
EKİM	7,73	89,90	214,0
KASIM	5,23	60,82	157,0
ARALIK	4,03	46,87	103,0
TOPLAM	112,74	1311	2640
ORTALAMA	308,0 cal/cm²-gün	3,6 kWh/m²-gün	7,2 saat/gün

Kaynak: <http://www.eie.gov.tr/eie-web/turkce/YEK/gunes/tgunes.html>

Tablo 9.1'de görüldüğü üzere Türkiye'nin 1 yıllık güneşlenme süresi 2640 saat, ortalama yıllık güneş enerjisi ise 3,6 kWh/m²-gün olarak hesaplanmıştır. Güneş enerjisi santrallerinin en büyük sorunu kaynağı güneş olduğu için, insanların daha çok elektrik kullanımına ihtiyaç duydukları akşam saatlerinde üretimin olmamasıdır. Mevsimlere

bağlı olarak da güneşlenme süresi değiştiği için üretimin stabil kalmamasıdır. Panellere gelen güneş ışınlarının veriminin yüzde 6-20 civarında olması nedeni ile büyük panellere ihtiyaç duyulur. Her ne kadar tükenmez bir kaynağa sahip olsa da, paneller/güneş pilleri ucuz olmadığı için ekonomik değildir. Yaygınlaşması ile daha ekonomik hale geleceği düşünülmektedir.

Güneş santralleri, gerek fotovoltaik, gerek solar termal santrallerinin güç yoğunlukları, 40 MWe/km² civarındadır. Luz güneş termik santralının özgül alanı 47,62 MWe/km² iken Solar One güneş termik santralının 142,86 MWe/km² olmuştur. Bu alan PV santraller için 76,9 ile 111,1 MWe/km² arasında değişmektedir (Varınca 2006, ss. 6-7).

9.2.1.2 Çevresel değerlendirilmesi

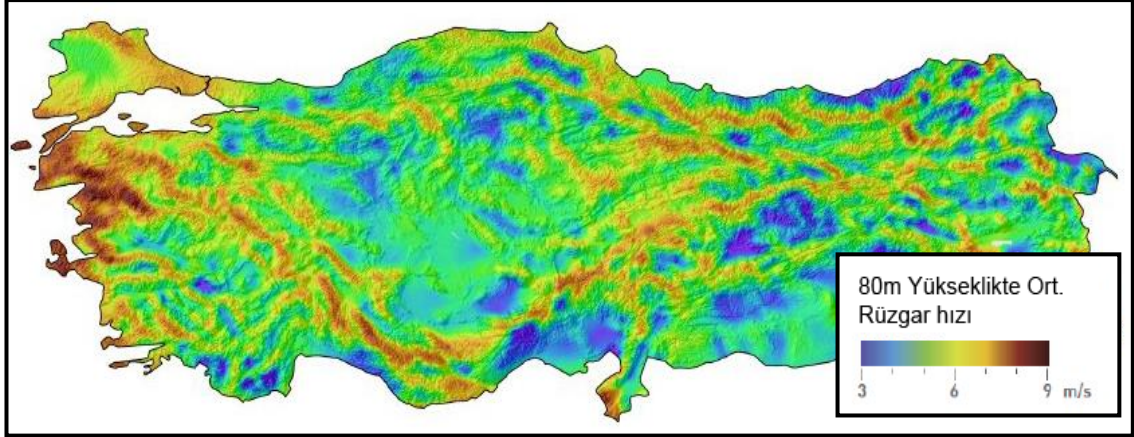
Gürültü yaymayan güneş enerji santralleri, enerji üretirken kaynak olarak sadece güneşi kullanır ve yenilenemeyen hiç bir yan kaynağa ihtiyaç duymazlar. Enerji üretimi sırasında katı, sıvı veya gaz atık ürünler ortaya çıkarmaz (Edenhofer ve diğerleri 2012, ss. 370). İşletme esnasında çevresel kirlilik oluşturmeyen bu santrallerde dikkat edilmesi gereken dönemler, imalat, montaj, bakım ve bertaraf süreçleridir. İçinde az miktarda zehirli kimyasallar bulunduran fotovoltaik piller çevreye sızabilir.

Santrallerin kapasitesine bağlı olarak kapladıkları alan değişse de genel olarak PV santraller geniş alanlara kurulmaktadır ve buna bağlı olarak ekolojik hayatı ve topografyayı etkilemektedirler. Bu sebeple verimsiz topraklarda yapılması tercih edilmektedir.

9.2.2 Rüzgar Enerjisi Santralleri

Diğer bir yenilenebilir enerji sistemi de, sıcaklık ve bundan doğan basınç farkları nedeni ile oluşan rüzgarın kinetik enerjisini, mekanik enerjiye çevirerek elektrik üreten rüzgar santralleridir. En büyük dezavantajları rüzgarın stabil olmamasından dolayı elektrik üretiminde dalgalanmalar olmasıdır.

Şekil 9.5: Türkiye'nin rüzgar enerjisi potansiyel haritası



Kaynak: <http://www.turk-res.com.tr/ruzgar-haritalari/>

9.2.2.1 Enerji verimliliği

Rüzgar santralleri, rüzgar türbinlerinin geniş sahalara inşaa edilmesiyle kurulsalar da, türbinler tüm sahanın yüzde 1-2'si kadar alanı kaplamaktadırlar. Bölgesel yerleşimde plan değişikliğine ya da havaalanlarındaki rotaların değişmesine sebep olsa da, türbinler arasında kalan alanların tarım ve hayvancılığın devam etmesi için büyük bir engel teşkil etmez. Rüzgar türbinleri elektromanyetik parazitlere sebep olabilir. Bu sebeple santralin kurulacağı yer titizlikle seçilmesi gerekir.

Rüzgar santralleri için km^2 başına ortalama 2,5 MW güç üretimi düşmektedir. 1800 megawatt üretim için 108 km^2 civarında bir alan ihtiyacı vardır. 1 Megawatt üretim için yaklaşık $0,06 \text{ km}^2$ alan gerekli olduğu görülmektedir (Tablo 9.2).

Tablo 9.2: Rüzgar santrallerinde 1 MW üretim için gerekli alan

Bir Rüzgar Santrali Örneği	
Ortalama bir türbin gücü:	2,5 Megawatt
1800 Megawatt kurulu güce sahip bir santral için:	720 adet türbin
Gerekli olan saha:	108 km^2
Megawatt başına düşen alan (verim):	$0,06 \text{ km}^2/\text{Mwatt}$

Kaynak: http://www.entergy-arkansas.com/content/news/docs/AR_Nuclear_One_Land_Use.pdf

9.2.2.2 Çevresel değerlendirilmesi

Kaynağı rüzgar olması nedeni ile kaynak maliyeti olmayan bu santraller, kurulum sürelerinin de kısa olması nedeni ile tercih edilen enerji üretim sistemleridir. İşletimleri esnasında sera gazı salımı yapmaması, türbin maliyeti haricinde kayda değer maliyetlerinin olmaması, yaygınlaşmaları nedeni ile türbin maliyetlerinin de her geçen gün azalması, türbinlerin bulunduğu araziler tarım ve hayvancılık gibi konularda tamamen işlevselliğini kaybetmemesi gibi etkenler de dışa bağımlılığı azaltmak için tercih edilen santraller arasında olmasını sağlamıştır. Birçok enerji santrallerinde bulunan soğutma kulesinin bulunmaması ile üretim sırasında atık ürün oluşmaması da çevre dostu en zararsız enerji santrali olmasında büyük rol oynamıştır (Ertürk ve diğerleri 2006, ss. 75).

Fakat bunların yanında rüzgar enerji santralleri büyük alan kaplamaktadır. Kanatların civarında sürüklenen hava nedeni ile göç eden kuşların türbine sürüklenmekte ve pervanelerde ölmektedir. Gürültü ve görsel kirlilik gibi olumsuzlukları da vardır.

Santralin kurulacağı yerin, çevredeki yerleşimleri gürültü ile rahatsız etmeyecek uzaklıkta seçilmesi ile gürültüde kaçınmak mümkündür. Teknolojik gelişim ile birlikte göçmen kuşların yaklaştığı tespit edip kanatların dönmesini durduran sensörler yapılmıştır.

9.2.3 Hidroelektrik Enerji Santralleri (HES)

Dünyanın dörtte üçü sularla kaplı olmasına rağmen, bu suların sadece yüzde 2,5'i içilebilir tatlı su niteliğindedir. Türkiye akarsuların çok, eğimin de fazla olduğu bir ülke olduğu için, hidroelektrik potansiyeli yüksektir. Fakat dünya potansiyeline bakıldığında yaklaşık yüzde 1'ine karşılık gelmektedir.

Hidroelektrik santraller (HES), suyun akış gücüyle türbin kanatlarının dönmesini sağlayıp, hareket enerjisinden elektrik üreten santrallerdir. Genel olarak küçük ölçekli ve büyük ölçekli hidroelektrik enerji santralleri olarak ikiye ayrılır. Büyük ölçekli

HES'lerin yenilenebilir enerji kategorisine dahil edilmesi konusunda hala tartışmalar devam ettiği için bu bölümde genel olarak küçük ölçekli HES'lere, rezervuar alanı 15 km²'den düşük olan santrallere değinilecektir.

Tablo 9.3: Dünya ve Türkiye'deki brüt hidroelektrik potansiyel

	Brüt HES Potansiyeli (GWh/yıl)
DÜNYA	40.150.000
AVRUPA	3.150.000
TÜRKİYE	433.000

Kaynak: A. Doğan, E. Acar, Potansiyeli Ve Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesi. Aralık 2008.

9.2.3.1 Enerji verimliliği

Projelerin büyüklüğüne göre çevresel etkiler de arttığından, çevre dostu bir enerji santrali inşaa etmek için tasarım aşamasında iyi bir planlama ile küçük çaplı hidroelektrik santraller tercih edilmelidir. Enerjiyi depolama özellikleri olmadığı için suyun debisine bağlı olarak üretim dalgalanmaktadır, bu sebeple verimleri düşüktür.

Küçük çaplı hidroelektrik santrallerinde verim yaklaşık olarak yüzde 50 civarındadır. Güç hesaplamalarında kayıpları da hesaba katmak için 0,5 ile çarpılır (micro hydro power pdf dosyası ss. 2).

9.2.3.2 Çevresel değerlendirilmesi

Kaynağı su olan HES'ler sera gazı etkisini yaratmaz ve karbon emisyonları düşüktür. Debisi yüksek olan akarsularda yapıldığı zaman olası erozyon etkisini de, yapılan barajın suyun hızını kesmesi sebebiyle, büyük ölçüde engeller. Akarsuyun akış yönünü değiştirme ihtimaline karşı, akım doğrultusunda küçük çaplı bir rezerv akışı sağlanmaktadır. Küçük ölçekli HES'ler ekipman açısından da, işletme açısından da maliyeti düşük olan santrallerdir. Kısaca bakımları kolay ve işletme süreleri uzundur.

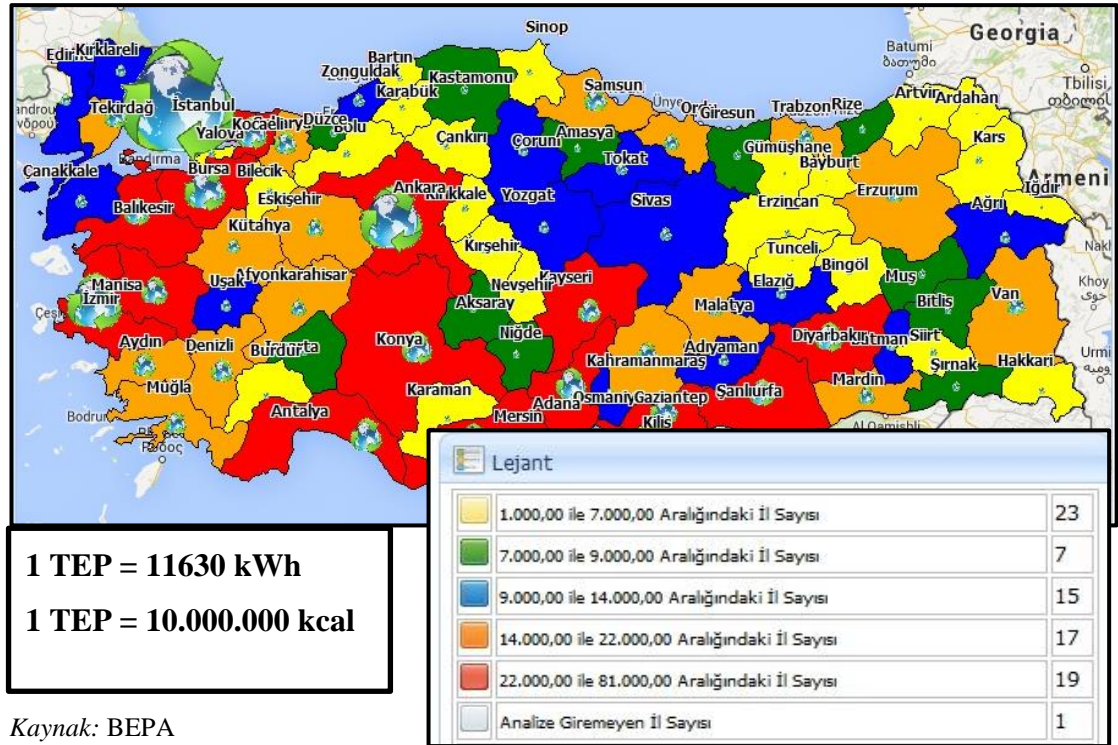
Fakat barajın inşaa edilmesi esnasında çevredeki fauna ve florayı olumsuz yönde etkilemektedir. Ekolojii bozmakta, bu yüzden insan yaşamını da etkilemektedir. Baraj önünde oluşan yapay göl, buharlaşmanın artmasına, bu da iklimsel değişikliklerin

oluşmasına neden olmaktadır. Nem oranını arttırmaktadır. Sıcaklık, yağış ve rüzgar gibi doğa olayları değişmektedir. Yöredeki bitki örtüsü de bu değişikliklerden etkilenmektedir (Kadioğlu ve Tellioglu 1996, ss. 58). Yapay göller aynı zamanda akışın azalmasından dolayı suyun oksijen alma kapasitesini düşürmekte, buharlaşmanın artmasından dolayı suyun tuzluluk oranı arttırmaktadır. Bu da sudaki canlıların yaşamını değiştirmektedir. Baraj önünde biriken su yüzeyi genişledikçe olumsuz etkileri de artmaktadır. Bu sebeple küçük ölçekli HES'ler, büyük ölçeklilere nazaran daha az olumsuz çevre etkilerine sahiptir.

9.2.4 Biyokütle Enerji Santralleri

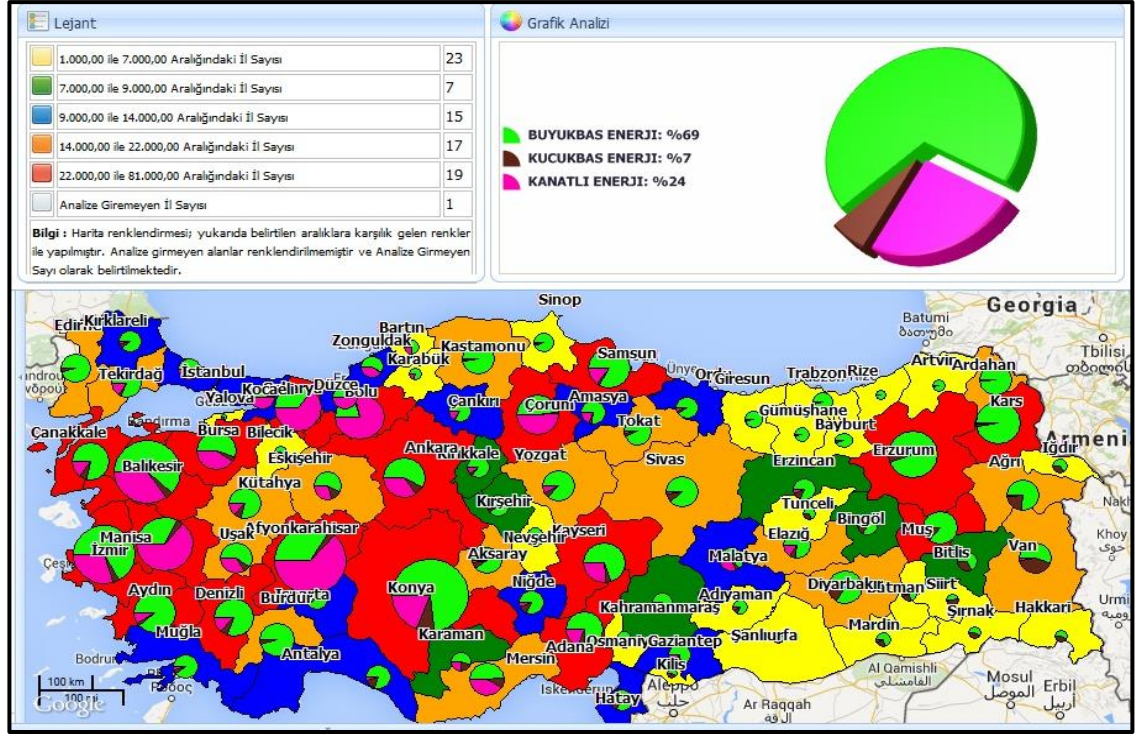
Atıkların yakılması ile elektrik elde eden santrallerdir. Genel olarak hayvan atıkları, bitki atıkları ve organik atıklar olmak üzere üç ana kısımdan oluşurlar.

Şekil 9.6: Türkiye'nin biyokütle enerjisi potansiyel haritası (kentsel organik atık)



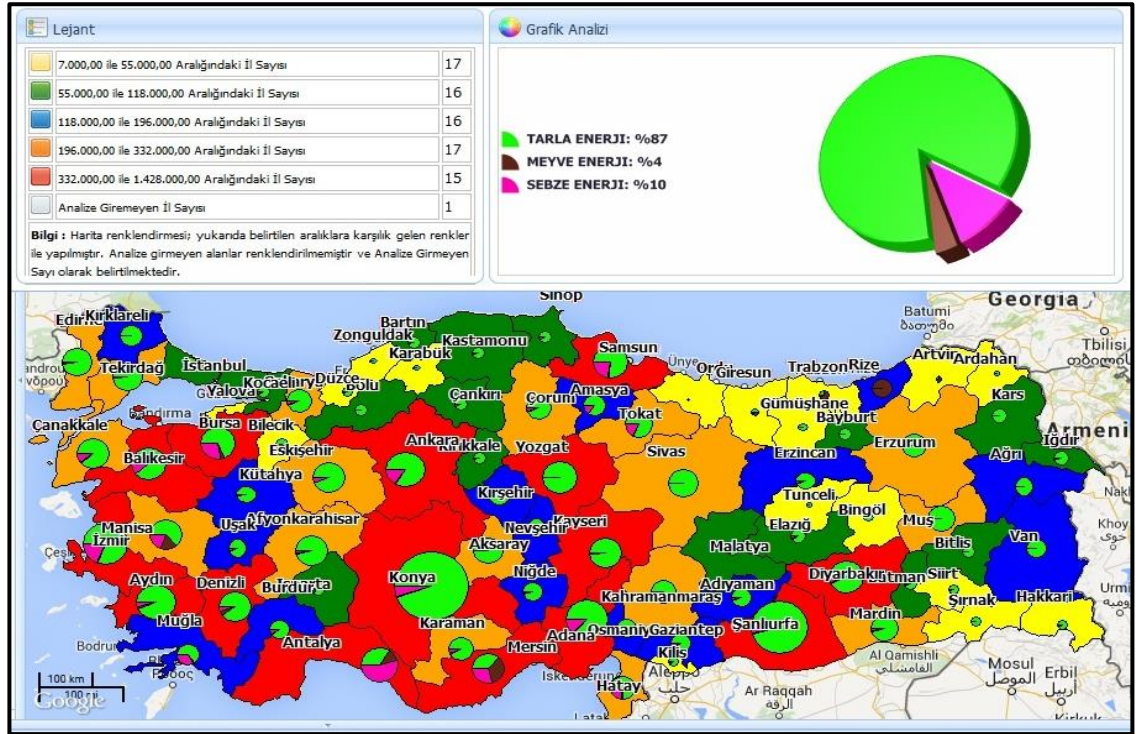
Kaynak: BEPA

Şekil 9.7: Türkiye'nin biyokütle enerjisi potansiyel haritası (hayvansal atık)



Kaynak: BEPA

Şekil 9.8: Türkiye'nin biyokütle enerjisi potansiyel haritası (bitkisel atık)



Kaynak: BEPA

9.2.4.1 Çevresel değeriendirilmesi

Enerji üretimde kullanılacak olan bitki ve hayvanlardan üretilen kaynaklarda, fosil yakıtlarda bulunan kanserojen madde ve kükürt bulunmamaktadır (Çukurçayır ve Sağır, ss. 265). Fakat, her ne kadar oluşan atıklardan kurtulmaya ve bunları enerjiye çevirmeye yarasa da, yakılan biyokütle cinsine göre tehlikeli atıklar ortaya çıkabilir. Bu da Tehlikeli Atıkların Kontrolü Yönetmeliğı (TAKY) tarafından kontrol edilmektedir (Ertürk ve diğeri 2006, ss. 77). Bitkilerin çeşitli kimyasallara maruz kalması nedeni ile atıkların yakılmasıyla çevreye zarar verebilen gazlar ortaya çıkmaktadır. Hayvansal atıkların çoğunluğu küçük yerleşimlerde yakılarak ısınmak amacı ile kullanılmaktadır. Biyokütle teknolojileri, bu sistem ile enerji üretmenin yaygın olmaması nedeni ile gelişmemiştir.

10. ENERJİ SANTRALLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yaşamın devamlılığı için gerekli olan enerji, çeşitli şekillerde üretilebilir. Bu çalışmada santrallar, kullandıkları enerji kaynaklarına göre genel olarak yenilenebilir ve yenilemez enerji üretim metotları şeklinde iki grup olarak ele alınmıştır. Bu bölümde bunlar enerji verimliliği ve çevresel etkileri açısından kıyaslanacaktır.

10.1 ENERJİ VERİMLİLİĞİ AÇISINDAN KIYASLAMA

Enerji verimliliğinin hesaplanması, her bir santral tipine göre farklılık göstermektedir. Güneş enerjisi santrallerinin üretimi, güneşten gelen ışınımın günlük ve mevsimsel olarak değişmesi nedeni ile stabil değildir. Küçük çaplı HESlerin üretimleri mevsimsel olarak değişkenlik gösteren akarsu debileri nedeni ile dalgalanmaktadır. Rüzgar santrallerinin üretimi de gündüz ile gece arasındaki sıcaklık farklılıklarına bağlı olduğu için mevsimsel olarak da değişkenlik gösterdiği gibi gün içinde de sabit değildir.

Tek bir bakış açısı ile bütün santrallerin kıyaslanması için bu bölümde güç yoğunluğu; km^2 'ye düşen elektrik miktarı olarak düşünülmüştür. İlgili santral türünün Türkiye'de örneğinin bulunmaması durumunda yurt dışından örnekler seçilerek hesaplanan enerji santrallerinin saha kullanımına göre enerji yoğunlukları Tablo 10.1'de verilmiştir.

Tablo 10.1'den görüleceği gibi yenilenemeyen enerji santralleri, nispeten yenilenebilir enerji santrallerinden daha az alan kaplayarak daha küçük alanda fazla enerji üretimi yapabilmektedir. Özellikle ekonomik ömrü en fazla olan nükleer enerji santralleri, bunların içinde hem enerji potansiyelleri fazla, hem de arsa kullanımı konusunda çevreye en az zararlı santrallerdir. Ekonomik ömürleri 30-40 sene civarında olan fuel oil, kömür ve doğal gaz santrallerinin verimlilikleri birbirine yakındır.

Yenilenebilir enerji santralleri, enerji üretimini yapacakları doğal kaynaklardan en fazla faydayı sağlayabilmek için geniş sahalara ihtiyaç duymaktadırlar. Güneşten en fazla

verimi alabilmek için güneş panelleri, hem güneş ışınlarını en fazla alabilecek şekilde optimal açıyla, geniş alanlara kurulmaktadır. Rüzgar santrallerinde her bir türbin birbirlerinden rüzgar altı yönünde rotar çapının 7 katı, buna dik yönde de 3 katı kadar uzakta kurulmaktadır. Bu da türbinlerin geniş sahalara yayılmasına neden olmaktadır. HES’lerde inşa edilen barajın önünde oluşan yapay göletin kapladığı alan mevsimsel olarak değişiklik göstermektedir.

Tablo 10.1: Enerji santrallerinin verimlilik kıyaslaması

Santral Türü	Örnek Saha	Kapasite (MWe)	Kapladığı Alan (km ²)	Güç Yoğunluğu MWe/km ²	Ömrü (yıl)
Doğal Gaz	Borasco Doğal Gaz Santr., Samsun	890	0,5	1.780,00	30
Kömür	Yatağan Termik Santr., Muğla	630	1,163	541,70	30
Nükleer	EPZ Borssele, Netherland	485	0,19	2.552,63	60
Fuel-Oil	Ambarlı Fuel-Oil Santr., İstanbul	330	0,1262399	2.614,07	40
Güneş	Yeşilvadi Güneş Enerjisi Tesisi, Denizli	3	0,074336	41,87	25
Güneş	Jumilla (PV), İspanya	23	1	23,00	25
Rüzgar	Sarıtepe-Demirciler RES, Osmaniye	80	26,95109	2,97	20
Küçük HES	Gülsan Değirmenüstü HES, Kahramanmaraş	40,8	0,05	816,00	50
Nehir tipi HES	Bağışlı Regülatörü, Hakkari	30,9	0,017157	1801,01	50
Jeotermal	Kızıldere Faz II Jeotermal Santrali	80	34,375 km ²	2,327	-

Kaynak: Bu tablo Ayşe UZUN tarafından hazırlanmıştır.

Jeotermal enerji santralleri ise, santral binası olarak diğer termik santraller ile benzer bir alan kaplasa da, yapılan sondajların lokasyonları rezervuar potansiyeline göre kararlaştırıldığı için ruhsat bölgesinde çok dağınık şekillerde bulunmaktadır. Ekonomik ömürleri olarak 30-40 sene öngörülse de, bakım ve onarımla bu süre uzatılabilmektedir (Örn: Larderello santrali 1904 senesinden beri üretime devam etmektedir.)

10.2 ÇEVRESEL AÇIDAN KIYASLAMA

Elektrik üretim santrallerini sadece verimlilik açısından kıyaslamak, değerlendirme yapmak için eksik olacağı için çevresel etkilerinin de karşılaştırılması gerekir. Çevresel etkiler Tablo 10.2’de gösterilmiştir.

Tablo 10.2: Enerji santrallerinin çevresel etkilerinin kıyaslaması

Yakıt	Gaz Emisyonları	İklim Değişikliği	Asit Yağmurları	Su Kirliliği	Toprak Kirliliği	Gürültü	Arsa Kullanımı		Radyasyon
YENİLENEMEYEN ENERJİ SANTRALLERİ									
Doğal Gaz	X	X	X	X		X			
Kömür	X	X	X	X	X	X	X		X
Nükleer	X			X	X				X
Fuel-Oil	X	X	X	X	X	X	X		
YENİLENEBİLİR ENERJİ SANTRALLERİ									
Güneş							X		
Rüzgar						X	X		
Küçük HES		X		X	X		X		
Biyokütle									
Jeotermal				X	X		X		

Kaynak: Bu tablo Ayşe UZUN tarafından hazırlanmıştır.

İçinde bulunduğumuz dönemin en büyük çevre sorunu sera gazı etkisi yaratan gaz salımlarıdır. Sera gazı etkileri ile iklim değışiklikleri, asit yağmurları gibi çevre kirlilikleri oluşmaktadır. Bununla birlikte su ve toprak kirliliğı gibi çevresel etkileri de tetiklemektedir.

Yenilenebilir enerji santrallerini, yenilenemeyen enerji santrallerden ayıran en önemli çevresel etki sera gazlarıdır. Yenilenebilir enerji santrallerinde bu emisyonlar yok denecek kadar azdır.

11. SONUÇ

Tüm dünyada, son yılların en büyük endişesi, enerji ihtiyacının giderek artmasına karşın, enerji tüketiminin yüzde 80'inden fazlasını oluşturan fosil yakıtların giderek azalmasıdır (Tablo 11.1). Bu endişe ile ülkeler enerji yönetimine önem vermeye başlamışlardır. Enerji yönetimi, enerjiyi verimli kullanmanın yanında, enerji üretiminde çeşitliliği, doğal ve yerli enerji kaynaklarını değerlendirmeyi kapsayan, çevresel etkinin en az olduğu enerji kaynaklarına yönelimin artmasını amaçlayan bir politikadır.

Tablo 11.1: Dünya Enerji Tüketimi

Enerji kullanımı (terawatt-saat)							
Yıllar	Fosil	Fosil Oranları (%)	Nükleer	Nükleer Oranları (%)	Yenilenebilir	Yenilenebilir Oranları (%)	Toplam
1990	83,374	81,29	6,113	5,96	13,082	12,75	102,569
2000	94,493	80,29	7,857	6,68	15,337	13,03	117,687
2008	117,076	81,39	8,283	5,76	18,492	12,85	143,851

Kaynak: http://tr.wikipedia.org/wiki/Dünya_enerji_tüketimi

Gerek hızla artan çevresel kirlilik, gerek petrol ve doğal gaz gibi fosil yakıtların üzerinde oynanan ekonomik ve politik oyunlar, ülkeleri yenilenebilir enerji kaynaklarına yönlendirmiştir. Yenilebilir enerji kaynakları tek başlarına bir ülkenin tüm enerji ihtiyacını karşılamada yeterli olmasalar da, çevresel etkiler göz önünde bulundurularak öncelikler bu enerji kaynaklarının değerlendirilmesi yönünde olmalıdır.

Yenilenebilir enerji kaynakları, enerjide çeşitliliği sağlar. Yerli ve doğal enerji kaynakları olduğu için dışa bağımlılığı azaltır. Fosil yakıtlara göre çevresel etkileri yok denecek kadar azdır. Yenilenebilir enerji santralleri, yerel enerji kaynaklı santraller olduğu için tesislerin kurulumundan işletim aşamasına kadar yapıldığı bölgede iş ve yerel ekonomi için de kaynak olmaktadır. Hammadde için de ekstra maliyeti olmayan

yenilenebilir enerji kaynaklarından enerji üretimi, yenilenemeyen santrallere tercih edilmelidir.

Tablo 11.2: Türkiye birincil enerji kaynakları üretim ve tüketimi (2011)

Kaynak türü	Birincil enerji kaynakları üretimi		Birincil enerji kaynakları tüketimi	
	Enerji üretimi (bin tep)	Oranı (%)	Enerji tüketimi (bin tep)	Oranı (%)
Kömür	17.870	55,5	35.841	31,3
Doğal gaz	652	2,0	36.909	32,2
Petrol	2.555	7,9	30.499	26,6
Hidrolik	4.501	14,0	4.501	3,9
Biyokütle	3.555	11,0	3.573	3,1
Jeotermal ısı	1.463	4,5	1.463	1,3
Diğer yenilenebilir kaynaklar	1.633	5,1	1.712	1,5
Toplam	32.229	100	114.480	100

Kaynak: EUAS

Fakat yenilenebilir enerji santralleri kurmak için bazı kriterler vardır. Güneş enerjisi santralleri geniş alanlar gerektiren ve güneş potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde yapılabilen santrallerdir. Rüzgar enerjisi santralleri, rüzgar potansiyelinin yüksek olduğu bölgelerde, HES'ler de akarsuların debilerinin yüksek olduğu yerlerde kurulmaktadır.

Jeotermal enerji santralleri de, jeotermal oluşumlarının jeolojik aktivitelere bağlı olması nedeni ile belirli bölgelerde potansiyeli bulunmaktadır. Magmanın yüzeye yakın olduğu, geçirimsiz tabakalar arasında kalan suyun rezervuarı oluşturduğu bölgelerde jeotermal kaynaklardan söz edilebilir. Bu sebeple jeotermal kaynağın olduğu bir bölgede, başka enerji kaynaklarının da değerlendirilebileceği potansiyeller varsa bile, öncelik jeotermal enerji santralinin kurulması yönünde olmalıdır.

KAYNAKÇA

Kitaplar

DiPippo, R., 2012. *Geothermal power plants: principles, applications, case studies and environmental impact*. 3. USA: Butterworth-Heinemann (Elsevier).

Durak, M. Ve Özer, S., 2008. *Rüzgar enerjisi: teori ve uygulama* Baskı sayısı. Basım Yeri: Yayın Evi.

Sürelî Yayınlar

- Çukurçayır, M. A., Sağır, H., 2008. Enerji sorunu, çevre ve alternatif enerji kaynakları. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi. 20, ss. 257-278.
- Demirer, G., 2011. Yaşam Döngü Analizi. Sürdürülebilir Üretim ve Tüketim Yayınları. 1 (1), ss. 1-44.
- 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 133 low-temperature geothermal fluids*, Geothermics.
- Edenhofer, O., Madrugá, R. P., Sokona, y. (Eds.). 2012. Renewable energy sources and climate change mitigation special report of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.
- Ertürk, E., Akkoyunlu, A., Varınca, K.B., 2006. Enerji üretimi ve çevresel etkileri. *Stratejik Rapor*. İstanbul: Tasam Yayınları.
- Ellis, A. J. and W. A. J. Mahon, Chemistry and geothermal systems, academic press, New York, 1977.
- Hepbaşlı, A., Çanakcı, C., 2003. Geothermal district heating applications in Turkey: A case study of İzmir-Balçova. *Energy Conversion and Management*. 44 (8), ss. 1285-1301.
- Koç, E. ve Şenel, M. C., 2013. Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme. *Mühendis ve Makina*. 54 (639), ss. 32-44.
- Özkaya, M. G., Variyenli, H. İ., Yonar, G., 2008. Jeotermal enerji ile ısıtılan Kütahya İli Simav İlçesindeki ısıtma sisteminin çevresel etkilerinin değerlendirilmesi ve uygulanması gereken yenilikler. Fen bilimleri Dergisi. 29 (2), ss. 1-18.
- Öztemir, M. H., 2011. Jeotermal enerjiden elektrik üretimi ve Aydın-Salavatlı Sahası Elektrik Üretim Santrali. Tesisat Mühendisliği Dergisi. (121) ss. 9-15.
- Yılmaz, M., 2012. Türkiye’nin enerji potansiyeli ve yenilenebilir enerji kaynaklarının elektrik enerjisi üretimi açısından önemi. *Ankara Üniversitesi Çevre Bilimleri Dergisi*. 4 (2), ss. 33-54.
- Yenilenebilir Enerji Kaynakları ve Önemi, 2012, 14-16. T.C. Milli Eğitim Bakanlığı, 522EE0421.

Diğer Yayınlar

- Akkoyunlu, A., (2006). Türkiye’de enerji kaynakları ve çevreye etkileri. *I. Ulusal Türkiye’de Enerji ve Kalkınma Sempozyumu*, 26 Nisan 2006 İstanbul: Bahçeşehir Üniversitesi, ss. 131.
- Arslan, E., 2006. Jeotermal enerjiden yararlanılarak kuyu içi eşanjörü yardımıyla konut ısıtılması ve sıcak su ihtiyacının karşılanması *Yüksek Lisans Tezi* Denizli: Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Badruk, M., 2005. Jeotermal enerji uygulamalarında çevre sorunları. *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 23-26 Kasım 2005 İzmir: Kültürpark Fuar Alanı, ss. 345-358.
- Başel, E. D. K., Serpen, Ü., Satman, A., 2011. Türkiye’nin jeotermal enerji potansiyeli. *Türkiye 18. Uluslararası Petrol ve Doğalgaz Kongre ve Sergisi*, 11-13 Mayıs 2011 Ankara.
- Coşkun, A., (2011). Türkiye’deki jeotermal kaynaklar için güç santrallerinin termodinamik analizi ve optimizasyonu *Doktora Tezi* Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Durmuş, T., 2006. Salavatlı Jeotermal Santralinin ekserji analizi *Yüksek Lisans Tezi* İstanbul: İTÜ Enerji Enstitüsü.
- Haklıdır Tut, F., 2014. Geothermal sources and geothermal power technologies in Turkey. *Int. Energyand Management Conference (ICEM)*, 5-7 Haziran 2014, İstanbul.
- Kadıoğlu, S., Tellioğlu, Z., 1996. Enerji kaynaklarının kullanımı ve çevreye etkileri. *TMMOB I. Enerji Sempozyumu*, 12-14 Kasım 1996, Ankara.
- Kapulluoğlu, A., (2010). Çift akışkanlı yöntemle jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminin optimizasyonu *Yüksek Lisans Tezi* Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kıvanç, A. H., (2010). Kızıldere jeotermal enerji santralinde uygulanabilecek farklı çevrim modelleri ile santral güçlerinin karşılaştırılması *Yüksek Lisans Tezi* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü.

- Kıvanç, A. H., Serpen, Ü., 2011. Jeotermal santrallerin karşılaştırılması. *X.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 13-16 Nisan 2011 İzmir: Kültürpark Fuar Alanı, ss. 111-128.
- Koçak, A., 2001. Türkiye’de jeotermal enerji aramaları ve potansiyeli. 3. *TMMOB Enerji Sempozyumu*, 5-7 Aralık 2001, Ankara.
- Kökçe, M., (2010). Mevcut bir jeotermal güç santralının alternatif ikincil akışkan için performansının araştırılması *Yüksek Lisans Tezi* Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kutluay, F., Saygılı, S., 2007. Jeotermal santrallerin işletilmesi. *VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 25-28 Ekim 2007 İzmir: Kültürpark Fuar Alanı, ss. 291-306.
- Mertoğlu, O., Mertoğlu, M., Bakır, N., 2006. Türkiye’de jeotermal uygulamalarda son durumu ve 2013 yılı hedefleri. *Türkiye 10. Enerji Kongresi*, 27-30 Kasım 2006, İstanbul: Harbiye Askeri Müze ve Kültür Sarayı.
- Öngür, T., 2005. Jeotermal sahalarda jeolojik ve jeofizik arama ilke ve stratejileri. *VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 23-26 Kasım 2005 İzmir: Kültürpark Fuar Alanı, ss. 21-38.
- Tamyerli, U., (2007). Jeotermal enerjiden elektrik üretiminin irdelenmesi, örnek çalışma:Kütahya-Simav Jeotermal Sahası *Yüksek Lisans Tezi* Kütahya: Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Varınca, K. B., Varank G., 2005. Güneş kaynaklı farklı enerji üretim sistemlerinde çevresel etkilerin kıyaslanması ve çözüm önerileri. *Güneş Enerji Sistemleri Sempozyumu ve Sergisi*, 24-25 Haziran 2005, İçel.
- Yalçınkaya, R., (2012). Jeotermal kaynaklı güç üretim sisteminin termodinamik analizi *Yüksek Lisans Tezi* Ankara: Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Güler, B., 2008, Jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi. Yer Bilimleri, <http://www.yerbilimleri.com/jeotermal-kaynaklardan-elektrik-uretimi/>[25 Haziran 2008].
- http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeo_kullanim_alanlari.aspx
- <http://www.ozyalcinsondaj.com/dosyalar/10-sondaj.html>
- http://www.entergy-arkansas.com/content/news/docs/AR_Nuclear_One_Land_Use.pdf



ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Ayşe UZUN

Doğum Yeri ve Tarihi: Aydın-Nazilli, 18.05.1982

Lise: Bursa A.O.S. Fen Lisesi

Lisans Üniversite: İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009.

Y. Lisans Üniversite: Bahçeşehir Üniversitesi, 2015.

İş yaşamına 2008 yılında Yertek Mühendislik Araştırma ve Sondaj San. Tic. Ltd. şirketinde başlayan Uzun, 2009'da Zorlu Enerji Grubuna katılarak, ilk 2,5 sene kuyu jeologu olarak sahalarda çalışmaya başlamıştır. 2012 yılından bu yana da proje mühendisi olarak Zorlu Endüstriyel Enerji şirketinde görev yapmaktadır.

Yayın Listesi:

- [1] Haklıdır Tut, F.S., Şengün, R., Uzun, A., Kılınçarslan, S., “Jeotermal Santrallerde Sürdürülebilirliğin Sağlanması Önemli”, 67. Türkiye Jeoloji Kongresi, 14-18.04.2014, MTA, Ankara.
- [2] Haklıdır Tut, F.S., Uzun, A., Şengün, R., Güney, A., “Alaşehir-Gediz Grabeni Jeotermal Sahasına Ait İlk Değerlendirmeler”, 66. Türkiye Jeoloji Kongresi, 01-04.04.2013, Ankara.
- [3] Haklıdır Tut, F.S., Akın, T., Güney, A., Uzun, A., “Investigation of Reservoir Characteristics of High Enthalpy Geothermal Fields on Büyük Menderes Graben and Sulphate Variations of Geothermal Fluids in the Graben”, IESCA, 01-05 Ekim 2012, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir, Türkiye.
- [4] Uzun, A., Haklıdır Tut, F.S., , “Kızıldere Jeotermal Sahasında Gözlenen Alterasyon Mineralleri ve Jeotermal Enerji Potansiyeli Açısından Değerlendirilmesi”, 5. Jeokimya Sempozyumu, 23-25.05.2012, Denizli.
- [5] Haklıdır Tut, F.S., Uzun, A., Şengün, R., “Kızıldere Jeotermal Sahasının Derin Rezervuarında Tamamlanan Yeni Kuyularının Jeokimyasal Değerlendirilmesi”, 65. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 02-06.04.2012, Ankara.

