

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

KIZILDERE-II JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ' NİN PERFORMANS ANALİZİ

URAL HALAÇOĞLU

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ENERJİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. AHMET DAĞDAŞ**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

KIZILDERE-II JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ' NİN PERFORMANS ANALİZİ

Ural HALAÇOĞLU tarafından hazırlanan tez çalışması 23 Kasım 2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Ahmet DAĞDAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Ahmet DAĞDAŞ

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Süleyman Hakan SEVİLGİN

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa ATMACA

Marmara Üniversitesi

ÖNSÖZ

Yüksek lisans öğrenim hayatımda ve bu tezin hazırlanmasında destekleriyle bana kılavuzluk eden danışmanım Sayın Doç. Dr. Ahmet Dağdaş başta olmak üzere tüm Yıldız Teknik Üniversitesi akademik kadrosuna, yüksek lisans tez çalışmama konu olan Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nin yatırım, inşaat ve işletme faaliyetlerini yürüten, aynı zamanda çalışanı olduğum Zorlu Enerji Grubu' na ve yöneticilerim Ali Kindap ve Ulaş Karaağaç başta olmak üzere tüm iş arkadaşlarıma, paylaşmış oldukları kıymetli bilgiler için teşekkürlerimi sunuyorum.

Hayatım boyunca desteklerini benden hiçbir zaman esirgemeyen, kendi kişilikleriyle bana rehberlik eden, hayatımı şekillendiren ve en önemlisi aldığım her kararda ve attığım her adımda arkamda duran çok kıymetli aileme, bugünlere gelebilmemi sağladıkları için sonsuz minnetlerimi sunuyorum.

Kasım, 2015

Ural HALAÇOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	vii
ŞEKİL LİSTESİ.....	viii
ÇİZELGE LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xii
BÖLÜM 1.....	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	1
1.2 Tezin Amacı	2
1.3 Hipotez	2
BÖLÜM 2.....	3
YENİLENEBİLİR ENERJİ.....	3
2.1 Yenilenebilir Enerji	3
BÖLÜM 3.....	8
JEOTERMAL ENERJİ	8
3.1 Jeotermal Enerjini Tanımı	8
3.2 Türkiye’ de Jeotermal Enerji	15
3.3 Dünyada Jeotermal Enerji	21
BÖLÜM 4.....	25
JEOTERMAL ENERJİDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ	25
4.1 Kuru Buhar Teknolojisi	25

4.2	Flaş Buhar Teknolojisi	27
4.2.1	Tek Flaş Buhar Çevrimli Jeotermal Santraller	28
4.2.2	Çift Flaş Buhar Çevrimli Jeotermal Santraller	29
4.2.3	Üç Flaş Buhar Çevrimli Jeotermal Santraller	29
4.3	Binary (İkili) Çevrim Jeotermal Santraller	30
4.4	Kombine Flaş-Binary Çevrim Jeotermal Santraller	30
4.4.1	Tek Flaşlı Kombine Çevrim Jeotermal Santralleri	31
4.4.2	Çift Flaşlı Kombine Çevrim Jeotermal Santralleri	31
4.4.3	Üç Flaşlı Kombine Çevrim Jeotermal Santralleri.....	32
BÖLÜM 5		34
KIZILDERE JEOTERMAL SAHASI		34
5.1	Kızıldere Jeotermal Sahasına ait Genel Bilgiler	34
5.2	Kızıldere Sahası Genel Jeoloji Bilgisi.....	35
5.3	Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santrali.....	37
5.3.1	Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santrali Teknolojisi	39
5.3.2	Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santrali Geliştirme Çalışmaları	40
BÖLÜM 6		42
KIZILDERE-II JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ		42
6.1	Santral Ana Ekipmanları ve Özellikleri	42
6.1.1	Buhar Türbini-Generatör ve İlgili Ekipmanları.....	42
6.1.2	Binary Çevrim ve İlgili Ekipmanları	47
6.1.3	Soğutma Kulesi ve İlgili Ekipmanları	49
6.1.4	Kondenser ve İlgili Ekipmanları	50
6.1.5	Yoğuşmayan Gaz (NCG) Alma Sistemi ve İlgili Ekipmanları.....	52
6.2	Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali Termodinamik Analizi.....	55
6.2.1	Flaş Çevrimi Termodinamik Analizi.....	55
6.2.2	Kondenser Ünitesi Termodinamik Analizi	65
6.2.3	Soğutma Kulesi Termodinamik Analizi	66
6.2.4	Binary Çevrimi Termodinamik Analizi	66
6.2.5	Kombine Çevrimin Toplam Güç Analizi	70
6.3	Çevrim Parametrelerinin Santral Performansına Etkisi	72
6.3.1	Kondenser Basıncının Santral Performansına Etkisi.....	72
6.3.2	YB Türbini Giriş Basıncının Santral Performansına Etkisi.....	74
BÖLÜM 7		77
BULGULAR VE SONUÇLAR		77
KAYNAKLAR		82
ÖZGEÇMİŞ		84

SİMGE LİSTESİ

E	Toplam enerji ifadesi [kW]
h	Entalpi [kJ/kg]
m	Debi [kg/s]
n	Mol sayısı [mol]
P	Basınç [bar]
pH	Asitlik derecesi
Q	Isı transferi [kW]
r	Mol oranı
s	Entropi [kJ/kgK]
T	Sıcaklık [°C]
W	Güç [kW]
X	Toplam ekserji ifadesi [kW]
η	Eta, verimin termodinamik ifadesi
Ψ	Özgül ekserji [kJ/kg]

KISALTMA LİSTESİ

AB	Alçak Basınç
ADÜAŞ	Ankara Doğal Elektrik Üretim ve Ticaret Anonim Şirketi
BM	Birleşmiş Milletler
ÇED	Çevresel Etki Değerlendirmesi
EÜAŞ	Elektrik Üretim Anonim Şirketi
İTÜ	İstanbul Teknik Üniversitesi
JES	Jeotermal Enerji Santrali
MTA	Maden Tetkik ve Arama
NCG	Non Condensable Gas
OB	Orta Basınç
UNDP	United Nations Development Programme
YB	Yüksek Basınç
YEK	Yenilenebilir Enerji Kaynakları

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Kızıldere-II JES reenjeksiyon pompa istasyonu.....	14
Şekil 3.2 Jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası [8].....	17
Şekil 4.1 İlk jeotermal elektrik üretim makinesi	26
Şekil 4.3 Tek flaş buharlı güç santrali şematiği [16]	28
Şekil 4.4 Çift flaş buharlı güç santrali şematiği [16]	29
Şekil 4.5 Binary çevrim güç santrali şematiği [13]	30
Şekil 4.6 Tek flaşlı kombine çevrim güç santrali şematiği [13]	31
Şekil 5.1 Büyük Menderes grabeni jeotermal alanları [18]	35
Şekil 5.2 Kızıldere jeotermal sahası ve çevre alanı blok diyagramı [19]	36
Şekil 5.3 Kızıldere sahası kavramsal hidrojeolojik modeli [18]	37
Şekil 5.4 Zorlu Enerji Kızıldere ruhsat sahası	38
Şekil 5.5 Kızıldere jeotermal santrali akış diyagramı [17]	39
Şekil 6.1 Türbin kesit görünüşü [23]	43
Şekil 6.2 Kızıldere-II JES seperasyon sahası.....	45
Şekil 6.3 Kızıldere-II JES binary çevrim üniteleri	47
Şekil 6.5 Kızıldere-II JES genel görünüş	49
Şekil 6.6 Kızıldere-II JES kondenser ünitesi	51
Şekil 6.7 Gaz alma sistemi sıvı halkalı vakum pompası.....	53
Şekil 6.8 Kızıldere-II JES iş akış diyagramı.....	55
Şekil 6.9 Flash çevrimi T-s diyagramı	57
Şekil 6.10 Binary çevrimi T-s diyagramı	68
Şekil 6.11 Kondenser basıncı-kombine çevrim gücü grafiği	74
Şekil 6.12 YB buharı giriş basıncı-kombine çevrim gücü grafiği.....	76

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 2.1 YEK destekleme mekanizması uygulanacak fiyatlar	4
Çizelge 2.2 Yerli aksam imalatı teşvik fiyatları	5
Çizelge 3.1 Jeotermal enerjiden faydalanma biçimleri	12
Çizelge 3.2 Türkiye’ nin yakıt cinslerine göre kurulu güç dağılımı [7].....	16
Çizelge 3.3 Jeotermal sahalar ve sıcaklıkları [2].....	17
Çizelge 3.4 Türkiye’ de bulunan jeotermal enerji santralleri [10]	20
Çizelge 3.5 Dünyada bulunan jeotermal enerji santralleri [12].....	22
Çizelge 5.1 Kızıldere-I JES kuyu bilgileri	41
Çizelge 6.1 Flaş çevrimi dizaynda kullanılan noktalara ait tanımlamalar	56
Çizelge 6.2 Üretim kuyularına ilişkin termodinamik değerler	57
Çizelge 6.3 Binary çevrim dizaynında kullanılan noktalara ait tanımlamalar	67
Çizelge 6.4 Santral temel noktalarının matematiksel değerleri	71
Çizelge 6.5 Kondenser basıncının santral performansına etkisi	73
Çizelge 6.6 YB buharı giriş basıncının çevrim gücüne etkisi.....	75

KIZILDERE-II JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ' NİN PERFORMANS ANALİZİ

Ural HALAÇOĞLU

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ahmet DAĞDAŞ

Türkiye' de ve dünyada artan enerji talebini karşılayabilmek için yeni santraller en son teknolojiler ile inşaa edilmektedir. Çevresel etkiler, toplum sağlığı, küresel ısınma ve dünyanın geleceği söz konusu olduğunda enerji üretiminin de yenilenebilir ve temiz enerji kaynaklarından sağlanması zorunluluğu ortaya çıkmaktadır. Dünya üzerindeki ülkeler de çeşitli protokoller ve ortak anlaşmalar neticesinde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımını desteklemekte ve elektrik üretimindeki payının artırılması için çalışmalar yürütmektedirler.

Jeotermal enerji de rüzgar, hidrolik, güneş ve biokütle gibi yenilenebilir enerji kaynaklarından olup elektrik üretimi için oldukça önem arz etmektedir. Jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı neticesinde çevreye salınan emisyonların azaltılmasının yanı sıra, ülkenin enerji bakımından dışa bağımlılığı da azalarak milli sermayeye katkı sağlanmaktadır.

Bu çalışmada, jeotermal enerjinin tanımlanmasından başlanılarak, Türkiye' nin jeotermal enerji kaynaklarının kullanımından ve jeotermal sahalarından bahsedilmiş ve dünyadaki jeotermal enerji kullanımıyla ilgili bilgiler verilmiştir.

Türkiye' nin en yüksek sıcaklıklı jeotermal sahalarından biri olan Denizli, Kızıldere sahasının gelişiminden ve Türkiye' nin ilk jeotermal elektrik santrali olma niteliğini taşıyan 20,4 MWe kurulu gücündeki Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali' nden

bahsedilmiştir. Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali' nin ve "Jeotermal Kaynak Arama Ruhsatı" nin 30 yıllık süre ile Zorlu Enerji Grubu' na devredilmesi ve akabinde sahada gerçekleştirilen geliştirme çalışmalarına ilişkin bilgiler verilmiştir.

Çalışmanın asıl amacı, Kızıldere sahasında Zorlu Enerji Grubu tarafından gerçekleştirilen fizibilite çalışmaları neticesinde kurulan 80 MWe kurulu gücündeki Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nin akış özellikleri, donanımları, santral teknolojisi hakkında bilgi vererek santralin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmektir.

Kızıldere-II santraline ait enerji ve ekserji analizleri de dahil olmak üzere tüm hesaplamalar EES(Engineering Equation Solver) software programı kullanılarak yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Kızıldere, Jeotermal Enerji Santrali, Zorlu, Enerji, ekserji, EES

PERFORMANCE ANALYSIS OF KIZILDERE-II GEOTHERMAL POWER PLANT

Ural HALAÇOĞLU

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Ahmet DAĞDAŞ

New power plants, in Turkey and all over the world, with the highest technologies are being built to compensate the increasing need for the energy. When we think about the environmental impacts, community health care, global warming and the future of the world, we could easily see that renewable and clean energy sources are the only way to fulfill the above concerns. Most of the countries in the world are also encouraging the use of renewable energy sources and making studies to increase the portion of renewable energy production in the total production rates.

Geothermal energy is also one of the most important renewable energy sources to generate electricity such as wind, hydroelectric, sun and biomass. The usage of the geothermal energy resources reduce the carbon emissions and also helps the country to deal with the foreign-source dependency and increases the national capital.

In this study, it is started with the identifying geothermal and then given some information about the use of Turkey' s geothermal energy resources, geothermal fields and the world' s leading geothermal energy resources usage.

Development of Denizli-Kızıldere field, which is one the highest temperature fields in Turkey, is referred in this study and some information is given about the Turkey' s first geothermal power plants which is also located in Kızıldere geothermal field with a gross power of 20,4 MWe. Kızıldere Geothermal Power Plant and "Geothermal

Resource Research License” have been bought by Zorlu Energy Group in 2008. After this acquisition, lots of development studies have been realized by Zorlu.

The main purpose of this study is to realise the energy and exergy analysis of Kızıldere-II Geothermal Power Plant which is taken into commercial operation in Oct. 2013 as a result of feasibility studies. Kızıldere-II Geothermal Power Plant has the nominal gross power of 80 MWe. In this study, flow properties, equipments and power plant’s technology are identified for the Kızıldere-II Geothermal Power Plant.

All calculations including the energy and exergy analysis of Kızıldere-II Geothermal Power Plant have been done by using EES (Engineering Equation Solver) software.

Keywords: Kızıldere, Geothermal, Power Plant, Zorlu, Energy, Exergy, EES

1.1 Literatür Özeti

Jeotermal kaynaklar dünyanın oluşumundan bu yana var olsa da keşfedilip günlük hayata dahil edilmeleri ve faydalanma alanları zamana bağlı olarak sürekli değişiklik göstermişlerdir. İlk kullanım alanları genellikle termal ve sağlık amaçlı olmak üzere son yıllarda gelişen teknolojilere de bağımlı olarak elektrik üretimi amaçlı kullanımlar oldukça yaygınlaşmıştır.

Bodvarsson ve Eggers 1972 yılında gerçekleştirmiş oldukları çalışmalarında, tek ve çift flaşlı çevrim tiplerine ilişkin ekserji verimliliklerini sırasıyla %38,7 ve %49 olarak bulmuşlardır. Bu çalışmada rezervuar sıcaklığını 250 °C ve ölü hal koşullarını 40 °C olarak kabul etmişlerdir [1].

Kanoğlu, 2000 yılında ABD'nin Kuzey Nevada bölgesinde 12,9 MW'lık bir binary çevrim jeotermal güç santralinin ekserji analizini gerçekleştirmiştir. Yapmış olduğu çalışmada santraldeki ekserji kayıplarına, türbin, ikincil akışkanın akışkanın yoğunlaştırılması, re-enjeksiyon ve buharlaştırıcı ısıtıcının etki ettiğini göstermiştir. Çalışmanın sonucunda en büyük kaybın türbinden kaynaklandığı görülmüştür [2].

Kanoğlu ve Bolattürk, 2008 yılında 27 MWe kapasiteli binary çevrim jeotermal güç santralinin eşanjör girişi temel alındığında enerji verimini %4.5, ekserji verimini ise %21.7 olarak bulmuşlardır. Organik rankine çevrimin ısı ve ekserji girişi temel alındığında enerji verimi %10.2, ekserji verimi ise %33.5 olarak bulunmuştur. Türbin giriş basıncı ve sıcaklığı ile yoğunlaştırucu basıncı enerji ve ekserji verimini etkilediği saptanmıştır [1].

Yıldırım , D., Aydın Salavatlı sahasında bulunan Dora-1 ve Dora-2 santrallerine ait çalışma prensiplerine değinerek santrallere ait enerji ve ekserji verimlilik hesaplarını oluşturmuştur. Bu hesaplamalar doğrultusunda Dora-1 santralının ekserji verimliliği %34 olarak hesaplanırken, Dora-2 santraline ait ekserji verimliliği %31 olarak hesaplanmıştır [3].

Ünverdi, M., 47,4 MWe kapasiteli Germencik jeotermal santralının ekserji verimini hesaplamış ve tesisin tamamına ait ikinci yasa verimini %35,33 olarak bulmuştur [1].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, Türkiye’ de ilk defa kurulan ve Triple Flaş+Binary çevrim tipine göre çalışan santralin termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Türkiye’ nin jeotermal enerji potansiyeli dikkate alındığında, bu tez çalışmasının ülkenin gelecekteki santral yatırımlarına referans olması amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali sahip olduğu kombine çevrim tipi ile Türkiye’ de tek, dünyada ise sayılı santraller arasında yer almaktadır. Ayrıca bünyesinde barındığı bölgesel ve sera ısıtma sistemleri ile entegre kullanım açısından dünyada bulunan tek Triple Flaş+Binary kombine çevrim santralidir.

Bu tez çalışmasında, santrale ait termodinamik hesaplamalar yapılarak santrali genel enerji ve ekserji verimlilikleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar literatür çalışmaları ile kıyaslandığında açıkça görülmektedir ki Kızıldere-II santrali sahip olduğu çevrim teknolojisiyle jeotermal akışkandan maksimum seviyede faydalanarak optimum verimlilik göstermektedir.

BÖLÜM 2

YENİLENEBİLİR ENERJİ

Ülkemizde ve dünyada hızla artan nüfus yoğunluğu, gelişen teknolojiler, küreselleşen dünya ekonomisi, modern yaşam anlayışına bağlı olarak her geçen gün enerjiye olan ihtiyaç ve bağımlılık artmaktadır. Artan enerji talebini karşılayabilmek için alternatif enerji kaynakları araştırılmaya ve geliştirilmeye çalışılmaktadır. Geliştirilmeye çalışılan en önemli kaynaklardan birisi de yenilenebilir enerji kaynaklarıdır.

2.1 Yenilenebilir Enerji

Birincil enerji kaynaklarının hızla tükenmesi ve fosil yakıtların çevreye ve insanlara verdiği zararlar göz önüne alındığında yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı oldukça önem arz etmektedir. Ülkelerin uluslararası platformlarda imzalamış oldukları protokoller ve sözleşmeler ile birlikte çevre dostu olan, toplum sağlığını, gelecek nesillerin yaşamını, doğayı korumayı amaçlayan pek çok düzenlemeler yapılmaktadır. Bu düzenlemeler ile birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı desteklenmekte ve devlet eliyle de bazı teşvikler sağlanmaktadır.

Ülkemizde, yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı hususunda 29.12.2010 tarihli, 6094 sayılı “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun” kapsamında yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üreten gerçek ve tüzel kişiler; ihtiyaçlarının üzerinde ürettikleri elektrik enerjisini dağıtım sistemine vermeleri halinde, Çizelge 2.1’ de bulunan I sayılı cetveldeki fiyatlardan on yıl süre ile faydalanabilir. Bu kapsamda dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisinin perakende satış lisansını haiz ilgili dağıtım

şirketi tarafından satın alınması zorunludur. İlgili şirketlerin bu madde gereğince satın aldıkları elektrik enerjisi, söz konusu dağıtım şirketlerce YEK(Yenilenebilir Enerji Kaynakları) Destekleme Mekanizması kapsamında üretilmiş ve sisteme verilmiş kabul edilir. İlgili kanun kapsamında yayımlanan I sayılı cetvel Çizelge 2.1’ de gösterilmektedir.

Çizelge 2.1 YEK destekleme mekanizması uygulanacak fiyatlar

I Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür)	
Yenilenebilir Enerji Kaynağına Dayalı Üretim Tesis Tipi	Uygulanacak Fiyatlar (ABD Doları cent/kWh)
a. Hidroelektrik üretim tesisi	7,3
b. Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	7,3
c. Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	10,5
d. Biyokütleğe dayalı üretim tesisi (çöp gazı dahil)	13,3
e. Güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	13,3

Aynı kanun kapsamında sağlanan bir diğer teşvik ise yurt içinde imal edilen aksam ve bütünleştirici parçalara aittir. Santral içerisinde kullanılan ekipmanların belirli yüzdelik kısımlarının yurt içinde imal edilmesi halinde bu teşvikten faydalanılmaktadır. Lisans sahibi tüzel kişilerin bu Kanun kapsamındaki yenilenebilir enerji kaynaklarına dayalı ve 31/12/2015 tarihinden önce işletmeye giren üretim tesislerinde kullanılan mekanik ve/veya elektro-mekanik aksamın yurt içinde imal edilmiş olması halinde; bu tesislerde üretilerek iletim veya dağıtım sistemine verilen elektrik enerjisi için, I sayılı cetvelde belirtilen fiyatlara, üretim tesisinin işletmeye giriş tarihinden itibaren beş yıl süreyle; bu Kanuna ekli II sayılı cetvelde belirtilen fiyatlar ilave edilir. Cetvel I içerisinde belirtilen

rakamlara ek olarak sağlanan miktarlardır. Çizelge 2.2’de ilgili aksamalara ait sağlanan teşvik miktarları görülmektedir:

Çizelge 2.2 Yerli aksam imalatı teşvik fiyatları

II Sayılı Cetvel (29/12/2010 tarihli ve 6094 sayılı Kanunun hükmüdür.)		
Tesis Tipi	Yurt İçinde Gerçekleşen İmalat	Yerli Katkı İlavesi (ABD Doları cent/kWh)
A-Hidroelektrik üretim Tesisleri	1-Türbin	1,3
	2-Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
B-Rüzgar enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Kanat	0,8
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	1,0
	3- Türbin Kulesi	0,6
	4- Rotor ve nasele gruplarındaki mekanik aksamın tamamı (Kanat grubu ile jeneratör ve güç elektroniği için yapılan ödemeler hariç.)	1,3
C-Fotovoltaik güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- PV panel entegrasyonu ve güneş yapısal mekanik imalatı	0,8
	2- PV Modülleri	1,3
	3- PV modülünü oluşturan hücreler	3,5
	4- İnvertör	0,6
	5- PV modülü üzerine güneş ışığını odaklayan malzeme	0,5

Çizelge 2.2 Yerli aksam imalatı teşvik fiyatları (devamı)

D-Yoğunlaştırılmış güneş enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Radyasyon toplama tüpü	2,4
	2- Yansıtıcı yüzey levhası	0,6
	3- Güneş takip sistemi	0,6
	4- Isı enerjisi depolama sisteminin mekanik aksamı	1,3
	5- Kulede güneş ışınını toplayarak buhar üretim sisteminin mekanik aksamı	2,4
	6- Stirling motoru	1,3
	7- Panel entegrasyonu ve güneş paneli yapısal mekaniği	0,6
E- Biyokütle enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Akışkan yataklı buhar kazanı	0,8
	2- Sıvı veya gaz yakıtlı buhar kazanı	0,4
	3- Gazlaştırma ve gaz temizleme grubu	0,6
	4- Buhar veya gaz türbini	2,0
	5- İçten yanmalı motor veya stirling motoru	0,9
	6- Jeneratör ve güç elektroniği	0,5
	7- Kojenerasyon sistemi	0,4
F- Jeotermal enerjisine dayalı üretim tesisi	1- Buhar veya gaz türbini	1,3
	2- Jeneratör ve güç elektroniği	0,7
	3- Buhar enjektörü veya vakum kompresörü	0,7

Yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımına ilişkin ilgili kanun kapsamında yukarıda belirtilen teşvik ve alım garantilerinden dolayı özel sektör eliyle yapılan yatırımlar da bu kaynaklara yönelmiş durumdadır. Zorlu Enerji Grubu da milli sermayeye katkı sağlayarak temiz ve çevre dostu bir teknoloji olan jeotermal santral teknolojilerine yönelen özel sektör firmalarından birisidir. Zorlu Enerji Grubu' nun 2008 yılında ADÜAŞ' ten devraldığı Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali ve ruhsat sahasında yapılan fizibilite çalışmaları neticesinde 80 MWe kurulu gücünde yeni bir jeotermal enerji santrali kurulabileceği belirlenmiş ve Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali için arama ve sondaj faaliyetlerine başlanmıştır. 30.08.2013 tarihi itibarı ile de santral işletmeye alınarak elektrik üretimine başlamıştır.

Bu tez çalışmasında Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nde kullanılan Triple Flash+Binary(ikili) kombine buhar çevrim teknolojisinin özelliklerinden bahsedilerek enerji ve ekserji analizleri gerçekleştirilecektir.

BÖLÜM 3

JEOTERMAL ENERJİ

Jeotermal enerji, doğanın insanlığa sunmuş olduğu doğal bir enerji kaynağıdır. Doğru ve etkin bir biçimde kullanıldığında tamamen yenilenebilir bir kaynak olarak nitelendirilebilir.

3.1 Jeotermal Enerjini Tanımı

Jeotermal enerji; kısaca Yunanca kökenli “Geo” ve “Thermal” kelimelerinin birleşiminden oluşan yer ısısı olarak tanımlanabilir. Detaylı olarak açıklamak gerekirse jeotermal enerji; yer kabuğunun çeşitli derinliklerinde birikmiş ısının oluşturduğu, sıcaklıkları sürekli olarak bölgesel atmosferik ortalama sıcaklığın üzerinde olan ve çevresindeki normal yer altı ve yer üstü sularına göre daha fazla erimiş mineral, çeşitli tuzlar ve gazlar içerebilen sıcak su ve buharın yeryüzüne taşıdığı ısı enerjisi olarak tanımlanabilir. Bu enerjiyi yeryüzüne taşımak için kullanılan çeşitli yöntemler mevcuttur. Bunlardan ilki; jeotermal enerjinin yer altında birikmiş kaynaktan jeotermal akışkan vasıtasıyla yeryüzüne doğal yollarla ulaşmasıdır. Bir diğer yöntem ise, sıcak kuru kaya (hot dry rock) olarak bilinen ve jeotermal akışkan içermeyen kaynaklara yeryüzünden su enjekte edilerek kayanın sıcaklığından faydalanılması ve tekrar yeryüzüne taşınmasıdır.

Jeotermal enerji tamamen yerli bir kaynak olduğu için ülke ekonomisine ve milli sermayeye doğrudan katkı sağlamaktadır. Jeotermal kaynakların doğru, etkin, verimli ve faydalı bir biçimde kullanılması ile beraber ülkenin enerji bakımından dışa bağımlılığı azaltılarak cari açığın kapatılmasına katkıda bulunulur.

Jeotermal enerjinin doğası ve dağılımı ile ilgili üç temel terim vardır; jeotermal gradyan, ısı akışı ve jeotermal anomali [4].

Jeotermal gradyan dünya yüzeyinden derinlere doğru inildikçe sıcaklığın artmasından kaynaklanır. Normal olarak yerin altına doğru inildiğinde her 33 metre'de sıcaklık 1°C yükselir. Fakat jeotermal sahalarda, jeolojik yapının ve kayaç tiplerinin farklı olmalarından dolayı sıcaklık artışı çok daha fazla, örneğin 33 metre'de 5°C olabilir [4].

Isı enerjisi dünya yüzeyine, kayalardan iletim yoluyla geçerek, mağmanın hareketi ile veya jeotermal suyun hareketi ile ulaşır. Isı enerjisinin iletim yoluyla düşey olarak hareket etmesine ısı akışı denir [4].

Bazı jeotermal alanlarda, bazı derinliklerde sıcaklıklar, komşu alandaki sıcaklıklardan farklılıklar gösterirler. Bu düzensizliğe jeotermal anomali denir. Jeotermal anomali küçük bir alan ile sınırlı olabilir ve sadece küçük bir sıcak su kaynağı anomaliyi gösterebilir. Öte yandan anomali binlerce kilometrekarelik bir alanda da oluşabilir. Jeotermal kuyuların sondajı, geliştirilmesi ve işletmesi çok pahalı işlemler oldukları için jeotermal aramalarda pozitif jeotermal anomalilerin (yüzeğe yakın ve yüksek sıcaklıklı) yerleri tespit edilmeye çalışılır [4].

Farklı jeolojik yapılarda, jeotermal anomalilere sebep olan beş ana faktör vardır. Bu faktörlerin anlaşılması, jeotermal alanların aranmasında yardımcı olur [4].

Isının farklı bölgelerde yayılması:

Isı akısındaki temel farkların sebebinin yerin yaklaşık 30 km altındaki oluşumlarda bulunduğu inanılmaktadır. Bazı bölgelerde ısı akışı ortalamaya göre düşük, bazı bölgelerde yüksektir [4].

Isı akış miktarının aralığı:

Sedimentar bölümdeki her derinlikte, kayaç tipinden bağımsız olarak ısı iletiminin hızı aynıdır. Radyoaktif kaynaklar ısı iletim hızını değiştirir. Normal olarak ısı yeryüzüne sabit hızda iletilir. Fakat, eğer ortamın ısı iletkenliği anormal olarak çok düşük ise, mevcut alandaki sıcaklık komşu alanlardan fazladır. Genel olarak dünyanın her yerinde rastlanan değişik kayaç tiplerinin ısı iletkenliği birbirlerinden farklılık gösterir. Örneğin kuvarsın iletkenliği, pekişmemiş kilin iletkenliğinden altı kat daha fazladır. Yani, eğer ısı

akışı sabit ise, bir tabakadaki jeotermal gradyan, değişen ısı iletim hızına bağlı olarak, komşu tabakaya göre altı kat daha fazla olabilir. Kayaçlardaki lateral (yanal) değişiklikler ve bunlara bağlı ısı iletkenliğindeki değişiklikler çarpıcı jeotermal anomaliler yaratabilir [4].

Radyoaktif elementlerin konsantrasyon farkları:

Diğer faktörler jeotermal gradyanın büyüklüğünü etkiler. Radyoaktif elementler yoğunlukla üst kabukta bulunurlar fakat en fazla granitik kayalarda bulunurlar. Radyoaktif elementler sığ kabuksal alanlardaki ısı akışını hızlandırırlar. Bazı granitik kayalardaki ısı akışının üçte ikilere varan kısmı radyoaktif elementler olan uranyum, toryum ve potasyumun radyoaktif bozunumundan dolayı oluşur. Bunların arasında uranyum ve toryum aynı önemde iki radyoaktif elementtir ve radyoaktif çürümeden oluşan ısıyı yaklaşık olarak % 80-90'ını oluştururlar. Bu noktada, yeteri kadar büyük hacimli bir granitik kütle içinde bulunan küçük miktarda uranyumun (milyonda 5-10 parça ve toryumun (20-80 ppm) yeraltı sıcaklığını belirgin biçimde yükselttiğini not etmekte fayda vardır. Radyoaktif elementlerin konsantrasyonundaki lateral (yanal) değişimler, kayalar aynı ısı iletkenlikte de olsa jeotermal gradyanda farklılıklara yol açar [4].

Tabakalar arasına giren genç mağmatik kayaçlar(Genç mağmatik sokulumlar):

Levha tektoniği teorisi (yerkabuğunun, geniş düz parçalarının hareketi) genç mağma aktivitelerinin oluşumunu açıklamaktadır. Mağma, levhaların ayrılma zonları boyunca ve levhalar arasına girerek, sırtlar oluşturur. Kabuğa doğru sokulan mağma yerkabuğuna ısı transfer eder ve bu da yüksek jeotermal gradyanlar yaratabilir. Sonuç olarak ortaya çıkan jeotermal anomaliler değerli jeotermal kaynaklar yaratabilirler [4].

Hidrotermal sirkülasyon:

Geçirgen kayaçlardan, kırık veya çatlak sistemlerinden geçen sular, ısıyı kayaçlardan daha hızlı taşırlar. Genç mağmatik sokulum tarafından ısıtılan sular konveksiyon akımları sonucu jeotermal sistemde dolaşır veya dolaşımdaki soğuk su mağmatik bir sokulumla yaklaşarak ısınır ve hareketine devam eder. İki durumda da jeotermal enerji kabuktaki sığ derinliklere transfer edilir ve ciddi jeotermal anomalilere sebep olabilir.

Termal suların yeryüzüne çıktığı noktalarda doğal sıcak su kaynakları oluşur. Diğer yerlerde termal sulara ulaşmak için kuyu açmak gerekir [4].

Jeotermal Enerjiden Faydalanma

Jeotermal enerji kaynakları sıcaklıklarına bağlı olarak başta elektrik üretimi olmak üzere, konut ısıtması, bölgesel ısıtma, sera ısıtması, termal turizm-tedavi ve endüstriyel sıcak su eldesi, mineral eldesi, kimya-tekstil-gıda-kurutma endüstrilerinde kullanılmaktadır. Genelde yüksek sıcaklıklı kaynaklar ($T > 140^{\circ}\text{C}$) elektrik üretiminde, orta ve düşük sıcaklıklı kaynaklar ($T < 140^{\circ}\text{C}$) ise doğrudan kullanım alanlarında kullanılmaktadır. Son yıllarda teknolojinin gelişmesiyle 85°C 'nin üzerindeki jeotermal kaynakların ikili çevrim (binary cycle) santrallerinde elektrik üretiminde kullanılması da gündemdedir. Çizelge 3.1' de farklı sıcaklıklara bağlı olarak jeotermal kaynağın kullanılabilir alanlarını gösteren Klasik Lindal diyagramı verilmektedir. Lindal diyagramı jeotermal kaynaklardan faydalanmanın iki önemli yönünü gösterir:

- a- Faydalanılan akışkanın sıcaklığına bağlı olarak ikinci bir işte kullanılması jeotermal kaynakların kullanılabilirliğini artırır.
- b- Jeotermal kaynağın sıcaklığı olası kullanılma alanını belirler [5].

Çizelge 3.1 Jeotermal enerjiden faydalanma biçimleri

Akışkan Fazı	Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)	Kullanım Alanı	Yararlanma Biçimi
Doymuş Buhar	180	Yüksek konsantrasyon solüsyonun buharlaşması, Amonyum absorpsiyonu ile soğutma	Elektrik Enerjisi Üretimi
	170	Hidrojen sülfid yolu ile ağır su eldesi, Diyatomitlerin kurutulması	
	160	Kereste kurutulması, balık vb. yiyeceklerin kurutulması	
	150	Bayer's yoluyla aliminyum eldesi	
	140	Çiftlik ürünlerinin çabuk kurutulması (konservecilikte)	
	130	Şeker endüstrisi, tuz eldesi	
	120	Temiz su eldesi, Tuzluluk oranının artırılması	
	110	Çimento kurutulması	
Sıcak Su	100	Organik maddeleri kurutma (Yosun, et, sebze vb.), Yün yıkama ve kurutma	Isıtma
	90	Balık kurutma	
	80	Ev ve sera ısıtma	
	70	Soğutma(alt sıcaklık sınırı)	
	60	Kümes ve ahır ısıtma	
	50	Mantar yetiştirme, balneolojik banyolar	
	40	Toprak ısıtma, kent ısıtması (alt sınır), sağlık tesisleri	
	30	Yüzme havuzları, fermentasyon, damıtma, sağlık tesisleri	
	20	Balık çiftlikleri	

Jeotermal enerji; elektrik üretimi, ısıtma (bölgesel, konut, termal tesis, sera vb.), kimyasal madde üretimi, kurutmacılık, bitki ve kültür balıkçılığı, termal turizm vb. kullanılmaktadır. Ülkelere göre değişik sınıflandırmalar olmasına rağmen jeotermal enerji kaynakları; düşük (20-70°C), orta (70-150 °C) ve yüksek (150°C'dan yüksek) entalpili (sıcaklıklı) olmak üzere genelde üç gruba ayrılmaktadır. Düşük ve orta sıcaklıklı sahalar bugünkü teknolojik ve ekonomik koşullar altında, başta ısıtmacılık olmak üzere (sera, bina, zirai kullanımlar), endüstride (yiyecek kurutulması, kerestecilik, kağıt ve dokuma sanayisinde, dericilikte, soğutma tesislerinde), kimyasal madde üretiminde (borik asit, amonyum bikarbonat, ağır su, akışkandaki CO₂' den kuru buz eldesinde) kullanılmaktadır. Yüksek entalpili sahalardan elde edilen akışkandan elektrik üretiminin yanı sıra entegre olarak diğer alanlarda da kullanılabilir. Bunun yanında orta entalpili sahalardaki akışkanlardan da elektrik üretimi için teknolojiler geliştirilmiş ve kullanıma sunulmuştur.

Jeotermal kaynağın, dolayısıyla da santralin verimini ve ömrünü belirleyen en önemli faktör, santralda kullanılacak olan jeotermal akışkanın belli bir seviyede ve miktarda santrale akışının sağlanmasıdır. Bu nedenle, santrali besleyen jeotermal kuyulardaki rezervuar azalmasını önlemek amacıyla “reenjeksiyon” uygulaması yapılmaktadır. Böylece rezervin azalmasından kaynaklanan basınç düşüşü ve ısı kaybı önlenmektedir [6].

Termal suyun reenjeksiyonu, dünyada jeotermal alanlarda 1969 yılından itibaren kullanılmakta olan bir yöntem olup, jeotermal kuyu basınçlarının stabilitesini sağlaması yanında rezervuar ve jeotermal alanda bir çok avantajlar kazandırmaktadır [6].

Jeotermal elektrik santrallerinde reenjeksiyon, üretimin bir parçası olup, ek bir masrafa yol açtığı düşünülmeyle birlikte, aslında jeotermal santrallerin yüksek kazançta çalıştırılması için çok önemli bir uygulamadır. Reenjeksiyon uygulaması olmayan güç santralleri jeotermal rezervlerinde, rezervin azalmasından kaynaklanan basınç düşüşü ve ısı kaybından dolayı ancak jeotermal enerjinin çok küçük bir kısmı kullanılabilir [6].

Şekil 3.1’ de bu tez çalışmasına konu olan Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali’ nin reenjeksiyon pompa istasyonu görülmektedir.



Şekil 3.1 Kızıldere-II JES reenjeksiyon pompa istasyonu

Diğer taraftan, genellikle yüksek mineral konsantrasyonuna sahip olan jeotermal sular, toprakta bor kirlenmesi ve Na (Sodyum) birikimine neden olabilmekte ve tarımda verim kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle, bu tür atık suların yine jeotermal rezervuara geri basılmaları (reenjeksiyonu) bu tip sorunların engellenmesi açısından gereklidir. Reenjeksiyon atık su sorunun çözümünde yardımcı olduğu gibi, sahanın yapay olarak beslenmesine, daha çok enerji üretilmesine ve sahanın daha uzun süre kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır. Ancak hem üretim aşamasında hem de reenjeksiyon çalışmaları sırasında tatlı su akiferlerinin zarar görmemesine dikkat edilmesi gerekmektedir [6].

Proje kapsamında, reenjeksiyon alanı ve reenjeksiyon kuyuları;

- Belirli miktarlarda basınç artışının sağlanması ve su seviyesinde görülen düşüşün yavaşlatılması,
- Yer çökmesi ve kaymanın önlenmesi,
- Reenjeksiyon kuyuları ve tesislerinde yapılacak yatırımın ekonomik olması
- Çevrenin korunması; yerüstü, yeraltı sularının ve toprağın kalitesinin korunması amaçları göz önünde bulundurularak seçilmektedir.

Jeotermal santral ömrünü belirleyen bir faktör de tesisteki ve jeotermal sıvının taşındığı borulardaki kalsit tabakası oluşumudur. Jeotermal kaynaktan sağlanan yüksek akış kaynak basıncının azalmasına neden olmakta, bu da buharın ve yoğunlaşmayan gazların (CO₂ gibi) daha fazla buharlaşmasına ve santral yüzeyinde kalsit tabakasının oluşumuna neden olmaktadır. Kuyularda boru cidarlarında kalkerleşme oluşumu, boru çapının daralmasına ve jeotermal sıvı akışının sınırlandırılmasına yol açacağından bu kalkerleşmenin giderilmesi gerekmektedir. Bu sorun, boru içerisine uygun bir inhibitörün verilmesi ya da boruların mekanik temizlenmesi ile giderilebilmektedir. Temizleme yöntemlerinin seçimi, kuyu testlerinin tamamlanması ve detay projelendirmede tespit edilmektedir, seçilecek inhibitörün kalkerleşmeyi giderici özelliğinin yanı sıra kuyu enjeksiyonunda kullanılacak malzeme türlerine uyumluluğu ve çevre mevzuatına uygunluğu da dikkate alınmaktadır. Diğer taraftan detay projelendirmede kalkerleşmeyi giderici mekanik yöntemler de seçilebilmektedir [6].

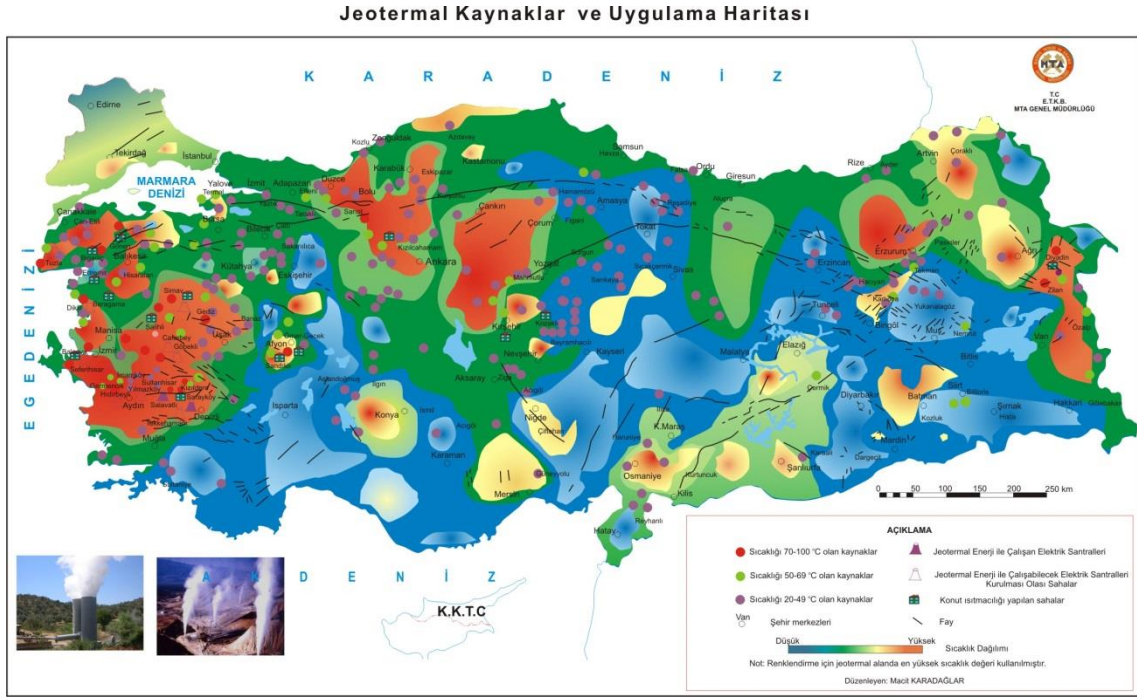
3.2 Türkiye’ de Jeotermal Enerji

Türkiye’ de jeotermal enerjiden bahsetmeden önce ülkenin genel enerji durumunu inceleyerek, jeotermal enerjiden elektrik üretimi amaçlı faydalanma durumumuzu net bir şekilde görebiliriz. Çizelge 3.2’ de 31 Ekim 2015 sonu itibarıyla Türkiye’ nin yakıt cinslerine göre kurulu gücü verilmektedir.

Çizelge 3.2 Türkiye’ nin yakıt cinslerine göre kurulu güç dağılımı [7]

YAKIT CİNSLERİ	31 EKİM 2015 SONU İTİBARIYLA		
	KURULU GÜÇ	KATKI	SANTRAL SAYISI
	MW	%	ADET
FUEL-OİL + ASFALTİT + NAFTA + MOTORİN	742,2	1,0	15
TAŞ KÖMÜRÜ + LİNYİT	8.723,4	12,0	25
İTHAL KÖMÜR	6.064,2	8,4	8
DOĞALGAZ + LNG	21.304,7	29,4	230
YENİLEN.+ATIK+ATIKISI+PİROLİTİK YAĞ	328,4	0,5	66
ÇOK YAKITLILAR KATI+SIVI	653	0,9	7
ÇOK YAKITLILAR SIVI+D.GAZ	3.847,2	5,3	38
JEOTERMAL	614,2	0,8	21
HİDROLİK BARAJLI	18.126,2	25	89
HİDROLİK AKARSU	7.522,6	10,4	467
RÜZGAR	4.280,1	5,9	111
TERMİK (LİSANSSIZ)	45,7	0,1	21
RÜZGAR (LİSANSSIZ)	0,6	0,0001	3
GÜNEŞ (LİSANSSIZ)	203,1	0,3	306
TOPLAM	72.455,4	100,0	1.407

Jeotermal arama faaliyetleri Türkiye’de 1960’larda başlamıştır. İlk kuyu 1963 yılında İzmir–Balçova’da açılmıştır. Başlangıçtaki arama çabaları, elektrik üretim potansiyeli olan yüksek sıcaklıklı sahalar üzerinde odaklanmış ve Birleşmiş Milletler Kalkınma Teşkilatı (UNDP) ile ortak yapılan çalışma ile 1968 yılında yüksek sıcaklıklı bir jeotermal saha olan Kızıldere Sahası keşfedilmiştir. Daha sonraki arama çalışmaları 1960 ve 70’lerde bulunup çalışılan orta sıcaklıklı sahalar olarak nitelendirilen, Balçova ve Seferihisar (İzmir, 150 °C) Sahalarıdır. İkinci yüksek sıcaklıklı saha, Germencik ve diğer orta sıcaklıklı sahalar olarak kabul edilen Salavatlı ve Simav sahaları ise 1980’lerde keşfedilmişlerdir [3].



Şekil 3.2 Jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası [8]

Türkiye' nin coğrafi konumuna bakıldığında özellikle batı Anadolu kesiminde oldukça yüksek sıcaklıklar ve verimli kaynaklar görülmektedir. Şekil 2.2' de Türkiye' deki jeotermal kaynaklar ve uygulama haritası gösterilmekte olup sıcaklık değişimleri ve bölgesel bazda jeotermal kaynakların dağılımı açık bir şekilde görülmektedir.

Daha sonraki arama çalışmaları Dikili, Caferbeyli (Manisa, 155 °C), Kavaklıdere (Manisa, 215 °C), Tuzla (Çanakkale, 174 °C), Yılmazköy-İmamköy (Aydın, 142 °C), Simav (Kütahya, 162 °C), Salavatlı (Aydın, 158 °C), gibi elektrik üretimine uygun bazı orta ve yüksek sıcaklıklı sahaların keşfini sağlamıştır [9]. Çizelge 3.3' te Türkiye' nin sahip olduğu jeotermal sahalar ve sıcaklıkları verilmektedir.

Çizelge 3.3 Jeotermal sahalar ve sıcaklıkları [2]

SAHA ADI	REZERVUAR SICAKLIĞI (°C)
Kızıldere(Denizli)	242
Germencik(Aydın)	232
Salavatlı (Aydın)	171
Yılmazköy - İmamköy (Aydın)	142

Çizelge 3.3 Jeotermal sahalar ve sıcaklıkları [2] (devamı)

Salihli - Caferbeyli (Manisa)	155
Salihli - Kurşunlu (Manisa)	96
Alaşehir - Kavaklıdere (Manisa)	116
Urganlı - Turgutlu (Manisa)	86
Simav (Kütahya)	162
Gediz - Abide (Kütahya)	97
Gölemezli	65
Karahayıt	55
Pamukkale	35
Seferihisar (İzmir)	153
Bağcıva (İzmir)	130
Dikili	130
Aliağa	96
Çeşme (İzmir)	62
Tuzla (Çanakkale)	174
Bigadiç (Balıkesir)	95
Hisaralan (Balıkesir)	100
Gönen (Balıkesir)	80
Saraycık (Manisa)	74
Emir - Kula (Manisa)	63
Kızılcahamam (Ankara)	86
Terme (Kırşehir)	57
Gecek - Ömer (Afyon)	98
Sandıklı (Afyon)	70

Çizelge 3.3 Jeotermal sahalar ve sıcaklıkları [2] (devamı)

Kozaklı (Nevşehir)	93
Zigra (Aksaray)	65
Sıcak Çermin (Sivas)	49
Sorgun (Yozgat)	75
Van (Erçiş)	80
Diyadin (Ağrı)	78
Nemrut (Bitlis)	59
Çermik (Diyarbakır)	51
Karali (Şanlıurfa)	49
Akyazı (Sakarya)	84
Çekirge (Bursa)	82
Armutlu (Yalova)	77
Terme (Yalova)	66
Kurşunlu (Çankırı)	54
Reşadiye (Çankırı)	47
Kaplıca (Bolu)	45
Ayder (Rize)	56

Jeotermal enerji kullanımının en önemli noktalarından birisi de elektrik üretimidir. Çizelge 3.4' de 10 Aralık 2015 sonu itibariyle Türkiye' de kurulu bulunan 21 adet jeotermal enerji santrali ve kurulu güçlerine ait bilgiler bulunmaktadır.

Çizelge 3.4 Türkiye’ de bulunan jeotermal enerji santralleri [10]

Lisans Sahibi Tüzel Kişi	Tesis Adı	Kurulu Gücü (MWe)
Zorlu Doğal Elektrik Üretimi A.Ş.	Kızıldere II JES	80
Zorlu Jeotermal Enerji Elektrik Üretimi A.Ş.	Alaşehir JES	45
Türkerler Jeotermal Enerji Arama ve Üretim A.Ş.	Türkerler Alaşehir JES	24
Tuzla Jeotermal Enerji A.Ş.	Tuzla Jeotermal Enerji Santrali	7,5
Akça Enerji Otoprodüktör Grubu A.Ş.	Tosunlar-1 JES	3,807
Karkey Karadeniz Elektrik Üretim A.Ş.	Umurlu JES	2,28
Ken Kipaş Elektrik Üretim A.Ş.	Ken Kipaş JES	24
Mtn Enerji Elektrik Üretim Sanayi Tic. A.Ş.	Babadere JES	8
Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.	Dora-1	7,951
Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.	Dora-2	9,5
Menderes Geothermal Elektrik Üretim A.Ş.	Dora-3	34
Maren Maraş Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Deniz JES	24
Maren Maraş Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Maren JES	44
Maren Maraş Elektrik Üretim Sanayi ve Ticaret A.Ş.	Kerem JES	24
Gürmat Elektrik Üretim A.Ş.	Galip Hoca JES	47,4
Gürmat Elektrik Üretim A.Ş.	Efeler JES	22,5

Çizelge 3.4 Türkiye’ de bulunan jeotermal enerji santralleri [10] (devamı)

Gümüşköy Jeotermal Enerji Üretim A.Ş.	Gümüşköy Jeotermal Enerji Santrali	13
Çelikler Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş.	Pamukören JES	45,02
Çelikler Jeotermal Elektrik Üretim A.Ş.	Pamukören JES 2	22,51
Bereket Jeotermal Enerji Üretim A.Ş.	Kızıldere JES	6,85
Zorlu Doğal Elektrik Üretim A.Ş.	Kızıldere-I JES	17,4

3.3 Dünyada Jeotermal Enerji

Jeotermal enerjiden teknik bakımından yararlanan ilk ülke İtalya'dır. Bunda enerji yetersizliği nedeniyle yıllarca önce yapılan girişimlerin rolü büyük olmuştur. Günümüze kadar volkanik faaliyetlere sahne olan İtalya'da sıcak su kaynaklarına çokça rastlanmaktadır. Floransa'nın güneyinde Larderello yöresi adı verilen yerdeki kaynaklardan 1952 yılında elde edilen elektrik enerjisi, İtalya'da toplam elektrik gücünün % 6'sını oluşturmuştur. Larderello'da bu tip enerji üretiminin iyi sonuç vermesi bu sanayinin ülkenin başka yerlerde de kurulmasına neden olmuştur [11].

Floransa kentinin yaklaşık 80 km güneybatısında yer alan Tuscany'nin doğal buhar kuyuları yaklaşık 160 km²'lik elipsvari bir alan işgal etmektedir. Larderello dışında, Castelnuovo, Serrazzano, Lustignano, Sasso, Lago ve Monterotondo diğer önemli merkezlerdir. Hem enerji ve hem de kimyasal madde üretimi bakımından en büyük gelişme Larderello'da görülmüştür [11].

İtalya'da "saffioni" olarak isimlendirilen doğal gaz kuyuları ve "lagoni" denilen buharın yoğunlaştığı su havuzları bu bölgede asırlardan beri bilinmektedir. Ancak yöre halkı gaz kuyularını zararlı sandıklarından gereği kadar yararlanamamışlardır. 1913 yılında bir soffioni'den çıkan buhar doğrudan doğruya kullanılmak üzere ilk buhar türbini kurulmuştur. Daha sonra bu türbine 250 kilovatlık elektrik jeneratörü bağlanmıştır.

1916 yılında ise, her birine 3000'er kilovatlık üç ünite daha ilave edilmiştir. 1923 yılından sonra yeni birtakım ilavelerle doğal buhar doğrudan doğruya jeneratörlere verilebilmiştir. 20. yüzyılın başlarında açılmış olan kuyuların derinlikleri 150 m den azdır. Ortalama 2 atmosferik basınçla çıkan buharın sıcaklığı 100 °C den 190 °C' ye kadar değişen bir değer göstermiştir. İlk buhar kuyusu Larderello'da 1931'de açılmıştır. 270 m derinliğindeki kuyu saatte 190 ton buhar vermiştir. Ayrıca sıcaklığı 250 °C, basıncı ise 3.7 atmosfer olarak ölçülmüştür [11].

Çizelge 3.5 Dünyada bulunan jeotermal enerji santralleri [12]

Ülke	2010 Kurulu Güç	2015 Kurulu Güç
	MWe	Mwe
ABD	3098	3450
Almanya	6,6	27
Avustralya	0,1	1,1
Avusturya	1,4	1,2
Çin	24	27
El-Salvador	204	204
Endonezya	1197	1340
Etiyopya	7,3	7,3
Filipinler	1904	1870
Fransa	16	16
İtalya	843	916
İzlanda	575	665
Guatemala	52	52
Japonya	536	519
Kenya	202	594
Kosta Rika	166	207

Çizelge 3.5 Dünyada bulunan jeotermal enerji santralleri [12] (devamı)

Meksika	958	1017
Nikaragua	88	159
Papua Yeni Gine	56	50
Portekiz	29	29
Rusya	82	82
Tayland	0,3	0,3
Tayvan		0,1
Türkiye	91	397
Yeni Zelanda	762	1005

Jeotermal enerjiden ilk yararlanan ülkelerden biri de İzlanda'dır. 1928 yılında bu ülkenin başkenti olan Reykjavik çevresindeki sıcak su kaynakları, Reykjavik'e pompalanarak bir hastaneyi ve okulun yüzme havuzunu ısıtmak için kullanılmıştır. Sonuç başarılı olunca sistem genişletilerek bütün şehre uygulanmasına karar verilmiştir. Ancak bu defa daha büyük bir kaynağa ihtiyaç duyulduğundan Reykjavik'in 16 km. doğusunda bulunan Reykir'deki bir kaynak bu iş için seçilmiştir. Dakikada yaklaşık olarak 6000 lt. su veren kaynağın sıcaklığı 80 °C olduğu görülmüştür. Çıkan suyun miktarını artırmak amacıyla kuyunun derinliği 135 m den 360 m ye çıkarılmıştır. Projenin uygulanmasına 1939 yılında başlanmış, fakat I. Dünya Savaşının çıkması ile yarıda kalmıştır. Yapımına 1943 yılında yeniden başlanarak aynı yıl içerisinde tamamlanmıştır [11].

Kuzey Amerika'da dikkate değer jeotermal enerji yörelerinden en önemlisi California'da bulunmaktadır. En tanınmış yer ise San Francisco'nun 154 km kuzeyindeki "The Geysers" ve çevresidir. Bu yörede ilk sondaj buhardan faydalanılarak elektrik elde etmek ümidiyle yapılmıştır ve 60 m derinlikte 3204 mm.lik buhar basıncı tespit edilmiştir. 1922 yılında açılan ikinci kuyunun 95 m.lik derinlikte ve basınç değeri 3153 mm olarak bulunmuştur. 1925 yılına kadar benzer 8 kuyunun açılması tamamlanmıştır ve derinlikleri 100-200 m arasında değişmektedir. 1955 yılında The Geysers'de 180 m derinlikte bir deneme kuyusu açılmış ve kayıtlara göre kuyu derinliği faylı zona kadar

inmiştir. Böylece buhar çıkan faylı zonun derinliğini ölçmek mümkün olmuştur. 1880 m. derinlikte temel kayaçların sıcaklığı yaklaşık olarak 600 °C olarak tespit edilmiştir. The Geysers’lerde zamanımıza kadar doğal buhardan faydalanılarak elektrik üretilmektedir. Buhar ve sıcak su, ısıtma ve yüzme havuzlarında da kullanılmaktadır [11].

Jeotermal enerjinin tarihsel gelişimine bakıldığında ilk yıllarda oldukça durağan gelişme ve ilerlemeler sağlanırken özellikle son yıllarda jeotermal enerjinin kullanımı ve direkt olarak faydalanılması hususunda çok ciddi atılımlar yapılmıştır.

Dünya’ da bulunan jeotermal enerji santrallerine ilişkin son yıllarda oldukça büyük ilerlemeler sağlanmış olup Çizelge 3.5’ te son 5 yıllık süreçte dünyada bulunan jeotermal enerji santrallerinin kurulu güç farkları ve sağlanan ilerleme açık bir şekilde görülmektedir.

JEOTERMAL ENERJİDEN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Jeotermal enerji kaynaklarının kullanımı hususunda en önemli maddelerden birisi de elektrik üretimi amaçlı kullanımlardır. Kuyulardan elde edilen jeotermal akışkanın kuruluk derecesine, debisine ve sıcaklığına bağlı olarak farklı elektrik üretim teknolojileri geliştirilmiştir. Güncel olarak kullanılan 3 tip teknoloji mevcuttur.

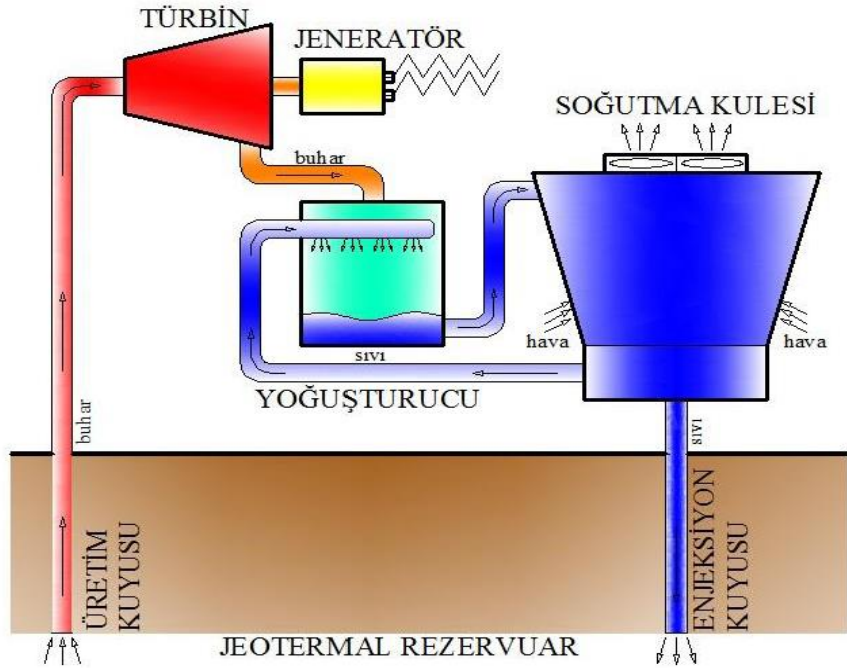
4.1 Kuru Buhar Teknolojisi

Kuru buhar santralleri, ticari amaçlı olarak kullanılan ilk jeotermal enerji santrali tiplerindendir. Bundan yaklaşık yüz yıl kadar önce İtalya' nın Larderello bölgesinde Prince Piero Ginori Conti, yer altından gelen doğal buhar akışından faydalanarak çalışan küçük bir buhar makinesini icat etmiş ve çalıştırmıştır. Şekil 4.1' de icat edilen küçük buhar makinesi görülmektedir. Jeotermal akışkan sadece buhar fazında bulunduğu için mevcut enerjisinden faydalanmak için mekanik bir cihaz kullanılması oldukça kolaydı. Prince' in makinesi sadece kendi fabrikasını aydınlatmak için kullanılan 5 adet ampüle elektrik sağlayabilecek kapasitede olsa da geleceğin büyük çaplı enerji santrallerine ilham kaynağı olmuştur.



Şekil 4.1 İlk jeotermal elektrik üretim makinesi

Kuru buharlı santraller, içeriğinde sıvı fazda jeotermal akışkan bulundurmadığı için, flaşlı santrallere oranla daha ucuz ve daha basit yapılardır [13].



Şekil 4.2 Kuru buhar çevrimli santral şematiği [14].

Geniş çaplı kuru buhar rezervuarları dünya üzerinde Larderello ve Geysers olmak üzere sadece iki bölgede bulunmaktadır. Japonya(Matsukawa), Endonezya(Kamolang), Yeni Zelanda(Wairakei’ nin Poihipi Yolu kısmı) ve Birleşik Devletler’ in(Cave Fort, Utah) bölgelerinde ise kısıtlı miktarda kuru buhar rezervuarları mevcuttur.

Kuru buhar santrallerinde kuyular ile santral binası arasındaki bağlantı flaşlı santrallere oranla daha basit olarak gerçekleştirilmektedir. Kuyularda klasik olarak kullanılan vanalarla birlikte, buharın içerisinde bulunan partikülleri uzaklaştırmak için dizayn edilen aksenel santrifüj bir ayırıcı (separatör) da bulunmaktadır. Bu ayırıcı, buhar boru hattına girmeden önce içeriğindeki yabancı maddeleri ve partikülleri uzaklaştırmak amacıyla kullanılır. Boru hatları ise destekler üzerine monte edilir ve belirli aralıklarla termal uzama ve kısalmaları kompanse etmek için literatürde expansion loop adı verilen genleşme kavisleri kullanılır. Boru hattı boyunca ayrıca belirli noktalara monte edilen buhar tuzakları sayesinde yoğuşan sıvı fazdaki akışkan toplanarak ayrı boru hatları vasıtasıyla havuzlara, oradan da reenjeksiyon kuyularına yönlendirilir. Şekil 4.2’ de kuru buhar santraline ilişkin basit bir şematik grlmektedir.

Boru hattı santral binasına yaklaştıkça belirli bir bölgede acil durum deşarj istasyonu bulunmaktadır. Bu istasyonda, acil durum vanaları kullanılarak türbinin devre dışı kaldığı durumlarda meydana gelen ani basınç yükselmelerine karşı boru hattı korunarak basınç dengelenmesi sağlanır. Buhar atmosfere salınmadan önce genellikle susturucu adı verilen tanklara yönlendirilir ve akabinde deşarj edilir. Santral işletmesinde kuyubaşı vanalarının devamlı olarak açılıp kapatılması yerine sürekli olarak açık konumda bırakılması tercih edilmektedir [13].

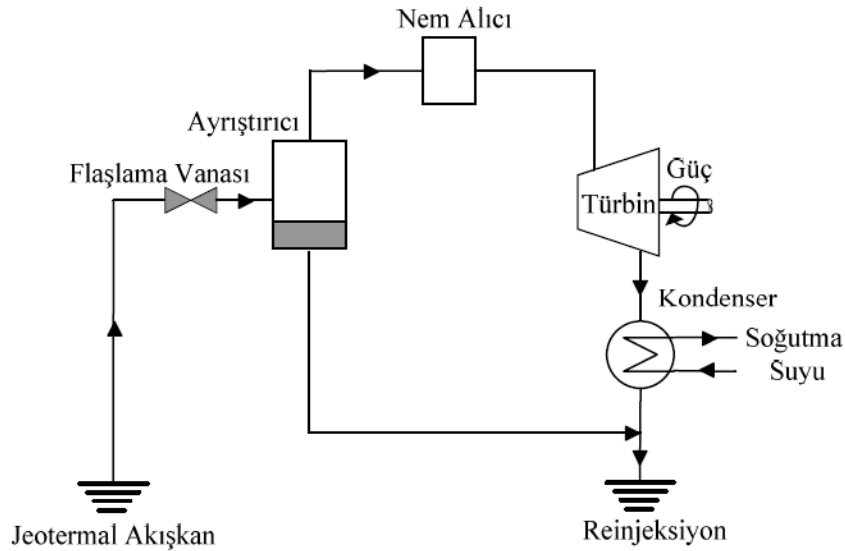
4.2 Flaş Buhar Teknolojisi

Flaş buhar teknolojisi, jeotermal akışkanın çift fazlı olarak kuyubaşına ulaştığı rezervuarlarda kullanılan bir teknolojidir. Jeotermal akışkan yerin kilometrelerce altından yeryüzüne ulaşana dek içerisinden geçtiği sondaj borularının sürtünme etkisi, basınç düşümü vb. etkilerle sıcaklık ve basıncının bir miktarını kaybederek sürekli olarak faz değişimlerine uğrar. Akışkan yeryüzüne yani kuyubaşına ulaştığı zaman çoğunlukla buhar ve sıvı fazda karışık olarak bulunmaktadır.

Flaş buharlı çevrimde, akışkan turbine girmeden önce buhar fazına getirilerek yaklaşık %99,9 saflıkta kuru buhar haline getirilmesi sağlanır. Bu işlem için ayırıcılar(separatörler), nem tutucular(demisterler) vb. ekipmanlar kullanılmaktadır.

4.2.1 Tek Flaş Buhar Çevrimli Jeotermal Santraller

Tek flaşlı güç santralleri, jeotermal kaynaklardan elektrik üretme açısından en yaygın kullanılan santrallerdendir. Dünyada halen bu teknolojiye sahip çok sayıda santral bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıklı sahalarda kurulabilen bu tip santrallerin I. ve II. kanun verimleri oldukça düşüktür. Verim düşüklüğünün temel sebebi rezervuardan çıkan jeotermal akışkanın düşük sıcaklık ve basınca sahip olmasıdır [15].



Şekil 4.3 Tek flaş buharlı güç santrali şematiği [16]

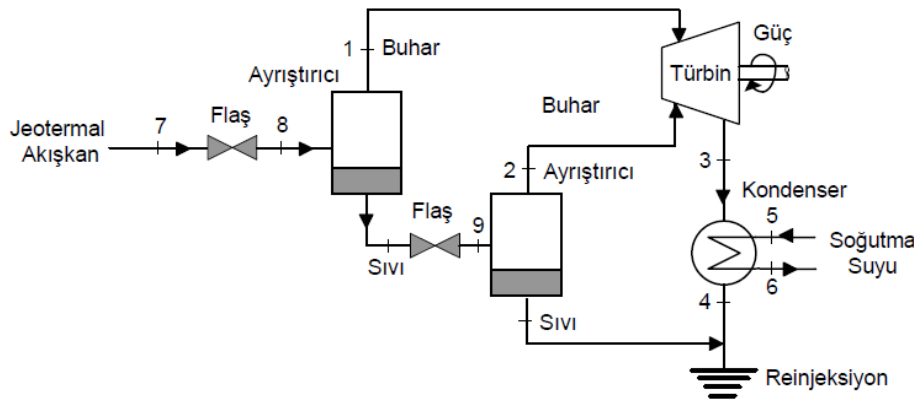
Şekil 4.3' den de görüleceği üzere tek flaş buharlı güç santrallerinde, yüksek basınçlı ve sıvı ağırlıklı jeotermal akışkana kısma vanası vasıtasıyla bir miktar kısma uygulanarak basıncı düşürülür. Böylelikle içeriğindeki buhar oranı arttırılarak ayırıştırıcılara gönderilir. Çift fazlı akışkan ayırıştırıcı vasıtasıyla bir kez flaşlanma prosesine tabi tutulur ve böylelikle sıvı ve buhar fazın tamamen birbirinden ayrılması sağlanır. Buhar fazı önce yaklaşık olarak %99,99 saf buhar haline getirilmek üzere nem alıcılara oradan da

mekanik enerjiye dönüştürülmek üzere turbine gönderilirken, ayrıştırıcıda kalan sıvı faz ise reenjeksiyon kuyularına basılmak üzere reenjeksiyon pompalarına iletilir.

4.2.2 Çift Flaş Buhar Çevrimli Jeotermal Santraller

Çift flaş buharlı santraller, tek flaşlı santrallerin bir üst teknolojisi olarak kullanılmakta ve aynı jeotermal akışkan debisiyle yaklaşık olarak 15-25 % daha fazla güç üretilmesine olanak sağlamaktadır. Tek flaşlı santrallere kıyasla daha fazla ekipman, bakım maliyeti vb. dezavantajları olmasına karşın, üretilen fazla güç tüm bu dezavantajları karşılayabilecek nitelikte olmaktadır.

Şekil 4.4' ten de görülebileceği üzere, çift flaş buhar çevrimli santrallerde iki kademedeki flaşlama yapılmaktadır. Her iki kademedeki elde edilen buhar ayrı ayrı türbinlere gönderilebileceği gibi Şekil 4.4' teki sisteme benzer bir şekilde aynı türbin gövdesi altında farklı kanat kademelerine de iletilebilmektedir.



Şekil 4.4 Çift flaş buharlı güç santrali şematiği [16]

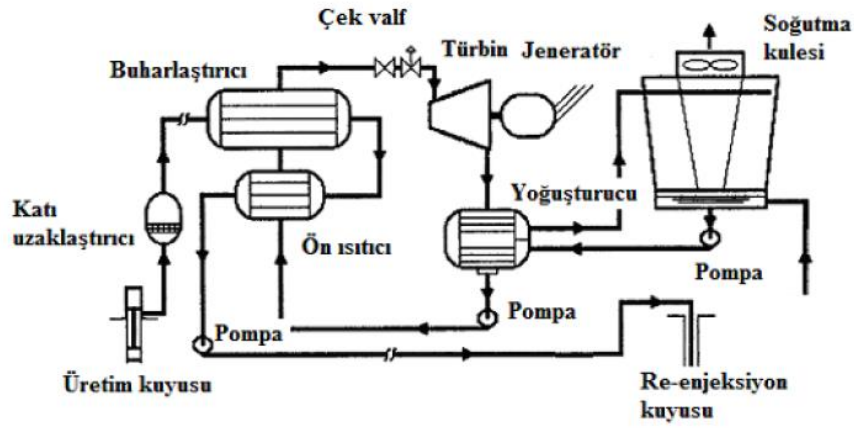
4.2.3 Üç Flaş Buhar Çevrimli Jeotermal Santraller

Üç flaş buharlı santraller, çift flaşlı santrallerin bir üst teknolojisi olarak kullanılmakta ve aynı jeotermal akışkan debisiyle yaklaşık olarak 10-15 % daha fazla güç üretilmesine olanak sağlamaktadır. Üç flaş santral teknolojisinin kullanılabilir olması için jeotermal akışkan sıcaklık ve basınçlarının 3 kademeli ayrıştırma işlemine uygun olması gerekmektedir.

4.3 Binary (İkili) Çevrim Jeotermal Santraller

Binary çevrimli jeotermal enerji santralleri, klasik fosil yakıtlı ya da nükleer enerji santrallerine termodinamik prensipleri olarak en yakın özellikteki santrallerdir. İş akışkanı kapalı bir çevrimde çalışmaktadır. Termodinamik olarak özellikleri en uygun olarak seçilen iş akışkanı ısısını jeotermal akışkandan alır, buharlaşır, bir türbin boyunca genişleyerek yoğunur ve besleme pompası vasıtasıyla buharlaştırıcıya (evaporator) geri döndürülür.

Şekil 4.5’ te binary çevrimine uygun olarak çalışan bir jeotermal enerji santraline ilişkin basit bir şematik gösterilmektedir.



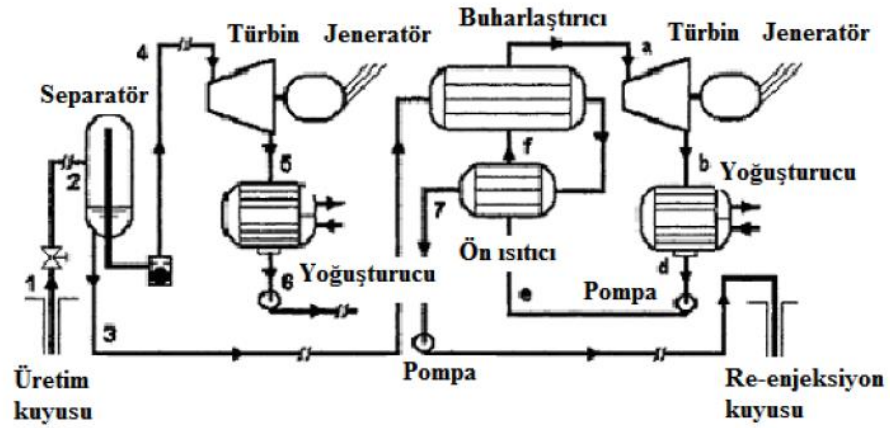
Şekil 4.5 Binary çevrim güç santrali şematiği [13]

4.4 Kombine Flaş-Binary Çevrim Jeotermal Santraller

Kombine flaş-binary çevrim santralleri, jeotermal akışkanın enerjisinden daha çok yararlanılması için oluşturulmuş sistemlerdir. Literatürde “Bottoming Binary Çevrimi” olarak da bilinen bu sistemlerde, separatörde ayrışarak sıvı fazda kalan akışkan reenjeksiyon kuyusuna gönderilmeden önce ısısını aktarmak üzere tekrar binary çevrimine gönderilir. Diğer bir alternatif ise çift flaş çevrimli santrallerde yüksek basınç türbininden ayrılan çift fazlı buhar baskın akışkanın binary çevrimine katılarak enerji elde edilmesidir.

4.4.1 Tek Flaşlı Kombine Çevrim Jeotermal Santralleri

Tek flaşlı kombine çevrim santrallerinde, ayrıştırıcıda buhar fazında ayrıışan jeotermal akışkan buhar türbinine gönderilirken sıvı fazda kalan akışkan ise enerjisinden mümkün olan en üst düzeyde faydalanılması için binary çevrimine gönderilerek sistemden daha fazla verim alınmaya çalışılır. Şekil 4.6' dan da görülebileceği üzere binary çevrimine gönderilen akışkanın enerjisinden faydalandıktan sonra tekrar reenjeksiyon kuyularına basılar ve rezervuarın sürekliliği korunmuş olur.



Şekil 4.6 Tek flaşlı kombine çevrim güç santrali şematığı [13]

4.4.2 Çift Flaşlı Kombine Çevrim Jeotermal Santralleri

Çift flaşlı kombine çevrim santrallerinde, jeotermal akışkan 2 defa ayrıştırma işlemine tabi tutulur. Yüksek basınç ayrıştırıcısında buhar fazına gelen akışkan yüksek basınç türbinine gönderilirken, sıvı fazda ayrıışan jeotermal akışkan basıncı bir miktar düşürülerek alçak basınç ayrıştırıcısına sokulur. Alçak basınç ayrıştırıcısında da bir miktar daha buhar ayrıışarak alçak basınç türbinine gönderilir. Böylelikle jeotermal akışkanın enerjisinden daha yüksek bir verimle yararlanılmış olur.

Binary ünitesine akışkanı tedarik eden kısım yüksek basınç türbini çıkışıdır. Yüksek basınç türbininden çıkan ıslak buhar binary ünitelerine gönderilerek kombine çevrim tamamlanmış olur.

Binary ünitelerinde genellikle buhar eşanjörleri kullanılmakta birlikte farklı yerleşimler de mevcuttur. Örneğin 45 MWe kurulu gücüyle inşaat çalışmaları devam eden ve Kasım 2015 sonu itibarı ile devreye alınması planlanan Zorlu Enerji Grubu' na ait Alaşehir

Jeotermal Enerji Santrali projesi de çift flaşlı kombine çevrim santrali olmakla birlikte binary ünitesine ait eşanjörlerin yerleşimi ve faydalandığı kaynaklar klasik çevrimlerden bir miktar farklılık göstermektedir.

Klasik çift flaşlı kombine çevrim santrallerinde yüksek basınç türbini çıkışından elde edilen buharın ısısı buhar eşanjörleri vasıtasıyla ikincil bir akışkana aktarılırken Alaşehir Jeotermal Enerji Santrali'nde hem buhar eşanjörü vasıtasıyla yüksek basınç türbininden çıkan buharın ısısından faydalanılırken hem de alçak basınç separatörü çıkışında reenjeksiyon pompalarından sonra yerleştirilen bir brine buharlaştırıcısı sayesinde sıvı fazdaki jeotermal akışkan reenjeksiyon kuyularına geri basılmadan önce sıcaklığından bir miktar daha faydalanılmış olur.

Bu tip santrallerde en büyük kıstas reenjeksiyon sıcaklığıdır. Bu sebeple, brine buharlaştırıcısı tasarımında dikkat edilmesi gereken en önemli husus silica, kalsit çökmesini engellemek için akışkanın sıcaklığını belirli bir değerin üzerinde tutmaktır. Bu değer genellikle 85 °C ve üzeri sıcaklıklarda olmalıdır.

4.4.3 Üç Flaşlı Kombine Çevrim Jeotermal Santralleri

Üç flaşlı kombine çevrim santrallerinde, jeotermal akışkan 3 defa ayrıştırma işlemine tabi tutulur. Yüksek basınç ayrıştırıcısında buhar fazına gelen akışkan yüksek basınç türbinine gönderilirken, sıvı fazda ayrılan jeotermal akışkan basıncı bir miktar düşürülerek orta basınç ayrıştırıcısına sokulur. Orta basınç ayrıştırıcısında buhar fazına gelen akışkan orta basınç türbinine gönderilirken, sıvı fazda kalan akışkan bir kez daha ayrıştırma işlemine tabi tutulmak üzere alçak basınç separatörüne gönderilir. Alçak basınç separatöründe basıncı bir miktar daha düşürülerek son kez ayrılan akışkanın buhar fazı alçak basınç türbinine gönderilirken, sıvı fazda kalan kısım reenjeksiyon kuyularına basılmak üzere pompalara gönderilir.

Üç flaşlı kombine çevrim santrallerinde binary ünitesini besleyen akışkan yüksek basınç türbini çıkışından alınır. Yüksek basınç türbininden ayrılan ıslak buhar binary ünitesi eşanjörlerinde ısısının bir kısmını ikincil akışkana aktararak organik rankine çevrimi tamamlamış olur.

Tez çalışmasına konu olan Kızıldere-II jeotermal enerji santrali de üç flaşlı kombine çevrim santral tipine sahiptir. Santralin  flaşlı dizayn edilmesinin en büyük sebeplerinden birisi de Kızıldere-I santralinden ayrışan sıvı fazdaki akışkanın Kızıldere-II santrale iletilerek düşük basınç separatrlerinde ayrıştırmaya tabi tutarak enerjisinden bir kez daha faydalanmaktır. Aksi takdirde Kızıldere-I santrali separatrlerinde ayrışan sıvı fazdaki yüksek sıcaklıklı akışkan tüm enerjisiyle birlikte reenjeksiyon kuyularına geri basılacaktır.

BÖLÜM 5

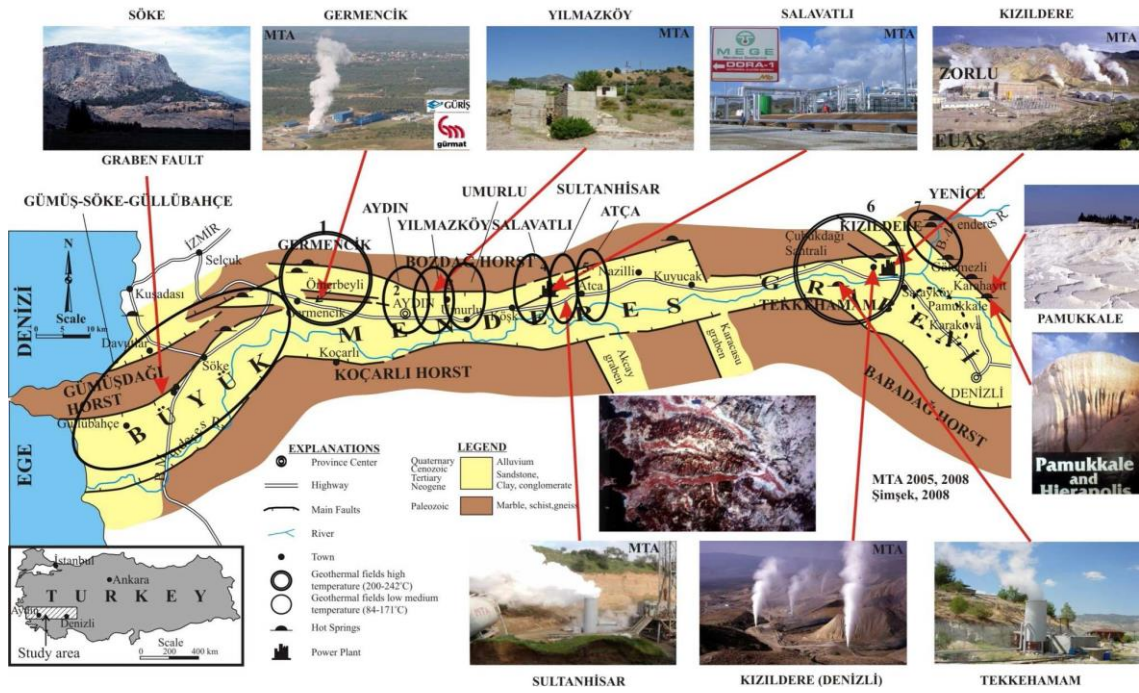
KIZILDERE JEOTERMAL SAHASI

Kızıldere sahası Türkiye’ de jeotermal enerjinin lokomotifi olmak üzere uzun yıllardır topluma, akademisyenlere ve tüm insanlara hizmet etmektedir. Türkiye’ nin keşfedilen ilk sahalarından birisi olması ve aynı zamanda Türkiye’ nin ilk jeotermal enerji santralini bünyesinde barındırması sebebiyle yurtiçi ve yurtdışından pek çok akademik çalışmaya referans oluşturmuş ve bir nevi laboratuvar görevi görmüştür.

5.1 Kızıldere Jeotermal Sahasına ait Genel Bilgiler

Kızıldere jeotermal sahası 1960’lı yılların ortasında başlayan yerbilimi çalışmalarının sonunda 1968 yılında delinen KD-1 kuyusunda 196 °C sıcaklıkta jeotermal akışkan bulunmasıyla keşfedilmiştir. Bundan sonra kısmen yapılan saha geliştirme çalışmaları ve kısmen beklemeyle geçen zaman sonunda Kızıldere Jeotermal Santrali 1982 yılında kurulmaya başlanmış ve 1984 yılında işletmeye alınmıştır [17].

Kızıldere jeotermal sahasının da içerisinde bulunduğu Büyük Menderes Grabeni Şekil 5.1’ de görülmektedir. Büyük Menderes Grabeni boyunca oldukça büyük bir alanda pek çok jeotermal enerji santrali bulunmakta ve aynı zamanda geliştirme çalışmaları sürdürülmektedir.



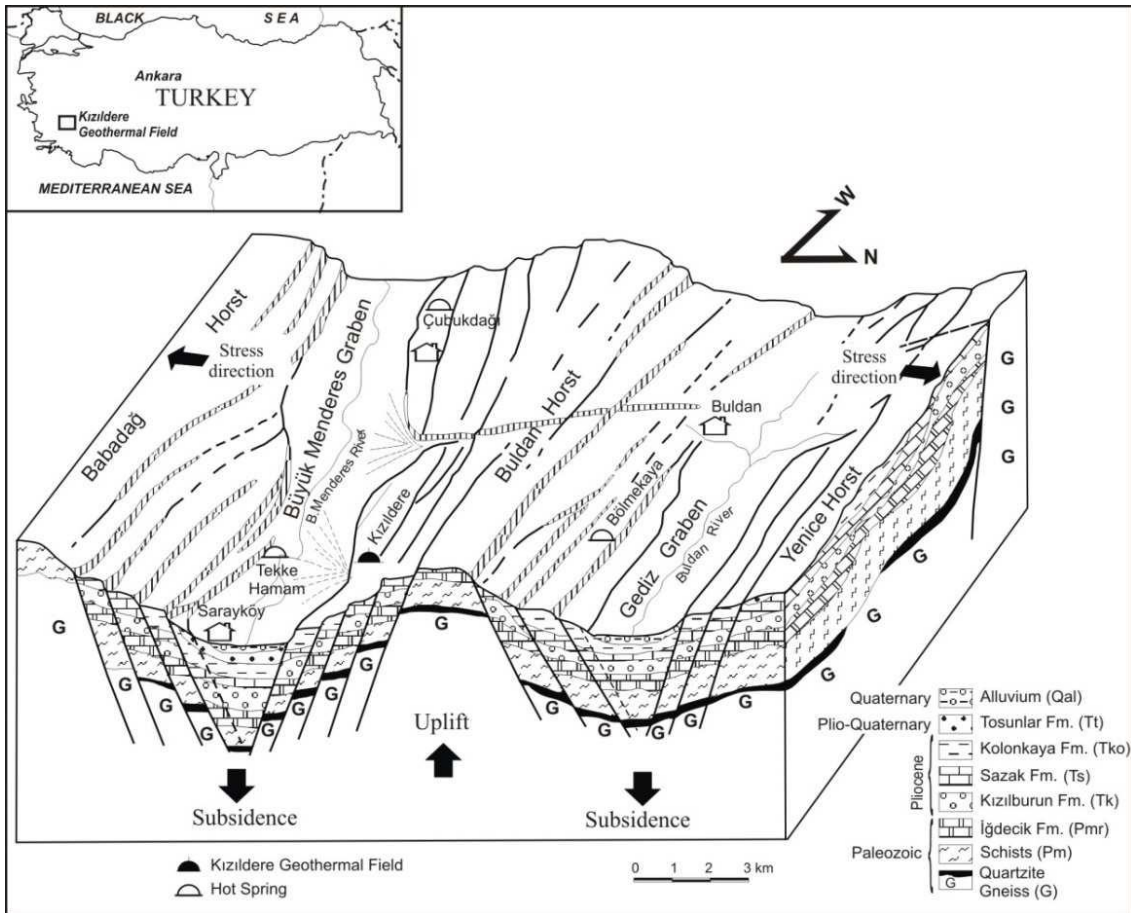
Şekil 5.1 Büyük Menderes grabeni jeotermal alanları [18]

Özlerinde kazanı jeotermal rezervuara bağlı çalışan termik santral olmalarına rağmen, jeotermal santraller doğaları gereği farklı termodinamik koşullarda çalıştıklarından, termik santrallerden farklı performans gösterirler ve jeotermal rezervuarlarla birlikte değerlendirilmelidirler. Bunun ötesinde, jeotermal santrallerin performansları yine doğaları gereği, rezervuardaki değişimlere karşı da hassastırlar. Bu bağlamda, Kızılder jeotermal sahası ilk bulunduğu durumu itibarıyla incelenirse; sınının hakim olduğu, 300-800 m arasında 196-212 °C sıcaklıklara sahip, yaklaşık 4500 ppm katı madde içeren ve jeotermal akışkanın ağırlıkça yaklaşık % 1.5 CO₂ içerdiği bir jeotermal rezervuardır. Daha sonra 1997 yılında sıcaklığı 240 °C olan bir derin termal rezervuar keşfedilmiştir. Bu rezervuardaki akışkanın CO₂ içeriği ağırlıkça %2.5 civarındadır [17].

5.2 Kızılder Sahası Genel Jeoloji Bilgisi

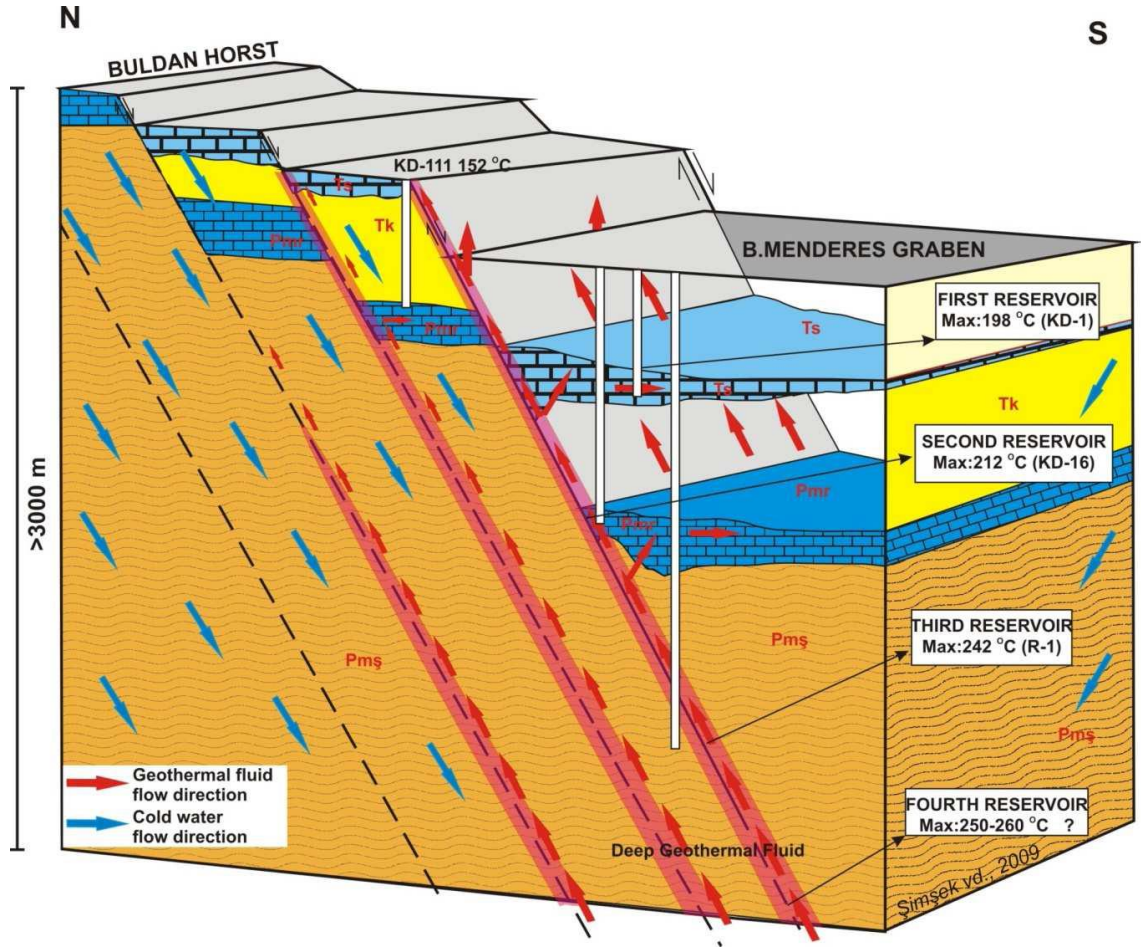
Çalışma alanında Menderes Masifi'ne ait metamorfik kayalar, Mesozoik kireçtaşları, Eosen yaşlı flis serisi ile Pliosen ve Kuvaterner yaşlı çökel kayaları bulunur. Temelde Menderes Masifi'nin metamorfikleri yer alır. Bunlar tabandan tavana doğru yanal ve dikey geçişli gnays, şist, kuvarsit, mikaşist ve mermerler ile temsil edilir. Jeotermal alanın doğusunda Mesozoik yaşlı kireçtaşları, şistler üzerinde uyumsuz olarak yer alır.

Senozoik, Eosen ile başlar. Birim çakıltası, kumtaşı ve marn aralanmasından oluşmaktadır. Senozoik'e ait Alt Pliosen sedimanları alttan itibaren Kızılburun Formasyonu (çakıltası, kumtaşı), Sazak Formasyonu (kireçtaşı, marn), Kolonkaya Formasyonu (marn, kumtaşı) birimlerine ayrılır. Bunların üzerindeki Üst Pliosen yaşlı Tosunlar Formasyonu bloklu çakıltası, kumtaşı ve kireçtaşından oluşur. Kuvaterner kaya topluluklarına ilişkin olarak ise taraçalar (eski alüvyon), yeni alüvyon ve yamaç molozları gözlenir [20].



Şekil 5.2 Kızıldere jeotermal sahası ve çevre alanı blok diyagramı [19]

Şekil 5.2' den de görülebileceği üzere, Kızıldere jeotermal alanı Ege Graben sistemleri içinde yer alır. Karmaşık kırıklı yapısı ve içerdiği tektonik özellikler ile oldukça ilginç görünüm sunar. Kenar fayları olarak haritalanmış kırıkların hemen hepsi dike yakın (70°) normal faylardır. Bölgesel yapıyı kontrol eden kırık hatları D-B, KD-GB, KB-GD doğrultuludur. Fakat ana yapı D-B yönlü kırıklardır. Jeotermal alanlar bu kırık hatları üzerinde yüzeylenmişlerdir [20].



Şekil 5.3 Kızıldere sahası kavramsal hidrojeolojik modeli [18]

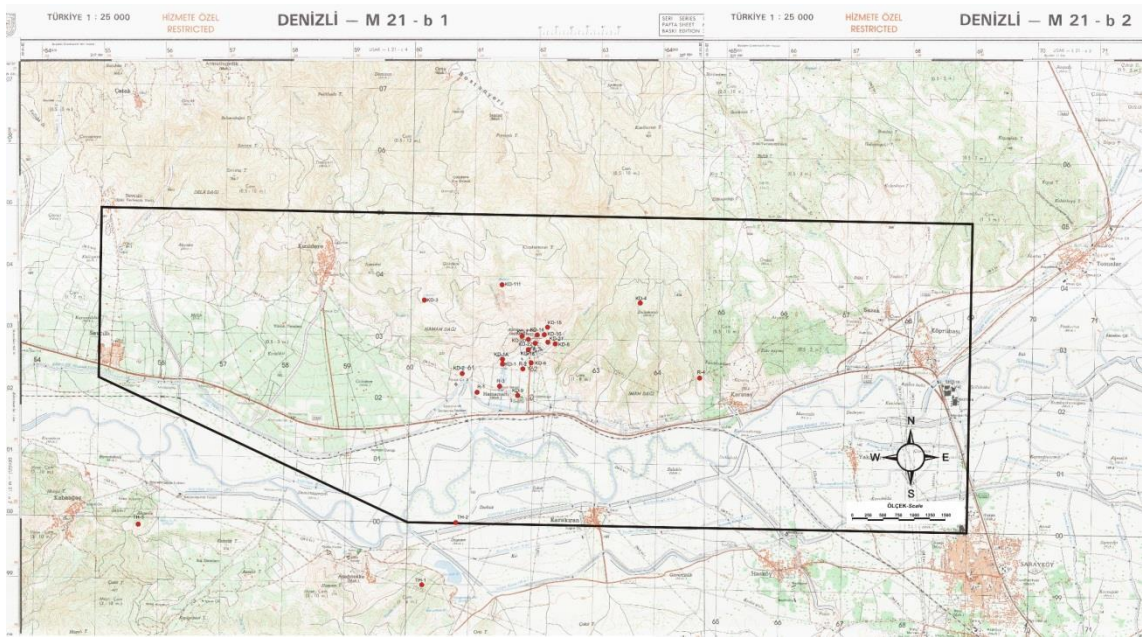
Yörede rezervuar kaya, metamorfik temele ait mermer, kuvarsit, kuvarslı şist ve gnayslarla temsil edilir. Ayrıca birinci rezervuar kaya olarak Sazak Formasyonu'nun kireçtaşları yer alır [20].

Şekil 5.3' te Kızıldere sahasına ait kavramsal hidrojeolojik model gösterilmekte olup Kasım 2015 itibarı ile sahada gerçekleştirilen üretim kuyu sondajlarında 4. Kat rezervuara ulaşılmış durumdadır.

5.3 Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santrali

Rogers Engineering Co., 1972 yılında 28.8 MWe gücünde bir çift akışkanlı "binary" santral önermiş ve bunun için bir ön fizibilite de sunmuştur. Çift akışkanlı bu santral 2000 ton/st jeotermal akışkan kullanacak ve jeotermal akışkan kuyulardan yer altı pompalarıyla, basıncı düşmeden ve CO₂ ayrılmadan, pompalanması planlanmakta idi. Ancak, o devirde 200 °C sıcaklıkta çalışan dalgıç pompa yoktu. Halen de bu sıcaklıkta

alışan ticari bir dalgıç veya şaftlı pompa bulunmamaktadır [21]. Japonlar 2000 yılında bir prototip dalgıç pompa ortaya çıkardılar, ancak bu da ticari olarak devreye girmedir. Pompaların dalgıç pompa olması gerekiyordu, çünkü gaz kilitlenmesini engellemek amacıyla kuyuiinde gazın ayrıştığı (flashing point) noktasının altında olması gerekiyordu. Rogers Co. derin kuyu dalgıç pompasına alternatif olarak gaz dönüşüm sistemi (gas recycling system) adıyla yeni bir yöntem de önermişti [22]. Bu yöntemde, üretilen yoğuşmayan gazlar bir túbiring vasıtasıyla üretim yapılan kuyuya tekrar basılarak kuyu basınç altında tutuluyor ve akışkan pH'ı düşürölüp, CaCO_3 ökeltmesi engelleniyordu. ABD'de 1980'li yılların başında denenilen ve literatüre geçen bu yöntem uygulamaya geçemedi, bunun nedeni de kuyuya gaz basılması için indirilmesi gereken tubing dolayısıyla, üretimin kısıtlanması yanında, korozyon sorunlarıydı. Rogers Co. tarafından önerilen çift akışkanlı santralin çalışma sıvısı iso-bütan olacaktı. [22].



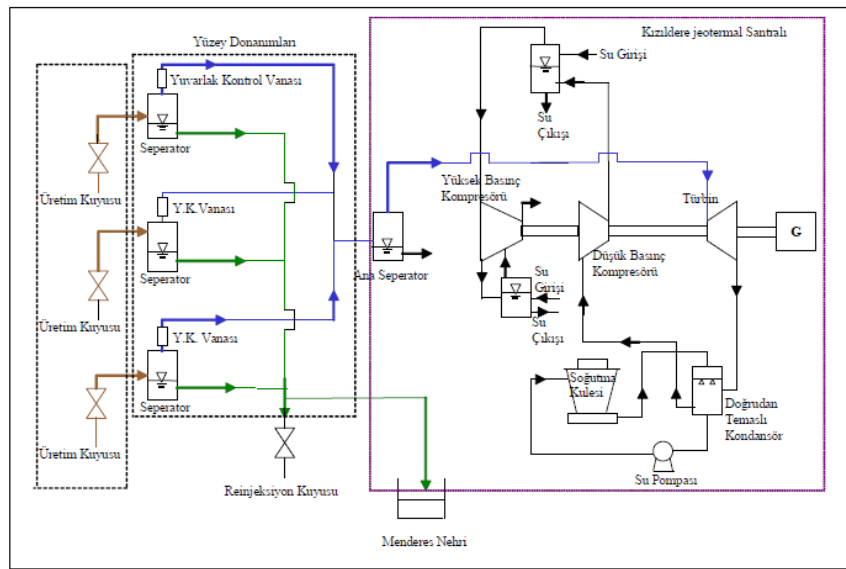
şekil 5.4 Zorlu Enerji Kızıldere ruhsat sahası

Rogers Co.'nun önerisi, o zamanlar ticari hiçbir çift akışkanlı santralin bulunmaması ve dalgıç pompanın ve "gaz dönüşüm sisteminin gerçekleşmemiş olması dolayısıyla, Kızıldere jeotermal projesinin o zamanki ortağı UNDP (BM kalkınma Ajansı) tarafından reddedildi ve Y. Zelanda'lı uzman Russel James'i fizibilite için Türkiye'ye yollandı. Russel James, evre deşarj koşullarıyla birlikte rezervuarın performansının düşmesini de dikkate alarak 10 MWe gücünde bir santralin uygun olacağını rapor etti [22]. MTA

ilgilileri bu gücün düşük olduğunu düşünerek, 20 MWe gücünde bir santral için fizibilite hazırlattılar ve sonuçta 17.8 MWe gücünde bir santral kuruldu.

5.3.1 Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santrali Teknolojisi

Kızıldere-I jeotermal santrali 1982 yılında kurulmaya başlanmış olup, 1984 yılında devreye alınmıştır. Santral klasik bir buhar türbini elektrik üretim tesisidir. Kızıldere jeotermal santrali konvansiyonel tek flaş (single flash) ünitesi olup, brüt kapasitesi 17.8 MWe, net üretim gücü (rated power) ise 15 MWe'tır. Kızıldere jeotermal santrali ve Kızıldere jeotermal sahasıyla birlikte işletme şeması Sekil 5.5'de verilmektedir [17].



Şekil 5.5 Kızıldere jeotermal santrali akış diyagramı [17]

Elektrik santralinde; ana nem separatörü, türbin, kondenser, kompresör, soğutma kulesi, yanında bir dizi vana ve pompalardan oluşmaktadır. Santraldeki türbin çift akışlı olup, çok kademeli türbin yüklere karşı stabilite sağlaması için tek bir shaft üzerine monte edilmiştir. Jeneratör de aynı shaft üzerine bağlanmıştır. Türbin buhar giriş sıcaklığı 147 °C, basıncı 0.378 MPa ve buhar debisi 33 kg/s olup, genleşen buhar basıncı 0.01019 MPa'a düşerek kondensere geçer. Kondenser doğrudan temaslı tip olup, ısı transfer katsayısı yüksektir. Soğutma için kullanılan su miktarı 2375 kg/s olup, "nozzle"larla buhar üzerine püskürtülmektedir. Kondenser korozyona dayanıklı olması için, paslanmaz çelikten imal edilmiştir. Türbinden geçen yoğuşmayan gazlar (karbon dioksit) kondenser içinde boşluk oluşmasını engelledikleri için, 2.38 MWe gücündeki iki

kademeli (düşük ve yüksek basınç) ve çift soğutmalı vida tipli bir kompresörle kondenserden alınmakta ve karbon dioksit üretme ünitesine sevkedilmektedir.

Soğutma kulesi ıslak tip olup, 4 adet her biri 110 kW'lık fan ile soğutma yapılmaktadır. [17].

5.3.2 Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santrali Geliştirme Çalışmaları

24 yıl boyunca EÜAŞ tarafından işletilen Kızıldere Jeotermal Enerji Santrali 5 Mart 2008 tarihinde yapılan 30 yıl süreyle işletme hakkı ihalesinde ADÜAŞ' ne ait diğer santrallerle birlikte santralin ve sahanın işletmesi Zorlu Enerji' ye geçmiştir. 1 Eylül 2008 tarihinde 70 km² jeotermal ruhsat alanı ile Kızıldere Jeotermal Santrali Zorlu Enerji' ye devredilmiştir. Şekil 5.4' de devredilen ruhsat alanına ilişkin basit bir kroki bulunamaktadır.

Santral Zorlu Enerji Grubu tarafından devir alındıktan sonra sahada pek çok geliştirme faaliyetleri yapılmıştır. Danışmanlık firmaları ve üniversitelerle anlaşarak sahanın ve mevcut santralin geliştirilmesi adına yapılabilecek revizyonlar ve çalışmalar için raporlar hazırlanmıştır. Kurulu gücü 17,4 MWe olan santralin üretim seviyesi devir alındığında yaklaşık olarak 7 MWe civarındadır. Bunun en büyük sebebi kuyularda oluşan kabuklaşma ve soğutma kulesi kaynaklı verim kayıplarıdır. Kısaca özetlemek gerekirse santralde yapılan revizyonları aşağıdaki şekilde sıralayabiliriz :

- Mevcut üretim ve reenjeksiyon kuyularına ait lokasyonlarda temizlik ve betonlama çalışmaları yapılmıştır,
- Kuyubaşlarında bulunan vana, basınç göstergesi vb. ekipmanların bakımı ve revizyonu yapılmıştır.
- Sahanın en büyük problemi olan kabuklaşmanın doğurduğu tıkanıklığı gidermek adına MTA tarafından mevcut tüm üretim ve reenjeksiyon kuyularında kalsit temizliği ve asitleme işlemleri yapılmıştır.
- Kabuklaşma oluşumunun engellenmesi adına kuyulara inhibitör basılması için çalışmalar yapılmıştır.

- Uzun süredir kullanılmakta olan ve yıpranmış durumda bulunan soğutma kulesine SPIG firması tarafından revizyonlar yapılmıştır. Bu sayede santralden daha verimli bir soğutma dolayısıyla daha yüksek verim elde edilmiştir.
- Soğutma kulesi bakımı ile eş zamanlı olarak türbin bakımı ve revizyonu gerçekleştirilmiştir.

Santralde ve ana ekipmanlarda gerçekleştirilen tüm bu çalışmalar neticesinde kısa süre içerisinde üretim kapasitesi 15 MWe seviyelerine çıkartılarak kaynağın daha yüksek verimle kullanılması sağlanmıştır.

19 Ocak 2015 tarihi itibarı ile Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santraline ait işletme verilerine dayanarak hazırlanan kuyu bilgileri Çizelge 5.1’ de veilmektedir.

Çizelge 5.1 Kızıldere-I JES kuyu bilgileri

Kuyu Adı	Kuyu Tipi	Kuyu Debisi(t/saat)	Kuyu Sıcaklığı(⁰ C)	Kuyu Basıncı(barg)
KD-14	Üretim	150	154	8,8
KD-15	Üretim	140	154	7,8
KD-16	Üretim	177	154	8,8
KD-20	Üretim	160	154	10,6
KD-21	Üretim	184	150	6,4
KD-22	Üretim	116	151	3,9
R-3	Üretim	140	228	10,4
R-6	Üretim	231	148	7,8

KIZILDERE-II JEOTERMAL ENERJİ SANTRALİ

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali triple flaş+binary kombine çevrim tipine göre çalışmaktadır. Sahip olduğu çevrim tipi ile Türkiye’ de tek, dünyada ise sayılı jeotermal enerji santrallerinden birisidir. Aynı zamanda içerisinde bulundurduğu entegre bölgesel ve sera ısıtma sistemi ile konut ısıtması ve seracılığa katkı sağlayabilecek vaziyettedir.

Bu bölümde sırasıyla santrale ait ana ekipmanlardan bahsedilerek daha sonra çevrim tipine ilişkin termodinamik analizler gerçekleştirilmektedir.

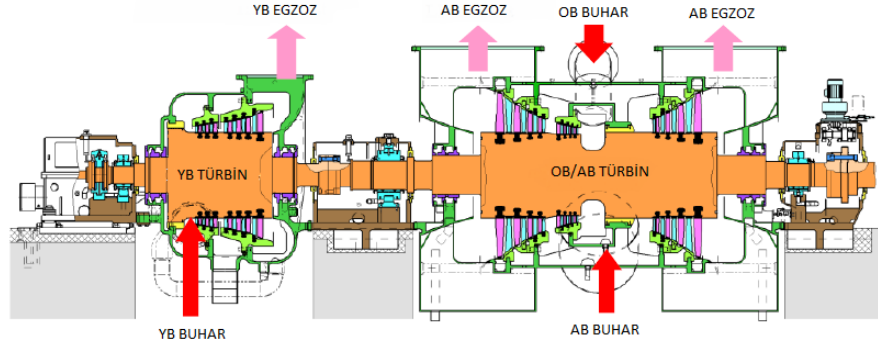
6.1 Santral Ana Ekipmanları ve Özellikleri

6.1.1 Buhar Türbini-Generatör ve İlgili Ekipmanları

6.1.1.1 Buhar Türbini

Santralde kullanılan buhar türbini 2 gövdeli kondensasyonlu reaksiyon tipi türbindir. Santralde toplamda 3 adet türbin bulunmakla birlikte, orta ve alçak basınç türbinleri ortak bir gövde (casing) altında çalışmaktadır. Yüksek basınç türbini ise bu gruptan bağımsız bir ünite olarak işlevini devam ettirmektedir. Tüm bu türbin grupları tek bir shaft üzerinde ortak bir generatöre bağlanmakta ve elektrik enerjisi üretilmektedir.

Yüksek basınç türbini tahrikini yüksek basınç nem alıcısından ayrılan yüksek basınç buharından almaktadır. Buhar, türbine yaklaşık olarak 8,45 bara civarında girmekte ve yaklaşık 1,15 bara seviyesinde türbini terk ederek binary ünitesine gönderilmektedir.



Şekil 6.1 Tübin kesit görünüşü [23]

Orta ve alçak basınç tübin grubu ise tahrikini, orta ve alçak basınç nem alıcısından gelen buhardan almaktadır. Bu tübin grubunda orta basınç buharı tübine 3,48 bara civarında girmekte, alçak basınç buharı ise 1,10 bara civarında tübine girmektedir. Tübin grubundan çıkan ıslak buhar ortak olarak 0,085 bara seviyesinde yoğunlaştırucuda yoğunlaşmaktadır.

YB ve OB/AB tübin grupları fiziksel olarak birbirleri ile bağlantılıdır. Fakat proses olarak herhangi bir bağlantıları yoktur. YB tübininden OB/AB tübin grubuna buhar akışı yoktur. Bunun sebebi şudur ; YB buharı yüksek oranda yoğunlaşmayan gaz içerdiğinden dolayı OB/AB tübin grubuna karıştığında gaz ayrıştırma sisteminin daha büyük kapasitelerde kurulması gerekecektir. Çünkü, OB/AB tübin grubu kondensere yoğunlaşmakta ve kondenserde yüksek oranda yoğunlaşmayan gaz bulunması durumunda santral maliyeti ve veriminde olumsuz etki yaratmaktadır [23].

OB/AB tübin grubunda buhar olmasa bile YB tübinine gelen buhar ile YB tübin vasıtasıyla bu tübin grubu döndürülebilir. Bu durum tam tersi olayın gerçekleşmesi ile de mümkündür. Fakat YB ve OB/AB tübin grupları arasında proses bağlantısı olmadığı için bu durumdan mümkün olduğunca kaçınılmalıdır. Çünkü OB/AB buharı olmadan hava sürtünme kayıpları ile birlikte OB/AB tübin grubu aşırı ısınacak aynı şekilde YB buharı olmadan da YB tübinini aşırı ısınmaya maruz kalacaktır. Bu demektir ki YB ve OB buharı devamlı olarak sırasıyla YB ve OB tübinlerine beslenmelidir. YB ve OB buharının sürekli olarak sağlanması için devreye alma ve devreden çıkarma prosedürleri ile emniyet tedbirleri titizlikle oluşturulmuştur. Bu tedbirler aşağıdaki gibidir :

- Türbin devreye alınmadan önce tüm kuyubaşı vana açıklıkları ve havalandırma vanasının pozisyonu bilgisayar ekranı ile kontrol edilmelidir.
- Devreye alma ya da devreden çıkarma boyunca türbin hız kontrol ya da güç kontrol modunda çalışırken YB ve OB kontrol vanaları tek bir regülatör (governor) komutu ile açılır ya da kapanır. Ayrıca OB kısmının düşük yüklerde yetersiz ya da komple akışsız kalmaması için, AB buharına sadece % 35 ya da üstü yüklerde izin verilir.
- Santralde % 35 yüke ulaşıldığında YB kontrol vanaları, uzaktan manuel kontrol ile YB hava atma (vent) vanaları kapanana kadar, kademeli olarak açılır. Daha sonra, YB kontrol vanası kontrol modundan Giriş Basıncı Kontrol (IPC-Inlet Pressure Control) moduna geçilir. Aynı işlem OB sistemine de uygulanır. Bundan sonra AB kontrol vanaları açılır. AB kontrol vanaları, uzaktan manuel kontrol ile AB hava atma (vent) vanaları kapanana kadar, kademeli olarak açılır ve AB kontrol vanası kontrol modundan Giriş Basıncı Kontrol (IPC-Inlet Pressure Control) moduna geçilir.

Türbin IPC modunda çalışırken, YB vent vanası arıza sebebiyle açılırsa ya da YB patlama diskleri patlarsa YB kontrol vanaları basıncı korumak için kısılacak hatta en son aşamada tamamen kapanabilecektir ve YB türbini buhar olmadan dönecektir. Bundan kaçınmak için, eğer YB kontrol vanaları önceden set edilen bir değerden daha fazla kapanırsa YB, OB&AB IPC modları emniyet sistemi tarafından kapatılacak daha sonra tüm YB kontrol vanaları, OB kontrol vanaları ve AB kontrol vanaları tam olarak kapatılacak ve türbin ters bir güçle duracaktır. Aynı mantık, OB hava atıcı vanasının açılması ya da OB patlama disklerinin patlaması durumunda da uygulanır [23].

6.1.1.2 Ayrıştırıcılar(Separatörler)

Kızıldere-II jeotermal santralinde 2 adet YB (Yüksek Basınç) separatör, 2 adet OB(Orta Basınç) separatör ve 3 adet AB separatör olmak üzere toplamda 7 adet separatör kullanılmaktadır. Separatör sisteminin amaçlarından genel olarak bahsedilirse; jeotermal akışkan yeraltından değişken basınçlarla kuyu başına ulaşır ve buradan da seperasyon istasyonlarına iletilir. Basıncı değişken olan çift fazlı jeotermal akışkan

(geothermal brine) sıvı ve buhar olarak seperasyon istasyonuna geldikten sonra basınç ve dönme etkisiyle separatör içerisinde ayrışır. Yoğuşan ve sıvı fazda bulunan akışkan diğer bir separatör ünitesine ya da direkt olarak reenjeksiyon kuyularına gönderilir.



Şekil 6.2 Kızıldere-II JES seperasyon sahası

Kızıldere-II santralinde üçlü flaş sistemi kullanıldığı için YB separatörden çıkan sıvı fazdaki akışkan OB separatörlerinde bir kez daha ayrışarak sıvı ve buhar fazlarına dönüştürülür. Akabinde OB separatöründe ayrışan sıvı fazdaki akışkan AB separatörüne gönderilerek son kez ayrıştırma işlemine tabi tutulur ve buhar fazı OB/AB türbin ünitesine gönderilirken, sıvı fazdaki akışkan reenjeksiyon kuyularına geri basılır.

Separatörden ayrışan buhar önce nem alıcıya gönderilerek seperasyon işleminin ilk aşaması tamamlanmış olur.

6.1.1.3 Nem Alıcılar(Demisterler)

Kızıldere-II santralinde YB, OB ve AB demister olmak üzere 3 adet demister bulunmaktadır. Demister kelime anlamı olarak nem tutucu demektir ve işlevlerinden biri de buharın içerisindeki nemi alarak saflığını artırmaktır. Demisterin tam olarak işlevlerini şu şekilde sıralayabiliriz; Demisterler, separatörlerden ayrışarak gelen

buharın saflığını yaklaşık olarak %99,997 seviyesine kadar çıkararak türbine girmeden önce içerisinde herhangi bir yabancı partikülün kalmamasını ve neminin alınmasını sağlarlar. Buharın saflığının %100' e yakın olması oldukça önem arz eden bir durumdur.

Jeotermal akışkanlar özellikle içerdiği yüksek miktardaki çözünmüş ve çözünmemiş mineral ve katı partiküller sebebiyle türbin kanatlarına ve aksamına zarar verebilecek nitelikte kimyasalları barındırabilmektedir. Yaklaşık 30 yıl süreyle çalıştırılması planlanan bir santral düşünüldüğüne türbinlerin bakımı ve korunması için tüm önlemlerin sağlıklı bir biçimde alınmış olması gerekmektedir.

Demister içerisinde %100' e yakın saflıkta ayrıştırılan buhar, türbinlere gönderilerek ayrıştırma işlemi tamamlanmış olur.

6.1.1.4 Kaya Susturucu (Rock Muffler)

Rock Muffler susturucu işlevi gören ekipmandır. Kızıldere-II santralinde kullanılan rock muffler ekipmanının temel işlevleri şu şekilde sıralanabilir; Rock muffler, santral içerisinde meydana gelebilecek herhangi bir ani duruş, arıza vb. kontrolsüz durumlarda, buhar türbinine gönderilmek üzere olan buharı tahliye etmek için kullanılan önemli ekipmanlardan birisidir.

Dikdörtgen temelli büyük bir tank şeklinde imal edilen ve kullanılan ekipman, içerisinde bulunan taş ve kaya parçaları sayesinde oldukça yüksek bir gürültüyle gelen buhar fazını atmosfere tahliye ederken oluşabilecek gürültü seviyesini ve yüksek basınçlı akışı minimize eder. Santraller kurulurken “Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) “ raporu sunulur ve bu raporda sağlanması gereken şartlardan birisi de yerleşim yerlerine yakın olan santrallerde belirli ses seviyelerinin üzerine çıkılmasının kısıtlanmasıdır. Kızıldere-II santrali için bu değer yaklaşık olarak 80 db civarındadır. Rock muffler sayesinde acil durumlarda tahliye edilmesi gerekli buharın gürültü seviyesi azaltılarak taahhütnamelere ve çevre şartlarına uygun hale getirilmesi sağlanır.

6.1.2 Binary Çevrim ve İlgili Ekipmanları

6.1.2.1 Binary Türbini

Kızıldere-II Jeotermal Elektrik Santrali, yaygın bir deyimle hibrid sistemle çalışmaktadır. Santralin ana çalışma mekanizmasını özetlemek gerekirse, Triple Flash buhar türbini ile birlikte kullanılan binary çevrim ile HP türbininin atık ısısından faydalanılarak ikinci bir döngü elde edilmekte ve toplamda yaklaşık olarak 20 MWe güç üretilmektedir.

Santral içerisinde binary çevrimi gerçekleştiren 2 adet turbo-expander bulunmaktadır. Binary çevriminde iş akışkan olarak R-134a kullanılmaktadır. 2 adet turbo expander ve generator ünitesinin her birinden yaklaşık olarak 10MWe güç elde edilmektedir. Bu oran günümüz yenilenebilir enerji santralleri ve kapasiteleri göz önüne alındığında oldukça önemli bir rakamdır.



Şekil 6.3 Kızıldere-II JES binary çevrim üniteleri

Binary çevriminin çalışma prensibi kısaca özetlenirse; YB türbininden ayrılan ve YB exhaust olarak adlandırılan akışkan gövde borulu ısı değiştiricilerde ısısının bir miktarını R-134a akışkanına aktararak görevini tamamlamış olur ve akabinde reenjeksiyon kuyularına geri basılmak üzere sistemden uzaklaştırılır. Daha düşük sıcaklıklarda

buharlaşabilen R-134a akışkanı YB exhausttan aldığı ısı ile birlikte buharlaşarak turbo expander ünitesine genişlemek üzere gönderilir ve proses tamamlanmış olur.

Binary ünitesinde 2 adet turbo expander ile birlikte her bir expander ünitesini besleyen 2 adet ısı değiştirici (vaporiser) ve yine her bir expander ünitesinin soğutmasını sağlayan 2 adet kondenser olmak üzere toplamda 4 adet ısı değiştirici (vaporiser) ve 4 adet kondenser bulunmaktadır. şekil 6.3' de görölen izolasyonlu ısı değiştiriciler buhar eşanjörleri olup izolasyonsuz vaziyette bulunan ısı değiştiriciler soğutma prosesinin tamamlandığı gövde borulu kondenserlerdir.

6.1.2.2 Bölgesel Isıtma Sistemi

Jeotermal enerji kaynaklarının en büyük ve verimli kullanım alanlarından birisi de bölgesel ısıtma sistemleri ve sera ısıtmacılığıdır. Kızıldere-II santralinde mevcut durumda 1 adet bölgesel ısıtma eşanjörü ve 1 adet de sera ısıtmacılığı için ısı eşanjörü mevcuttur fakat henüz devreye alınmamışlardır.

şekil 6.4' te Sarayköy ilçesinin ısıtmasını sağlamak üzere atıl durumda bulunan bölgesel ısıtma eşanjörü bulunmaktadır.



şekil 6.4 Sarayköy ısıtma eşanjörü

Bölgesel ve sera ıstmacılığı için atıl durumda bekleyen eşanjörlerin ısı kaynağı da tıpkı binary çevriminde olduğu gibi yüksek basınç türbini çıkışındaki çürük buhardır. Bu

eşanjörlerin kullanılması gerekirse eşanjöre giden vanalar açılarak yüksek basınç türbini egzoz buharının bir kısmı bu bölüme aktarılmış olacaktır.

6.1.3 Soğutma Kulesi ve İlgili Ekipmanları

Kızıldere-II santralinde kullanılmakta olan soğutma kulesi 8 ana hücreden oluşmakta ve tüm hücreler aktif bir şekilde çalıştırılmaktadır. SPIG firması tarafından imalatı ve montajı gerçekleştirilmiştir. Soğutma kulesinin tipi karşıt akışlı (counter-flow), mekanik ve su soğutmalı tiptir. Santral içerisinde kullanılan soğutma kulesinde yılın büyük bölümü boyunca dışarıdan su beslemesine ihtiyaç duyulmamaktadır. Santralin sağlamış olduğu yoğunlaşmış su ile soğutma prosesi sirkülasyonu sağlanmaktadır. Sıcaklığın arttığı yaz aylarında ise özellikle öğle saatlerinde bir miktar şebeke suyu ile besleme (make-up water) yapılarak soğutma kulesinin su dengesi sağlanmaktadır.



Şekil 6.5 Kızıldere-II JES genel görünüş

Soğutma kulesine ait fanlardan her biri yaklaşık olarak 140 kWe tüketmektedir. Bu da toplamda 8 adet fan ile birlikte 1,15 MWe' lik bir iç ihtiyaca tekabül etmektedir.

Şekil 6.5' ten de görülebileceği üzere soğutma kulesi mevsimsel olarak yoğun bir buhar yükselişine sahiptir.

Soğutma kulesinin bir diğer işlevi ise NCG(Non Condensable Gases) gazları olarak adlandırdığımız yoğuşmayan gazların uzaklaştırılmasıdır. Kondenser kısmında oluşturulan vakum etkisiyle alınan yoğuşmayan gazlar soğutma kulesi vasıtası ile sistemden uzaklaştırılır.

6.1.3.1 Soğutma Suyu Pompaları

Santral içerisinde soğutma ihtiyacı duyulan tüm bölümlerde soğutma suyu pompaları kullanılmaktadır. Bu pompalardan başlıcaları: binary ünitesi soğutma pompaları ve diğer yardımcı elemanların soğutma pompalarıdır.

Soğutma suyu pompalarının kullanımı santral içerisinde yaklaşık olarak 58 kWe' lik bir iç tüketime sebep olmaktadır.

6.1.4 Kondenser ve İlgili Ekipmanları

Santralde geliştirilmiş direkt temaslı yoğuşturucu (ADCC : Advanced Direct Contact Condenser) tipi kullanılmaktadır. ADCC kondenser tipine ait patent SPX firmasına ait olmakla birlikte santralde de SPX firması tarafından tedarik edilen ADCC kondenser bulunmaktadır. Şekil 6.6' da Kızıldere-II santralinde bulunan kondensere ilişkin görsel bulunmaktadır.



Şekil 6.6 Kızıldere-II JES kondenser ünitesi

Santralin ilk planlamaları esnasında binary bottoming çevrimi eklenmesi planlanmadığı için YB kondenser ve OB/AB kondenser olmak üzere iki adet kondenser kullanılması planlanmış fakat binary ünitesinin eklenmesi ile birlikte YB türbininden çıkan ıslak buhar binary eşanjörlerine gönderilerek YB kondenser kullanımı iptal edilmiştir.

Santralde halihazırda OB/AB kondenser olmak üzere bir adet kondenser kullanılmaktadır. Kondenser tipinden de anlaşılacağı üzere OB/AB türbininden çıkan akışkan direkt olarak soğutma suyu ile temas etmekte ve soğuyarak aşağıya düşmektedir. Spray tipi soğutmanın yapıldığı sistem ile daha fazla temas yüzeyi sağlanarak soğutmanın en sağlıklı ve verimli şekilde gerçekleştirilmesi sağlanmaktadır.

6.1.4.1 Hotwell Pompaları

Kondenserde yoğunlaşan akışkanın soğutma suyu sistemine dahil edilmesi ve soğutma kulesine gönderilmesi için hotwell pompaları kullanılmaktadır. Hotwell, kondenser alt kısmında bulunan ve yoğunlaşan akışkanın düştüğü ve depolandığı hazne olarak

belirtilebilir. Hotwell kısmından alınan akışkan yaklaşık olarak 38 °C civarında bir sıcaklıkta soğutma kulesine gönderilir.

Santralde 2 adet %50 kapasite ile çalışan hotwell pompası kullanılmaktadır. Bu pompalar santral iç tüketiminin yaklaşık olarak 810 kWe' lik kısmına tekabül etmektedir.

6.1.4.2 Blowdown Pompaları

Santralde halihazırda 2 adet %100 kapasite ile çalışabilen blowdown pompası bulunmaktadır. Blowdown pompaları da santralin iç tüketiminin yaklaşık olarak 233 kWe' lik kısmını oluşturmaktadır.

Blowdown pompalarının temel işlevi kondenserde biriken fazla suyun soğuk enjeksiyon kuyusuna geri basılmasıdır. Kızıldere sahasında KD-25 isimli kuyu, soğuk enjeksiyon kuyusu olarak kullanılmaktadır. Yaklaşık olarak 33 °C civarında sıcaklığa sahip olan kondenser fazla suyu bu pompalar vasıtasıyla soğuk enjeksiyon kuyusuna basılmaktadır. Normal şartlar altında reenjeksiyon kuyularına yaklaşık 100 °C sıcaklıkta jeotermal akışkan basılmaktadır. Fakat blowdown pompaları kondensere bağlı olarak çalıştığı ve yaklaşık 33 °C sıcaklıktaki suyu kuyuya bastığı için KD-25 isimli kuyu soğuk enjeksiyon kuyusu olarak anılmaktadır.

6.1.5 Yoğuşmayan Gaz (NCG) Alma Sistemi ve İlgili Ekipmanları

Jeotermal elektrik santrallerinde “yoğuşmayan gaz” deyimi, kondenser basıncını korumak amacıyla buradan uzaklaştırılması gereken, hava ve jeotermal akışkanın orijininden kaynaklanan gazları tanımlamada kullanılır. Bunlar; çoğunlukla karbondioksit (CO₂) ve değişen miktarlarda hidrojen sülfür (H₂S), hidrojen (H₂), azot (N₂), amonyak (NH₃), civa (Hg), bor buharı (B), radon (Rn) ve metan (CH₄) gibi hidrokarbonlar içerir [24].



Şekil 6.7 Gaz alma sistemi sıvı halkalı vakum pompası

Jeotermal buharın içerdiği gazlar, akışkan rezervuar koşullarında yüksek basınç altında iken çözünmüş durumdadırlar. Akışkan, üretim kuyusunda yüzeye doğru ilerledikçe hidrostatik basınç azalır. Kuyu içerisinde belli bir derinlikte basınç kaynama noktasına ulaşır ve flaşlama başlar, böylece bir kısım akışkan buhara dönüşür. Gazlar akışkan içinde çözündüğünde, flaşlama saf buharda olduğundan daha yüksek bir basınçta oluşmaya başlar. Tipik bir kuyuda, iki fazlı akışkan kuyubaşına ulaştığında, çözünmüş gazların hemen hemen hepsi açığa çıkar. Bu noktada, buhar içindeki gaz oranı göreceli olarak küçüktür. Çünkü flaşlanma sırasında büyük miktarda buhar açığa çıkar [24].

Jeotermal güç santrallerinde yüksek yoğunlaşmayan gaz oranlarının yarattığı problemlerden bazıları aşağıda listelenmiştir :

- Yoğuşmayan gazların kondenserde birikmesi nedeniyle basıncın yükselmesi, dolayısıyla türbinin ürettiği enerji miktarının azalması,
- Türbinden geçen buhar debisinin bir kısmını buhardan düşük spesifik enerjiye sahip yoğunlaşmayan gazların oluşturması nedeniyle türbinin daha az enerji üretmesi,
- Yoğuşmayan gazların yüzey tip kondenserlerde borular etrafında direnç yaratarak ısı geçişini azaltmaları,

- Yoğuşmayan gazları kondenslerden uzaklaştırmak için kullanılan gaz alma sistemlerinin ilk yatırım ve işletme masraflarının fosil yakıtlı santrallarda kullanılanlara göre daha pahalı olması,
- CO₂ ve H₂S gibi koroziif gazların suda çözünmesi, buhar ve yoğuşkan ile temas eden ekipman ve borularda korozyona neden olmaları,
- H₂S gazının atmosfere salındığında yarattığı genel çevresel etkiler,
- Türbin beslemesinde ve santral çevresinde yüksek H₂S konsantrasyonunun koroziif etkilerinden dolayı oluşan ekipman hasarları ve yapılarda dış korozyon,
- Türbinde kirlilik (fouling) [24].

Tüm bu etkenler göz önüne alındığında santralde kullanılması gerekli olan en önemli ekipmanlardan birinin de yoğuşmayan (NCG : Non Condensable Gas) gaz alma sistemleri olduğu açıkça görölmektedir.

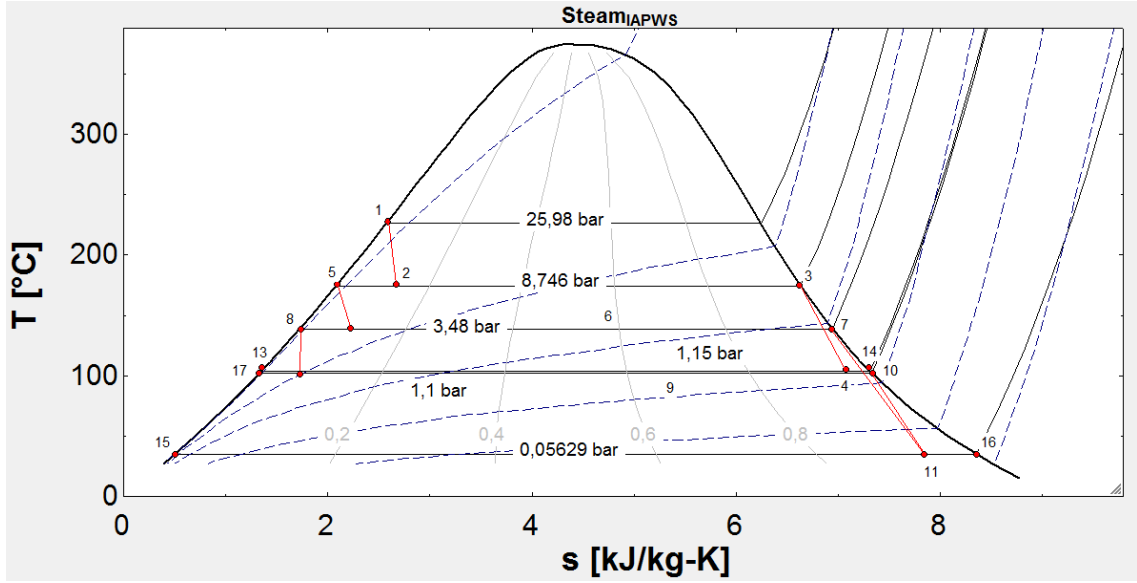
Kızıldere-II santralinde de 2 adet first stage (ilk aşama) inter(ara) kondenser, 1 adet after kondenser ve 1 adet vakum pompası kullanılmaktadır. Vakum pompası LRVP (Liquid Ring Vacuum Pump) tipi sıvı halkalı vakum pompasıdır. Vakum pompası kullanımı santral iç tüketiminin yaklaşık olarak 187 kWe' lik kısmına tekabül etmektedir. Şekil 6.7' da santralde kullanılan sıvı halkalı vakum pompasının resmi görölmektedir.

Gaz alma sisteminin çalışması şu şekilde anlatılabilir; YB türbininden çıkan bir miktar buhar ejektörlere gönderilerek kondenser çıkışında vakum etkisi oluşturularak yoğuşmayan gazların tahliyesi sağlanır. Ejektörün çalışma prensibine göre dış kısımdan iletilen YB türbin buharı ejektör iç kısmında vakum etkisi yaratarak yoğuşmayan gazlar tahliye edilir.

Yoğuşmayan gaz içeriklerinden biri olan karbondioksit gazı seracılıkta ve ticaret hayatında oldukça sık kullanılmaktadır. Kızıldere-I santralindeki gazın büyük bir kısmı CO₂ üreticisi bir firmaya satılmaktadır. Böylelikle çevreye karbondioksit salınımı mümkün olduğunca düşük seviyede tutulmaktadır.

Çizelge 6.1 Flaş çevrimi dizaynda kullanılan noktalara ait tanımlamalar

Nokta Numarası	Tanım
1	Üretim kuyularından gelen jeotermal akışkan noktası
2	Jeotermal akışkanın YB separatörde ayrışma noktası
3	YB buharının YB türbine giriş noktası
4	YB buharının YB türbinden çıkış noktası
5	YB separatöründen sıvı fazda ayrılan jeotermal akışkan noktası
6	Jeotermal akışkanın OB separatörde ayrışma noktası
7	OB buharının OB türbine giriş noktası
8	OB separatöründen sıvı fazda ayrılan jeotermal akışkan noktası
9	Jeotermal akışkanın AB separatörde ayrışma noktası
10	AB buharının AB türbine giriş noktası
11	OB/AB Türbin Grubu buharının kondensere çıkış noktası
12	Soğutma suyu giriş noktası
13	YB buharının YB türbinden çıkıştaki $x=0$ noktası
14	YB buharının YB türbinden çıkıştaki $x=1$ noktası
15	Kondenser basıncına denk gelen $x=0$ noktası
16	Kondenser basıncına denk gelen $x=1$ noktası
17	AB separatörü ayrışma sıcaklığındaki doymuş sıvı noktası
18	Kondenserde karışan akışkanın çıkış noktası



Şekil 6.9 Flash çevrimi T-s diyagramı

6.2.1.1 Yüksek Basınç Türbini Analizi

Üretim kuyularına ilişkin bilgiler Çizelge 6.2’ de verilmektedir. Kuyu debisi, basıncı ve sıcaklığına ilişkin değerler Kızıldere-II santrali işletme verilerine dayanılarak alınmıştır. Ekserji ve enerji değerleri ise EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

Çizelge 6.2 Üretim kuyularına ilişkin termodinamik değerler

Kuyu İsmi	Kuyu Debisi (kg/s)	Kuyubaşı Basıncı (bara)	Kuyubaşı Sıcaklığı (°C)	Giren Ekserji (kW)	Giren Enerji (kW)
KD-2A	91,11	10,3	233	20305	81947
KD-9A	106,38	9,6	224	21853	91196
R-5A	46,6	13,3	225	9661	40166
KD-42	82,7	21,3	242	19934	77921
KD-23B	50,9	10,4	236	11648	46503
KD-23D	72,2	10,4	232	15948	64599

Çizelge 6.2 Üretim kuyularına ilişkin termodinamik değerler (devamı)

KD-29A	53,6	11,3	244	13142	51018
R-1A	49,1	13,3	208	8650	38478
KD-18A	52,6	9,5	215,8	10002	43098
R-3A	89,3	9,5	240	21158	83286
R-1	55	9,5	230	11933	48692

$\dot{m}_1 = 749,5 \text{ [kg/s]}$ Üretim kuyularından gelen jeotermal akışkan debisi

Yoğuşmayan gaz debisi rezervuar debisinin %3' ü olacak şekilde hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{NCG} = \dot{m}_1 \cdot (0,03) \quad \text{Yoğuşmayan gaz (NCG) debisi} \quad (6.1)$$

Rezervuar sıcaklığı 226°C olarak kabul edilmiştir.

$$T_1 = 226 \text{ [C]} \quad \text{Rezervuar sıcaklığı}$$

Aşağıda bilgileri verilen değerlerden $h_1, s_1, s_2, P_1, x_2, P_{\text{buhar}}, s_3, s_5, h_{\text{YB,giriş,buhar}}, h_{\text{YB,giriş,NCG}}, h_5, s_{13}, s_{14}, x_4, h_{13}, h_{14}, h_{4,s}, h_{4,g}$ ve $h_{\text{YB,çıkış,NCG}}$ değerleri EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$h_1 = 971,4 \text{ [kJ/kg]} \quad \text{Rezervuarın doymuş sıvı entalpisi}$$

$$s_1 = 2,573 \text{ [kJ/kgK]} \quad \text{Rezervuarın doymuş sıvı entropisi}$$

$$s_2 = 2,978 \text{ [kJ/kgK]} \quad \text{YB seperatörü ayrışma durumundaki entropisi}$$

$$h_1 = h_2 \quad (6.2)$$

Yüksek basınç seperatörü ayrışma sıcaklığı $176,5^\circ\text{C}$ olarak kabul edilmiştir.

$$T_2 = 176,5 \text{ [C]} \quad \text{YB seperatörü ayrışma sıcaklığı}$$

$$T_2 = T_3 \quad (6.3)$$

$$T_2 = T_5 \quad (6.4)$$

$$P_1 = 25,98 \text{ [bara]} \text{ Rezervuar basıncı}$$

$$x_2 = 0,1104 \text{ YB seperatörü ayrışma kuruluk derecesi}$$

$$P_{buhar} = 9,246 \text{ [bara]} \text{ Buhar fazı ayrışma kısmi basıncı}$$

$$m_{buhar,YB} = \frac{\dot{m}_1}{1,03} \cdot (x_2) \text{ YB buharı debisi} \quad (6.5)$$

$$m_{buhar,YB} = 80,36 \text{ [kg/s]}$$

$$s_3 = 6,631 \text{ [kJ/kgK]} \text{ YB buharı YB türbine giriş entropisi}$$

$$s_3 = s_4 \quad (6.6)$$

$$\dot{m}_5 = \dot{m}_1 - (\dot{m}_{NCG} + m_{buhar,YB}) \quad (6.7)$$

$$\dot{m}_5 = 646,6 \text{ [kg/s]} \text{ YB seperatörde sıvı fazda ayrılan akışkan debisi}$$

$$s_5 = 2,15 \text{ [kJ/kgK]} \text{ YB seperatörde sıvı fazda ayrılan akışkan entropisi}$$

$$n_{buhar} = \frac{x_2}{18,02} = 0,006129 \text{ buhar fazına ait mol sayısı} \quad (6.8)$$

$$n_{NCG} = \frac{0,03}{43,6} = 0,0006881 \text{ yoğuşmayan gazlara ait mol sayısı} \quad (6.9)$$

$$n_{toplam} = n_{buhar} + n_{NCG} = 0,006817 \text{ toplam mol sayısı} \quad (6.10)$$

$$r_{buhar} = \frac{n_{buhar}}{n_{toplam}} = 0,8991 \text{ buhar oranı} \quad (6.11)$$

$$P_{toplam} = \frac{P_{buhar}}{r_{buhar}} = 10,28 \text{ [bara]} \text{ Toplam basınç} \quad (6.12)$$

$$P_{NCG} = P_{toplam} - P_{buhar} = 1,038 \text{ [bara]} \text{ Yoğuşmayan gaz kısmi basıncı} \quad (6.13)$$

$$P_{kayıp} = 0,5 \text{ [bara]} \text{ YB seperatör ile YB türbin girişi arasındaki basınç kaybı}$$

$$P_{NCG,giriş} = P_{NCG} - P_{kayıp} \quad (6.14)$$

$$P_{NCG,giriş} = 0,5381 \text{ [bara]} \text{ Yoğuşmayan gazların YB türbin giriş basıncı}$$

$$P_{YB,giriş,buhar} = P_{buhar} - P_{kayıp} \quad (6.15)$$

$$P_{YB,giriş,buhar} = 8,746 \text{ [bara]} \text{ YB buharı YB türbin giriş basıncı}$$

$$h_{YB,giriş,buhar} = 2772 \text{ [kJ/kg]} \text{ YB buharı YB türbine giriş entalpisi}$$

$$h_{YB,giriş,NCG} = 138,4 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right] \text{ Yoğuşmayan gazların YB türbine giriş entalpisi}$$

$$h_5 = 747,6 \text{ [kJ/kg]} \text{ YB seperatörü ayrışma noktası doymuş sıvı entalpisi}$$

$$P_5 = P_{toplam} \quad (6.16)$$

Yüksek basınç türbini çıkış sıcaklığı 100,4 °C, basıncı ise 1,15 bara olarak kabul edilmiştir.

$$T_4 = 100,4 \text{ [C]} \text{ YB türbin çıkış sıcaklığı}$$

$$P_4 = 1,15 \text{ [bara]} \text{ YB türbin çıkış basıncı}$$

$$T_4 = T_{13} \quad (6.17)$$

$$T_4 = T_{14} \quad (6.18)$$

$$P_4 = P_{13} \quad (6.19)$$

$$P_4 = P_{14} \quad (6.20)$$

$$s_{13} = 1,347 \text{ [kJ/kgK]} \text{ YB türbin çıkışı doymuş sıvı entropisi}$$

$$s_{14} = 7,312 \text{ [kJ/kgK]} \text{ YB türbin çıkışı doymuş buhar entropisi}$$

$$x_4 = 0,8858 \text{ YB buharı YB türbin çıkışı kuruluk derecesi}$$

$$h_{13} = 434,2 \text{ [kJ/kg]} \text{ YB türbin çıkışı doymuş sıvı entalpisi}$$

$$h_{14} = 2681 \text{ [kJ/kg]} \text{ YB türbin çıkışı doymuş buhar entalpisi}$$

$$h_{4,s} = h_{13} + x_4(h_{14} - h_{13}) \quad (6.21)$$

$$h_{4,s} = 2425 \text{ [kJ/kg]} \text{ YB türbin çıkışı YB buharı izentropik entalpisi}$$

Yüksek basınç türbini izentropik verimi 0,80 olarak kabul edilmiştir.

$\eta_{t,is,HP} = 0,80$ YB türbini izentropik verimi

$$h_{4,g} = h_{YB,giriş,buhar} - \eta_{t,is,HP} \cdot (h_{YB,giriş,buhar} - h_{4,s}) \quad (6.22)$$

$$h_{4,g} = 2494 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ YB türbin çıkışı YB buharı gerçek entalpisi}$$

$$h_{YB,çıkış,NCG} = 65,78 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ Yoğuşmayan gazların YB türbin çıkış entalpisi}$$

$$\dot{W}_{YB} = \dot{m}_{buhar} \cdot (h_{YB,giriş,buhar} - h_{4,g}) + \dot{m}_{NCG} \cdot (h_{YB,giriş,NCG} - h_{YB,çıkış,NCG}) \quad (6.22)$$

$$\dot{W}_{YB} = 23955 [kW] \text{ YB türbini gücü}$$

6.2.1.2 Orta Basınç Türbini Analizi

Orta basınç seperatörü ayırma sıcaklığı 149,1 °C olarak kabul edilmiştir. Aşağıda bilgileri verilen değerlerden h_7 , h_8 , x_6 , s_6 , s_7 , s_8 , P_{11} , s_{15} , s_{16} , $h_{11,s}$, h_{15} , h_{16} değerleri EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$T_6 = 149,1 [C] \text{ Orta basınç seperatörü ayırma sıcaklığı}$$

$$h_5 = h_6 \quad (6.23)$$

$$P_6 = P_7 \quad (6.24)$$

$$P_6 = P_8 \quad (6.25)$$

$$h_8 = 583,4 [kJ/kg] \text{ OB seperatörü ayırma noktası doymuş sıvı entalpisi}$$

$$x_6 = 0,05638 \text{ OB seperatörü ayırma kuruluk derecesi}$$

$$P_7 = 3,48 [bara] \text{ OB buharı OB türbine giriş basıncı}$$

$$T_6 = T_7 \quad (6.26)$$

$$T_6 = T_8 \quad (6.27)$$

$$h_7 = 2732 [kJ/kg] \text{ OB buharı OB türbine giriş entalpisi}$$

$s_6 = 2,019 \text{ [kJ/kgK]}$ *OB seperatörü ayrışma durumundaki entropisi*

$s_7 = 6,942 \text{ [kJ/kgK]}$ *OB buharı OB türbine giriş entropisi*

$s_8 = 1,725 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$ *OB seperatörde sıvı fazda ayrılan akışkan entropisi*

$$s_7 = s_{11} \quad (6.28)$$

$$\dot{m}_7 = \left(\frac{\dot{m}_1}{1,03} \right) \cdot (1 - x_2) \cdot (x_6) = 36,49 \text{ [kg/s]} \quad \text{OB buharı debisi} \quad (6.29)$$

$$\dot{m}_8 = \dot{m}_5 - \dot{m}_7 \quad (6.30)$$

$\dot{m}_8 = 610,2 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$ *OB seperatörde sıvı fazda ayrılan akışkan debisi*

$P_{11} = 0,05629 \text{ [bara]}$ *Orta basınç türbini çıkış basıncı (kond. basıncı)*

$$P_{15} = P_{11} \quad (6.31)$$

$$P_{11} = P_{16} \quad (6.32)$$

$$T_{11} = T_{16} \quad (6.33)$$

$$T_{11} = T_{15} \quad (6.34)$$

$s_{15} = 0,5051 \text{ [kJ/kgK]}$ *Kondenser basıncındaki doymuş sıvı entropisi*

$s_{16} = 8,352 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right]$ *Kondenser basıncındaki doymuş buhar entropisi*

$x_{11} = \frac{s_{11} - s_{15}}{s_{16} - s_{15}} = 0,8204$ *OB türbin çıkışı kuruluk derecesi*

(6.35)

$$h_{11,s} = h_{15} + (x_{11}) \cdot (h_{16} - h_{15}) \quad (6.36)$$

$h_{11,s} = 2130 \text{ [kJ/kg]}$ *OB türbin çıkışı OB buharı izentropik entalpisi*

$h_{15} = 146,6 \text{ [kJ/kg]}$ *Kondenser basıncındaki doymuş sıvı entalpisi*

$h_{16} = 2565 \text{ [kJ/kg]}$ *Kondenser basıncındaki doymuş buhar entalpisi*

Orta basınç türbini izentropik verimi 0,85 olarak kabul edilmiştir.

$\eta_{t,is,OB} = 0,85$ *OB türbini izentropik verimi*

$$\eta_{t,is,OB} = \eta_{t,is,AB} \quad (6.37)$$

$$h_{11,g} = h_7 - \eta_{t,is,OB} \cdot (h_7 - h_{11,s}) \quad (6.38)$$

$h_{11,g} = 2220 \text{ [kJ/kg]}$ *OB türbin çıkışı OB buharı gerçek entalpisi*

$$\dot{W}_{OB} = m_7 \cdot (h_7 - h_{11,g}) = 18658 \text{ [kW]} \quad (6.39)$$

$$m_{11} = m_7 + m_{10} = 97,34 \text{ [kg/s]} \text{ *Kondensere dökülen çürük buhar debisi*} \quad (6.40)$$

$$m_{16} = m_{10} \cdot (x_{11}) = 49,92 \text{ [kg/s]} \quad (6.41)$$

$$m_{15} = m_{10} - m_{16} = 10,93 \text{ [kg/s]} \quad (6.42)$$

6.2.1.3 Alçak Basınç Türbini Analizi

Alçak basınç seperatörü ayrışma sıcaklığı $112,6^\circ\text{C}$ olarak kabul edilmiştir. Aşağıda bilgileri verilen değerlerden P_{10} , h_{17} , x_9 , s_{17} , h_{10} , s_9 , s_{10} değerleri EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$T_9 = 112,6 \text{ [C]}$ *Alçak basınç seperatörü ayrışma sıcaklığı*

$$h_8 = h_9 \quad (6.43)$$

$P_{10} = 1,1 \text{ [bara]}$ *AB buharı AB türbine giriş basıncı*

$$T_9 = T_{10} \quad (6.44)$$

$$T_9 = T_{17} \quad (6.45)$$

$$P_{17} = P_{10} \quad (6.46)$$

$$P_{10} = P_9 \quad (6.47)$$

$h_{17} = 428,8 \text{ [kJ/kg]}$ *AB seperatörü ayrışma noktası doymuş sıvı entalpisi*

$$s_{17} = 1,333 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \text{ AB seperatörde sıvı fazda ayrışan akışkan entropisi}$$

$$x_9 = 0,04993 \text{ AB seperatörü ayrışma kuruluk derecesi}$$

$$h_{10} = 2679 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ AB buharı AB türbine giriş entalpisi}$$

$$s_{10} = 7,327 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \text{ AB buharı AB türbine giriş entropisi}$$

$$s_9 = 1,632 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \text{ AB seperatörü ayrışma durumundaki entropisi}$$

$$m_{17} = m_8 - m_{10} \quad (6.48)$$

$$m_{17} = 549,3 \left[\frac{kg}{s} \right] \text{ AB seperatörde sıvı fazda ayrışan akışkan debisi}$$

Kızıldere-I Santralinden Gelen Jeotermal Akışkana Ait Termodinamik Analiz

Kızıldere-I santrali tek flaş çevrim esasına göre çalışmaktadır. Kızıldere-I santrali YB separatöründe sıvı fazda ayrışan akışkan boru hattı vasıtasıyla Kızıldere-II JES AB separatörüne taşınarak enerjisinden bir miktar daha faydalanılmaktadır. Kızıldere-I santralinden gelen jeotermal akışkana ilişkin sıcaklık, debi ve basın değerleri işletme verilerine dayanarak alınmıştır. Diğer verilere ilişkin, h_{24} , s_{24} , x_{24} değerleri EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$m_{24} = 312,6 \left[\frac{kg}{s} \right] \text{ Kızıldere – I santralinden gelen jeot. akışkan debisi}$$

$$T_{24} = 113,3 [C] \text{ Kızıldere – I santralinden gelen jeot. akışkan sıcaklığı}$$

$$P_{24} = 1,6 [bara] \text{ Kızıldere – I santralinden gelen jeot. akışkan basıncı}$$

$$h_{24} = 475,4 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ Kızıldere – I santralinden gelen jeot. akışkan entalpisi}$$

$$s_{24} = 1,455 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \text{ Kızıldere – I sant. gelen jeot. akışkan entropisi}$$

$$x_{24} = 0,001334 \text{ Kızıldere – I sant. gelen jeot. akışkan kuruluk derecesi}$$

$$m_{kbu} = m_{24} \cdot (x_{24}) = 0,4171 \left[\frac{kg}{s} \right] \text{ Kızıldere – I sant. gelen buhar debisi} \quad (6.49)$$

OB Türbininden Soğuyan Buhara(Cooling Steam) ait Termodinamik Analiz

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nde OB ve AB türbinleri olarak adlandırılan türbin grubu simetrik vaziyette iki türbinden oluşmaktadır. OB buharı türbin grubuna küçük çaplı kanat kademelerinden girerek genişlemeye başlar. AB buharı ise daha yüksek çaplı kanat kademelerinden türbin grubuna giriş yapar. Bu sebeple küçük çaplı kanat kademelerinden türbin grubuna giren OB buharı soğuyarak büyük çaplı AB buharı giriş bıçak kademelerine doğru hareket eder ve AB türbininin enerji üretimini de katkıda bulunur.

$$m_{sOB} = m_7 \cdot (x_{11}) = 29,94 [kg/s] \text{ OB türbinden soğuyan buhar debisi} \quad (6.50)$$

$$m_{10} = \left(\left(\frac{m_1}{1,03} \right) \cdot (1 - x_2) \cdot (1 - x_6) \cdot (x_9) \right) + m_{kbu} + m_{sOB} \quad (6.51)$$

$$m_{10} = 60,85 [kg/s] \text{ AB türbine giren toplam buhar debisi}$$

$$\dot{W}_{AB} = m_{10} \cdot (h_{10} - h_{11,g}) \cdot (\eta_{t,is,AB}) = 23730 [kW] \text{ AB türbini gücü} \quad (6.52)$$

Flaş Çevrimi Toplam Güç Analizi

$$\eta_{gen} = 0,97 \text{ Generatör verimi}$$

$$\dot{W}_{toplamlam} = (\dot{W}_{YB} + \dot{W}_{OB} + \dot{W}_{AB}) \cdot (\eta_{gen}) \quad (6.53)$$

$$\dot{W}_{toplamlam} = 64353 [kW] \text{ Flaş türbini toplam gücü}$$

6.2.2 Kondenser Ünitesi Termodinamik Analizi

Kondenser ünitesine ilişkin termodinamik hesaplamalarda kullanılan giriş ve çıkış sıcaklık değerleri işletme verilerine dayanarak alınmıştır. Diğer verilere ilişkin, h_{18} ve s_{18} değerleri EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$c_{p,su} = 4,18 [kJ/kgK] \text{ Suyun özgül ısısı}$$

$$T_{11} = 35 [C] \text{ Kondenser sıcaklığı}$$

$T_{18} = 40 [C]$ Soğutma kulesine giden su sıcaklığı

$P_{18} = 1 [bara]$ atmosferik basınç

$h_{18} = 167,5 [kj/kg]$ Soğutma kulesine giden suyun entalpisi

$s_{18} = 0,5724 [kj/kgK]$ Soğutma kulesine giden suyun entropisi

$$m_{steam} = \dot{m}_7 + \dot{m}_{10} - \dot{m}_{SOB} \quad (6.54)$$

$m_{steam} = 67,41 [kg/s]$ Kondensere dökülen toplam akışkan debisi

$$m_{steam} \cdot h_{11,s} + \dot{m}_{12} \cdot c_{p,su} \cdot T_{12} = (m_{steam} + \dot{m}_{12}) \cdot c_{p,su} \cdot T_{18} \quad (6.55)$$

$$\dot{m}_{18} = \dot{m}_{11} + \dot{m}_{12} = 4910 [kg/s] \text{ Soğutma kulesine giden toplam debi} \quad (6.56)$$

6.2.3 Soğutma Kulesi Termodinamik Analizi

Soğutma kulesine ilişkin termodinamik hesaplamalarda kullanılan debi değeri işletme verilerine dayanarak alınmıştır. Diğer verilere ilişkin, h_{12} ve s_{12} değerleri EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$P_{12} = 1 [bara]$ Soğutma suyu kondensere giriş basıncı

$\dot{m}_{12} = 4813 [kg/s]$ Soğutma kulesinden kondensere gelen toplam debi

$h_{12} = 417,5 [kj/kg]$ Soğutma suyu entalpisi

$s_{12} = 1,303 [kj/kgK]$ Soğutma suyu entropisi

6.2.4 Binary Çevrimi Termodinamik Analizi

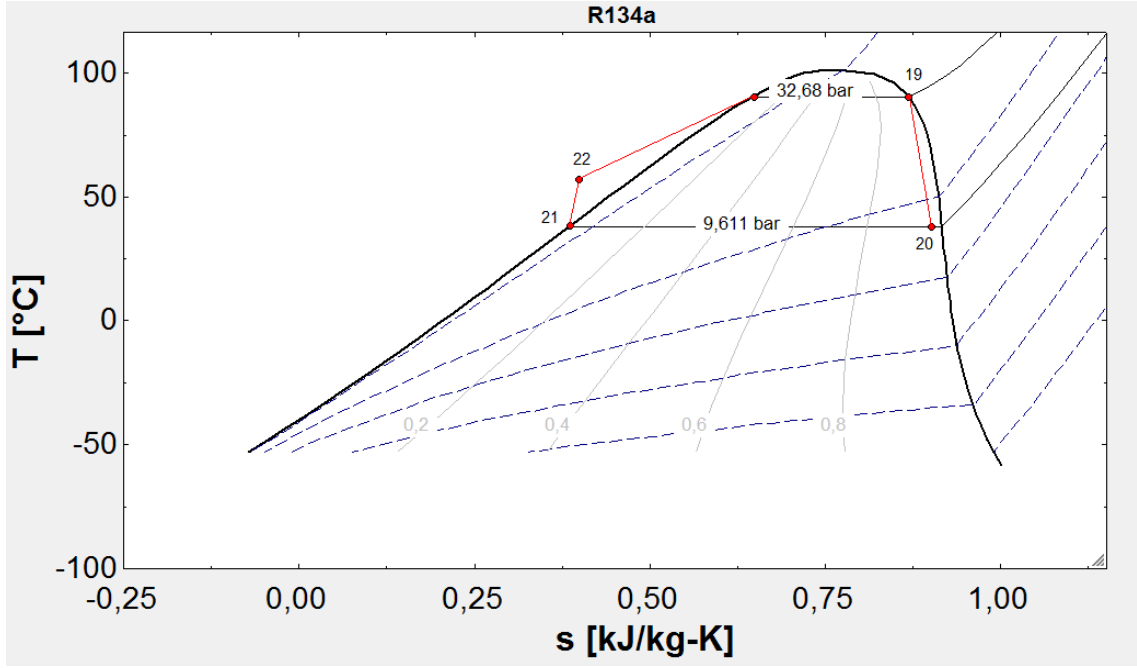
Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nin komple tasarımı ve çevrim tipi seçimi merik kökenli Power Engineers firması tarafından yapılmıştır. Santralin ilk dizayn çalışmalarında yalnızca triple flaş çevrimi kullanılması planlanmış ve santral dizaynı bu doğrultuda yapılmıştır. Akabinde Zorlu Enerji grubunun da tavsiyeleri doğrultusunda flaş çevrimi arkasına literatürde "Bottoming Cycle" olarak da bilinen Binary çevrimi eklenmesi kararı alınmıştır.

Binary çevrimi eklenmesinin en büyük sebeplerinden birisi YB türbin çıkış basınç ve sıcaklıklarının ikincil bir akışkanı ısıtarak turboexpander vasıtası ile ekstra güç elde edilebileceğinin görülmesidir. Ayrıca Kızıldere-I santrali YB separatör çıkışında elde edilen jeotermal akışkanın da direkt olarak reenjeksiyon kuyularına gönderilmek yerine Kızıldere-II JES AB separatörlerine iletilmesi vasıtasıyla bir miktar daha buhar elde edilebileceğinin görülmesidir. Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' ne Binary çevrimi eklenmesi ile ekstra olarak yaklaşık 18 MWe civarında brüt güç üretilmesi sağlanmıştır.

Şekil 6.10' da binary çevrimine ait T-s diyagramı ve EES modellemesinde kullanılan noktalar belirtilmektedir. Numaralandırılan noktalara ait bilgiler aşağıdaki çizelge 6.3' de tanımlanmaktadır.

Çizelge 6.3 Binary çevrim dizaynında kullanılan noktalara ait tanımlamalar

Nokta Numarası	Tanım
19	İkincil akışkanın binary türbine giriş noktası
20	İkincil akışkanın binary türbinden çıkış noktası
21	İkincil akışkanın binary kondenserden çıkış noktası
22	İkincil akışkanın feed pump çıkış noktası
23	İkincil akışkanın preheater ve evaporatör arasındaki geçiş noktası
24	Kızıldere-I santralinden gelen jeotermal akışkan noktası
25	Reenjeksiyon noktası



Şekil 6.10 Binary çevrimi T-s diyagramı

Binary ünitesine ilişkin termodinamik hesaplamalarda kullanılan giriş ve çıkış basınç ve sıcaklık değerleri işletme verilerine dayanarak alınmıştır. Diğer verilere ilişkin, h_{19} , s_{19} , x_{19} , h_{20} , s_{20} , x_{20} , h_{21} , s_{21} , x_{22} , s_{22} , h_{22} , x_{23} , h_{23} , s_{23} , h_{25} , s_{25} değerleri EES programı vasıtasıyla hesaplanmıştır.

$$P_{19} = 32,68 \text{ [bara]} \quad \text{İkincil akışkanın binary türbine giriş basıncı}$$

$$T_{19} = 90,3 \text{ [C]} \quad \text{İkincil akışkanın binary türbine giriş sıcaklığı}$$

$$h_{19} = 276,9 \text{ [kJ/kg]} \quad \text{İkincil akışkanın binary türbine giriş entalpisi}$$

$$s_{19} = 0,9518 \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right] \quad \text{İkincil akışkanın binary türbine giriş entropisi}$$

$$x_{19} = 1 \quad \text{İkincil akışkanın binary türbine giriş kuruluk derecesi}$$

$$\dot{m}_{19} = 523,1 \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad \text{İkincil akışkanın debisi}$$

$$\dot{m}_{19} = \dot{m}_{20} \quad (6.57)$$

$$P_{20} = 9,611 \text{ [bara]} \quad \text{İkincil akışkanın binary türbin çıkış basıncı}$$

$$T_{20} = 37,87 \text{ [C]} \quad \text{İkincil akışkanın binary türbin çıkış sıcaklığı}$$

$$h_{20} = 261,7 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ İkincil akışkanın binary türbin çıkış entalpisi}$$

$$s_{20} = 0,8883 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \text{ İkincil akışkanın binary türbin çıkış entropisi}$$

$$x_{20} = 0,9477 \text{ İkincil akışkanın binary türbin çıkışı kuruluk derecesi}$$

$$\dot{W}_{binary,gross} = 2x(\dot{m}_{19}) \cdot (h_{19} - h_{20}) \quad (6.58)$$

$$\dot{W}_{binary,gross} = 15922 [kW] \text{ Binary çevrimi toplam gücü}$$

$$\eta_{th,binary} = 1 - \left(\frac{h_{20} - h_{21}}{h_{19} - h_{22}} \right) = 0,06969 \quad (6.59)$$

Binary Kondenserli Termodinamik Analizi

$$P_{21} = P_{20} \quad (6.60)$$

$$T_{21} = 37,34 [C] \text{ Binary kondenser çıkış sıcaklığı}$$

$$x_{21} = 0$$

$$h_{21} = 104,3 [kJ/kg] \text{ Binary kondenser çıkış entalpisi}$$

$$s_{21} = 0,385 [kJ/kg] \text{ Binary kondenser çıkış entropisi}$$

$$\dot{m}_{21} = \dot{m}_{19} \quad (6.61)$$

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_{19} \cdot (h_{20} - h_{21}) \quad (6.62)$$

$$\dot{Q}_c = 82318 [kW] \text{ Binary kondenserde meydana gelen ısı alışverişi}$$

Feed Pump (İkincil Akışkan Besleme Pompası) Termodinamik Analizi

$$P_{22} = 34,47 [bara] \text{ Feed pump çıkış basıncı}$$

$$T_{22} = 39,65 [C] \text{ Feed pump çıkış sıcaklığı}$$

$$x_{22} = 0 \text{ Feed pump çıkış kuruluk derecesi}$$

$$h_{22} = 107,7 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ Feed pump çıkış entalpisi}$$

$$s_{22} = 0,6617 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \text{ Feed pump çıkış entropisi}$$

$$\dot{m}_{22} = \dot{m}_{19} \quad (6.63)$$

$$\dot{W}_p = \dot{m}_{19} \cdot (h_{22} - h_{21}) = 1795 [kW] \text{ Besleme pompası gücü} \quad (6.64)$$

Preheater (Ön Isıtıcı) Termodinamik Analizi

$$P_{23} = 33,51 [bara] \text{ Preheater çıkış basıncı}$$

$$T_{23} = 43,57 [C] \text{ Preheater çıkış sıcaklığı}$$

$$x_{23} = 0 \text{ Preheater çıkış kuruluk derecesi}$$

$$h_{23} = 113,6 \left[\frac{kJ}{kg} \right] \text{ Preheater çıkış entalpisi}$$

$$s_{23} = 0,6528 \left[\frac{kJ}{kgK} \right] \text{ Preheater çıkış entropisi}$$

$$\dot{m}_{23} = \dot{m}_{19} \quad (6.65)$$

$$\dot{Q}_{PH} = \dot{m}_{19} \cdot (h_{23} - h_{22}) \quad (6.66)$$

$$\dot{Q}_{PH} = 3079 [kW] \text{ Preheaterde meydana gelen ısı alışverişi}$$

Evaporatör Termodinamik Analizi

$$\dot{Q}_E = \dot{m}_{19} \cdot (h_{19} - h_{23}) \quad (6.67)$$

$$\dot{Q}_E = 85405 [kW] \text{ Evaporatörde meydana gelen ısı alışverişi}$$

6.2.5 Kombine Çevrimin Toplam Güç Analizi

$$\dot{W}_{komb} = \dot{W}_{toplamlam} + \dot{W}_{binary,gross} \quad (6.68)$$

$$\dot{W}_{komb} = 80276 [kW] \text{ Kombine çevrim santrali toplam gücü}$$

Kombine Çevrim Santrali I.Yasa Verimi

$$T_0 = 25 [C] \text{ Ölü durumdaki sıcaklık}$$

$x_0 = 0$ Ölü durumdaki kuruluk derecesi

$h_0 = 104,8 \text{ [kJ/kg]}$ Ölü durumdaki entalpi

$\dot{Q}_{in} = 666904 \text{ [kW]}$ Giren toplam enerji

$$\eta_{th,komb\text{çevrim}} = \frac{\dot{W}_{komb}}{\dot{Q}_{in}} = 0,1204 \text{ Kombine çevrim santrali ısı verimi} \quad (6.69)$$

Kombine Çevrim Santrali II.Yasa Verimi

$s_0 = 0,3672 \text{ [kJ/kgK]}$ Ölü durumdaki entalpi

$\dot{E}_{giren} = 164235 \text{ [kW]}$

$$\eta_{II,komb\text{çevrim}} = \frac{\dot{W}_{komb}}{\dot{E}_{giren}} = 0,4888 \text{ Kombine çevrim santrali II.yasa verimi} \quad (6.70)$$

Çizelge 6.4 Santral temel noktalarının matematiksel değerleri

Temel Noktalar	Sıcaklık (T) (°C)	Basınç (P) (bara)	Debi (m) (kg/s)	Entalpi (h) (kJ/kg)	Entropi (s) (kJ/kg K)
0	25	1	--	104,8	0,3672
1	226	25,98	749,5	971,4	2,573
2	176,5	10,28	749,5	971,4	2,978
3(Buhar)	176,5	8,746	80,36	2772	6,631
3(NCG)	176,5	1,038	22,48	138,4	6,631
4	100,4	1,15	102,9	2494	6,631
5	176,5	10,28	646,6	747,6	2,15
6	149,1	3,48	36,49	747,6	2,019
7	149,1	3,48	36,49	2732	6,942
8	149,1	3,48	610,2	583,4	1,725
9	112,6	1,1	610,2	583,4	1,632

Çizelge 6.4 Santral temel noktalarının matematiksel değerleri (devamı)

10	112,6	1,1	60,85	2679	7,327
11	35	0,05629	97,34	2220	6,942
12	37,25	1	4813	417,5	1,303
13	100,4	1,15	---	434,2	1,347
14	100,4	1,15	---	2681	7,312
15	35	0,05629	10,93	146,6	0,5051
16	35	0,05629	49,92	2565	8,352
17	112,6	1,1	549,3	428,8	1,333
18	40	1	4910	167,5	0,5724
19	90,3	32,68	523,1	276,9	0,9518
20	37,87	9,611	523,1	261,7	0,8883
21	37,34	9,611	523,1	104,3	0,385
22	39,65	34,47	523,1	107,7	0,6617
23	43,57	33,51	523,1	113,6	0,6528
24	113,3	1,6	312,6	475,4	1,455

6.3 Çevrim Parametrelerinin Santral Performansına Etkisi

6.3.1 Kondenser Basıncının Santral Performansına Etkisi

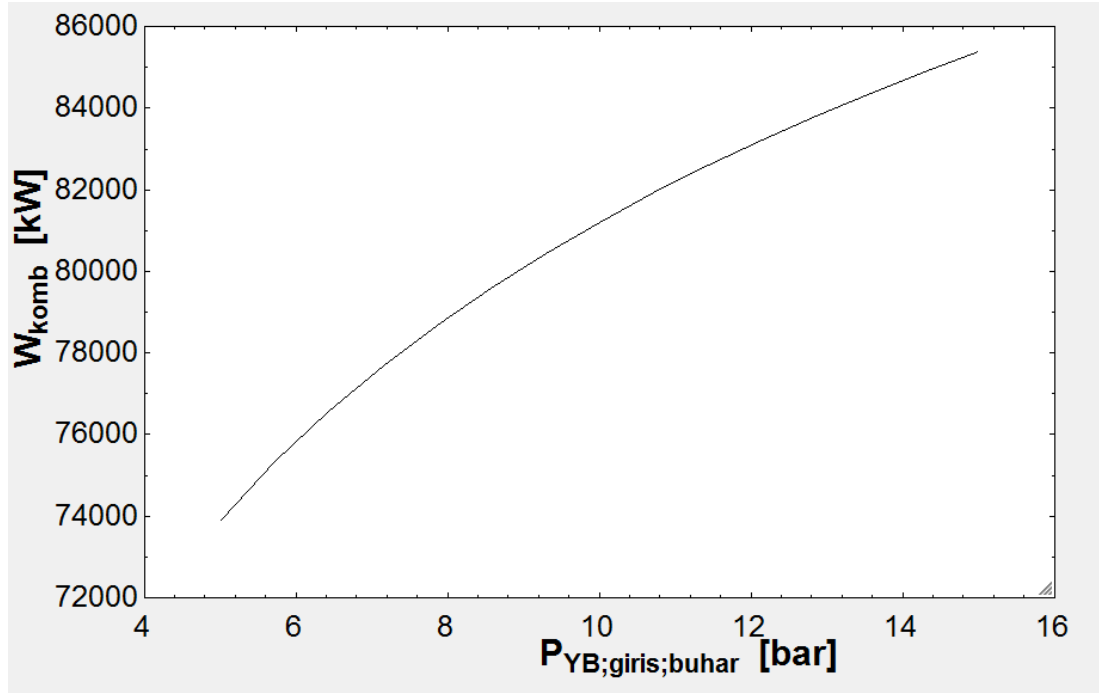
Kondenser basıncının santral performansına etkisi oldukça fazladır. Kondenser basıncının düşürülmesinde dikkat edilmesi gereken husus jeotermal akışkanın belirli bir kuruluk derecesinin altında bırakılmamasıdır. Kuruluk derecesi türbin imalatçı firmasının standartları ve belirlediği değerler altına düşürüldüğünde özellikle OB/AB türbin grubunun son kademe kanatlarında korozyon meydana gelmektedir. Bu sebeple kondenser basıncı belirli bir seviyenin altına indirilmemelidir.

Çizelge 6.5 ve Şekil 6.11’ de 0,01 - 1 bara aralığında kondenser basıncının santral performansına etkisi görülmektedir.

Çizelge 6.5 Kondenser basıncının santral performansına etkisi

Kondenser Basıncı (P) (bara)	Kombine Çevrim Gücü (kW)
0,01	92321
0,06211	79019
0,1142	73921
0,1663	70579
0,2184	68053
0,2705	66007
0,3226	64278
0,3747	62776
0,4268	61445
0,4789	60247
0,5311	59157
0,5832	58155
0,6353	57227
0,6874	56362
0,7395	55552
0,7916	54789
0,8437	54068
0,8958	53384
0,9479	52733
1	52112

Kondenser basıncını optimum düzeyde tutabilmek için Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali'nde 2 adet vakum kompresörü ve ejektörlerden oluşan yoğuşmayan gaz alma sistemi bulunmaktadır. Yoğuşmayan gaz alma sistemleri kondenser basıncının belirlenmesinde ve santralin performansında bu sebeple oldukça etkili ekipmanlardır.



Şekil 6.11 Kondenser basıncı-kombine çevrim gücü grafiği

6.3.2 YB Türbini Giriş Basıncının Santral Performansına Etkisi

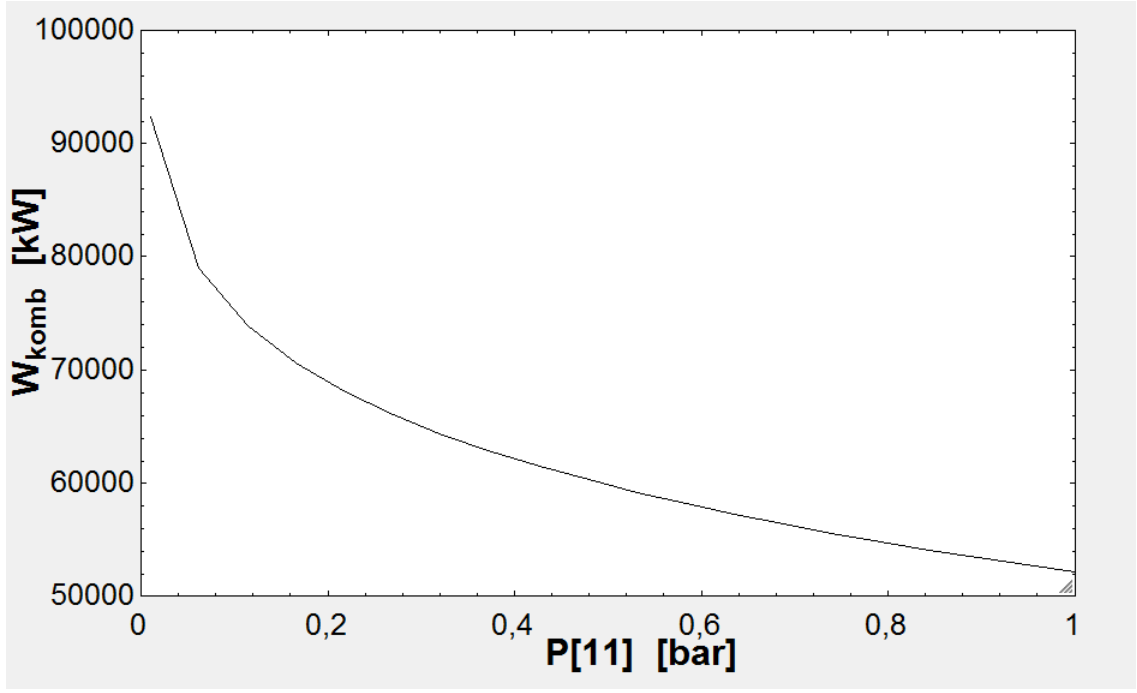
Jeotermal enerji santrallerinde üretim kuyularının rezervuara bağlı olarak farklı basınç değerleri bulunmaktadır. Üretim kuyularının sondajlarının tamamlanması akabinde gerçekleştirilen akış testlerinde her kuyunun dinamik ve statik sıcaklık ve basınçları ile birlikte hangi basınç değerinde ne kadar debide akışkanın elde edilebileceği belirlenmektedir. Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali üretim kuyularında gerçekleştirilen testlerde kuyuların kontrol vanasından sonraki optimum basıncı 12 bara seviyelerinde bulunmuştur. Bu basınç değeri, jeotermal akışkan santralin anahatları ve oradan da separatörlere ulaşana kadar boru hattındaki basınç kayıpları sebebiyle 10,5 bara seviyesine kadar düşmektedir. Seperasyon sahasında ve akabinde buhar türbine ulaşana kadar devam eden basınç kayıpları neticesinde güncel santral verilerine dayanarak YB buharı yaklaşık 8,5 bara seviyesinde YB türbinine girmektedir.

Çizelge 6.5 ve Şekil 6.12’ de YB buharının YB türbinine giriş basıncının kombine çevrim gücüne etkisi 5-15 bara aralığında gösterilmektedir.

Çizelge 6.6 YB buharı giriş basıncının çevrim gücüne etkisi

YB Buharı Giriş Basıncı (bara)	Kombine Çevrim Gücü (kW)
5	73915
5,714	75328
6,429	76573
7,143	77683
7,857	78685
8,571	79597
9,286	80433
10	81205
10,71	81921
11,43	82589
12,14	83215
12,86	83802
13,57	84356
14,29	84879
15	85375

Çizelge 6.6’ den de görülebileceği üzere YB buharının basıncı arttıkça kombine çevrim performansına da artmaktadır. Fakat daha önce de belirtildiği üzere Kızıldere sahasındaki üretim kuyularında belirlenen optimum basınç değeri kuyubaşı kontrol vanasından sonra yaklaşık 12 bara seviyesindedir.



Şekil 6.12 YB buharı giriş basıncı-kombine çevrim gücü grafiği

BULGULAR VE SONUÇLAR

Bu çalışmada, Türkiye' nin en yüksek sıcaklıklı jeotermal rezervuarlarından biri olan Kızıldere sahasında kurulan Türkiye' nin ilk jeotermal enerji santrali olan Kızıldere-I Jeotermal Enerji Santrali' nden bahsedilmiş, santralin ve ruhsat sahasının 2008 yılında Zorlu Enerji Grubu' na devredilmesiyle birlikte gerçekleştirilen geliştirme çalışmaları ve akabinde 2013 yılında devreye alınan Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nin EES programı vasıtasıyla modellemesi yapılarak performans analizi gerçekleştirilmiştir.

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali Triple Flaş+Binary kombine çevrim tipine sahip Türkiye' nin ilk ve tek jeotermal enerji santralidir. Dünyada ise sayılı kombine çevrim santral tiplerinden birisidir. Türkiye' nin tek başına kurulu güç bakımından en yüksek brüt üretimine sahip jeotermal enerji santralidir.

Bu çalışmada, Türkiye' de ilk defa kurulan ve Triple Flaş+Binary çevrim tipine göre çalışan santralin termodinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Türkiye' nin jeotermal enerji potansiyeli dikkate alındığında, bu tez çalışmasının ülkenin gelecekteki santral yatırımlarına referans olması amaçlanmıştır.

Tez çalışması neticesinde elde edilen birinci ve ikinci yasa verimleri ile literatür çalışmalarında hesaplanan değerler karşılaştırıldığında, Kızıldere-II santralinin mevcut kullanımda bulunan teknolojilerden daha yüksek verimlilikle çalıştığı görülmektedir.

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali' nin kombine çevrim olarak dizayn edilmesinde en büyük etken YB türbinden çıkan çürük buharın sıcaklık ve entalpisinin binary çevriminde ikincil bir akışkanı buharlaştırmak için yeterli olduğunun görülmesidir.

Ayrıca Kızıldere-I santrali YB separatöründen ayrılan sıvı fazdaki akışkanın da Kızıldere-II JES AB separatörlerine gönderilerek bir miktar daha buhar elde edilebileceği görülmüştür.

Triple flaş çevrimine binary çevriminin eklenmesi ilk yatırım maliyetlerini arttırmasına rağmen uzun vadede elde edilecek ekstra güç ve elektriğin satışıyla kendisini kısa sürede amorti edebilmektedir.

Jeotermal santrallere entegre edilebilen karbondioksit gazı işleme tesisleri vasıtasıyla yoğunlaşmayan gazların ekonomiye kazandırılması da mümkün olabilmektedir. Kızıldere-I santrali, halihazırda yakınında bulunan bir karbondioksit işleme tesisine karbondioksit gazı temin ederek santralin kendi gelirine de katkı sağlamaktadır. Kızıldere-II santrali de 2015 yılı sonlarına doğru aynı işleme tesisine karbondioksit iletmeye başlamış ve bu satıştan gelir elde etmektedir. Bu sayede hem santral yatırımcısı kazanç sağlamakta hem de karbondioksiti işleyip kuru buz halin getiren ya da gazlı içecek firmalarına satan şirket de bu gazdan gelir elde etmektedir. Yoğunlaşmayan gazların ticari hayata kazandırılmasının yanı sıra, çevreye salınmaması da küresel ısınma gibi çağımızın en büyük problemlerinden birinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Türkiye ve dünyadaki elektrik üretim santrallerine bakıldığında, jeotermal enerji santralleri MWe başına gerekli olan ilk yatırım maliyetleri açısından en yüksek seviyelerde bulunmaktadır. Dünyanın pek çok ülkesinde ve Türkiye’ de yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı ve elektrik üretimine ilişkin yönetmelikler ve teşvikler düzenlenmektedir. Ülkemizde yürürlükte bulunan YEKDEM kanunu uyarınca jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi üretimi desteklenmekte ve elektrik satışı günümüz itibarı ile 0,105 dolar/kWh seviyelerinden yapılmaktadır. Devletin bu hususta 10 yıl süre ile alım garantisi bulunmaktadır. Bu teşvik sayesinde Türkiye’ de jeotermal santral yatırımlarında hızlı bir artış yaşanmış ve ülkenin jeotermale dayalı kurulu gücü artırılmıştır. Kızıldere-II JES yatırım ve işletmecisi Zorlu Enerji Grubu da dahil olmak üzere pek çok şirket jeotermal yatırımlarına hızla devam etmektedir.

Jeotermal santral yatırımlarında en büyük bütçe kalemini sondaj masrafları oluşturmaktadır. Rezervuar koşullarına göre değişmekle birlikte günümüzde Kızıldere sahasında yaklaşık 3500 metre derinliğe kadar sondajlar yapılmaktadır. Sondaj derinliği

arttıkça sondaj maliyetleri ve dolayısıyla ilk yatırım maliyetleri de artmaktadır. Sondaj maliyetlerini azaltmanın en etkili yöntemlerinden birisi rezervuarın iyi bir şekilde etüt edilmesidir. Dünya üzerinde yapılan sondajların ne yazık ki hepsi başarılı bir şekilde sonuçlanmamaktadır. Pek çok yatırımcı iyi bir rezervuar çalışması yapmadan sondaj noktalarını belirleyerek sondaj operasyonuna başlamaktadır. Bu da başarısızlık oranını artırmaktadır.

Jeotermal santral yatırımlarında en büyük bütçe kalemlerinden birisi de ana ekipmanların seçimi ve doğru santral tipinin kullanılmasıdır. Rezervuar koşulları, sıcaklık, entalpi, basınç ve debi değerleri dikkatle irdelenerek santral çevrim tipine karar verilmelidir. Santral çevrim tipinin belirlenmesi akabinde de doğru ekipman seçimi oldukça büyük bir önem arz etmektedir. Ekipman seçiminde tecrübeli yatırımcılar büyük bir çoğunlukla doğru ekipman seçimi yapmakta ve yatırım maliyetlerini azaltmaktadırlar.

Santral yatırımcısını büyük ölçüde etkileyen bir diğer faktör ise santral inşaatı ve BOP (Balance of Plant) ekipmanları olarak bilinen santrale ait diğer yardımcı ekipmanların seçimi ve montajıdır. Santralde kullanılan vanalar, enstrümanlar, borular vb. BOP ekipmanlarını oluşturmaktadır. Santralin işletme dönemi boyunca sağlıklı bir şekilde çalışması ve emre amadeliği ile güvenilirlik oranını artırmak için BOP ekipmanlarının seçimi, kalitesi ve doğru montajı oldukça önemlidir.

Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali'nde kullanılan ekipmanlar yüksek kalite ile tedarik edilmiş olup özellikle imalatçı ülke ve kalite standartlarına üst düzey önem verilmiştir. Ekipman tedariği hususunda hazırlanan tüm şartnameler santralin 30 yıl boyunca sorunsuz bir şekilde çalışacağı baz alınarak oluşturulmuş ve tedarikçilerin bu doğrultuda malzeme seçimi yapması sağlanmıştır.

Bu çalışmada EES programı kullanılarak santralin termodinamik analizi gerçekleştirilmiştir. Jeotermal santral dizaynında en büyük problem, akışkanın sıvı, buhar ve yoğuşmayan gaz olmak üzere 3 farklı halde madde içermesidir. Özellikle yoğuşmayan gazların santral performansı ve dizaynı üzerinde etkisi oldukça fazladır. Özellikle YB türbin girişinde yoğuşmayan gazların ihmal edilerek akışkanı tamamen buhar fazında su olarak kabul etmek dizaynda yüksek hata oranlarına sebep

olmaktadır. Bu tez çalışmasında yoğuşmayan gazların YB türbinine girişi ihmal edilmeyerek santral dizaynı yapılmıştır. OB ve AB türbinlerinde giren yoğuşmayan gaz oranları oldukça düşük olduğu için OB/AB türbin grubuna girişte yoğuşmayan gazlar ihmal edilmiştir.

Kızıldere-II JES dizaynını gerçekleştiren Power Engineers firmasının kullanmış olduğu bilgisayar programı doğrultusunda kombine çevrim santral gücünün brüt toplam 80276 kW olacağı hesaplanmıştır. Bu tez çalışmasında kullanılan EES programı ile bulunan toplam brüt güç ise 79808 kW olarak belirlenmiştir. Değerler karşılaştırılığında arada küçük bir fark bulunduğu açıkça görülmektedir.

Türbin üretici firmaları kendi bünyelerinde geliştirmiş oldukları yeni teknolojiler ve türbin dizaynları ile basit programlarla hesaplanan değerlerden daha fazla güç üretimini garanti edebilmektedir. Türbin seçiminde garanti edilen brüt güç üretimi oldukça büyük önem kazanmaktadır. Günümüz teşvik rakamı olan 0,105 dolar/kWh göz önüne alındığında 1 kWh' lik fazla güç üretimi dahi oldukça etkili kalmaktadır.

Bu tez çalışmasında kondenser basıncının kombine çevrim gücüne etkisi grafik ve tablolarla belirlenmiştir. Kondenser basıncının düşmesiyle brüt güç üretiminin artışı ortaya konulmuştur. Daha önceki kısımlarda da belirtildiği üzere kondenser basıncının belirli bir seviyenin altında kalmasına izin verilmez. Bunun en büyük sebebi kondenser basıncı düştükçe OB/AB türbin grubundan çıkışta kuruluk derecesinin düşmesidir. Kuruluk derecesi türbin dizaynının altına düşürüldüğünde, özellikle son kanat kademelerinde korozyon ve aşınmalara sebep olmaktadır.

Kondenser basıncının düşürülmesinde etkili olan bir diğer faktör ise yoğuşmayan gazların miktarıdır. Yoğuşmayan gazlar yeterli seviyede tahliye edilmez ise kondenser içerisinde bir karşı basınç oluşturarak verimin düşmesine sebep olurlar. Yoğuşmayan gaz alma sistemleri rezervuar koşullarına ve kaynak şartlarına göre çeşitli kombinasyonlarla tedarik edilmelidir. Kızıldere sahası dünya üzerinde yoğuşmayan gaz oranı en yüksek sahalardan birisidir. Bu sebeple santral dizaynında ilk etapta bir vakum kompresörü ve ona entegre ejektör sistemi kullanılması planlanmıştır. Santral işletmeye alındıktan sonra rezervuar şartlarındaki değişkenlikler ile birlikte

yoğuşmayan gaz alma sistemi yetersiz kalmış ve 1 adet daha vakum kompresörü sisteme entegre edilmiştir.

Bu tez çalışmasında, YB buharının yüksek basınç türbinine giriş basıncının santral performansı üzerine etkisi de tablolar ve çizelgeler ile belirlenmiştir. YB buharının YB türbine giriş basıncının artmasıyla birlikte brüt güç üretiminin de doğrusal oranda arttığı belirlenmiştir. Yüksek basınç buharının basıncının artırılmasında da belirli kıstaslar bulunmaktadır. En önemli kıstas üretim kuyularının optimum basınç değerlerinin belirlenmesidir.

Jeotermal saha üzerinde tamamlanan sondajlar neticesinde kısa dönem akış testleri gerçekleştirilmektedir. Bu testler sayesinde kuyulara ait dinamik ve statik sıcaklık ve basınçlar belirlenmektedir. Kuyuların hangi basınç değerinde maksimum debiyi verebileceği belirlenmektedir. Kızıldere sahasında gerçekleştirilen testler neticesinde bu değer kuyubaşı kontrol vanasından sonra yaklaşık 12 bara olarak belirlenmiştir. Boru hatlarında ve seperasyon sahasında meydana gelen basınç kayıpları sebebiyle bu değer yüksek basınç türbini girişinde 1-2 bara daha düşmektedir. Bu sebeple Kızıldere sahasında daha yüksek basınçta buhar elde edilmesine izin verilmemektedir.

Kızıldere sahasında rezervuar geliştirme çalışmaları hızla sürdürülmekte olup Aralık 2015 tarihi itibarıyla Kızıldere-III Jeotermal Enerji Santrali' nin inşaat çalışmalarına başlanması planlanmaktadır. Sahada sondaj çalışmaları devam etmekte olup, yenilenebilir ve milli servetimiz olan bu kaynaktan maksimum seviyede faydalanılmaya çalışılmaktadır.

Türkiye' nin jeotermal potansiyeli dikkate alındığında, dışa bağımlılığın azaltılması için, yenilenebilir enerji kaynaklarına ve özellikle jeotermal kaynakların kullanımına oldukça büyük bir önem verilmektedir. Özel sektör eliyle pek çok yatırım gerçekleştirilmiş olup yeni sahalar keşfedilmekte ve yeni santral yatırımları planlanmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Ünverdi, M., (2011). Germencik Jeotermal Santralinin Performans Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [2] Atalay, Ö., (2004). Jeotermal Sistemlerin Ekserji Analizi Kızıldere Örneği, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Denizli.
- [3] Yıldırım, D., (2011). Bir Jeotermal Güç Santralinin 2.Yasa ve Eksergoekonomik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [4] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Jeotermal Enerji Doğası ve Dağılımı, http://www.eie.gov.tr/yenilenebilir/jeo_dogasi_ve_kullanimi.aspx, 11 Ağustos 2015.
- [5] Korkmaz Başel, E. D. , (2010). Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyelinin Araştırılması, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Çınar Mühendislik Müşavirlik ve Proje Hizmetleri Ltd. Şti., Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali Proje Tanıtım Dosyası Raporu, Zorlu Doğal Elektrik Üretimi A.Ş. için, Ekim 2009.
- [7] Türkiye Elektrik İletim Anonim Şirketi, Yük Tevzi Dairesi Başkanlığı, www.teias.gov.tr, 10 Kasım 2015.
- [8] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Haritalar, www.mta.gov.tr, 11 Ekim 2015.
- [9] Satman A.,(2007). İTÜ Görüşü, Türkiye’de Enerji ve Geleceği, İstanbul.
- [10] Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, 2016 Yılı Nihai YEK Listesi, www.epdk.gov.tr, 10 Aralık 2015.
- [11] Sür, Ö., (1970). “Jeotermal Enerji”, Ankara Üniversitesi Dil ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi, 28 : 1-37.
- [12] Bertani, R., (2015). “Geothermal Power Generation in the World 2010-2014 Update Report”, Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne.
- [13] Di Pippo, R., (2012). Geothermal Power Plants: Principles, Applications, Case Studies and Environmental Impact, 3. Baskı, USA.

- [14] Yalçinkaya, R., (2012). Jeotermal Kaynaklı Güç Üretim Sisteminin Termodinamik Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [15] Dağdaş, A., (2005). "Performance Analysis of Single Flash Geothermal Power Plants", Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, 2 : 64-72.
- [16] Çoşkun, A., (2011). Türkiye' deki Jeotermal Kaynaklar için Güç Santrallerinin Termodinamik Analizi ve Optimizasyonu, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [17] Serpmen, Ü. ve Türkmen, N., (2007). "Kızıldere Jeotermal Santralinin 23 yıllık Performanslarının Değerlendirilmesi", Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Semineri, 25-28 Ekim 2007, İzmir.
- [18] Şimşek, Ş. ve Parlaktuna, M. ve Akin, S., (2009). Data Gathering and Evaluation of Kızıldere Geothermal Field prepared for Zorlu Energy, Ankara.
- [19] Simsek, S., Yıldırım.N. and Gulgor, A. (2005). "Developmental and Environmental Effects of the Kızıldere Geothermal Power Project", Turkey, Published by Elsevier Geothermics 34, 234-251.
- [20] Denizli Kızıldere Jeotermal Sahası Jeofizik Değerlendirme Raporu, C-A Petrol Danışmanlık Hiz. San. Tic. Ltd. Şti., Zorlu Enerji için, 2009.
- [21] Ichikawa, S., Yasuga, H., Tosha, T., Karasawa, H., (2000). "Development of Downhole Pump for Binary Cycle Power Generation Using Geothermal Water, Proceedings WGC 2000", May 28-June 10, Kyushu- Tohoku Japan.
- [22] Rogers Eng. Co., Kizildere Geothermal Power Plant Feasibility Study and Preliminary Cost Estimate Report to UNDP Geothermal Energy Survey of W. Anatolia S. Fransisco, USA, 1972.
- [23] Shigeto, Y. ve Yutaka, T. ve Toshie, M., (2015). "Unique Steam Turbine for Kizildere Geothermal Power Plant in Turkey", Fuji Electric Co., Proceedings World Geothermal Congress 2015, Japan.
- [24] Yıldırım Özcan, N., ve Gökçen, G., (2007). "Yoğuşmayan Gazların Jeotermal Santral Performansına Etkisi: Kızıldere Jeotermal Santrali", Jeotermal Enerjiden Elektrik Üretimi Semineri, 25-28 Ekim 2007, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Ural HALAÇOĞLU
Doğum Tarihi ve Yeri : Balıkesir/24.05.1989
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : uralhalacoglu@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Enerji	Yıldız Teknik Üniversitesi	2015
Lisans	Makine Müh.	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lise	Fen	Kuleli Askeri Lisesi	2008

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2013	Zorlu Enerji Grubu	Proje Geliştirme Kıdemli Uzmanı
2012	Sander Mimarlık	İthalat/İhracat Sorumlusu

YAYINLARI

Bildiri

1. Halaçoğlu, U., (2015). “Kızıldere-II Jeotermal Enerji Santrali’ nin Performans Analizi”, III.Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu, 4-6 Kasım 2015, Ankara.