

TÜRKİYE'NİN BATISINDAKİ JEOTERMAL SAHALAR İÇİN JEOTERMAL GÜÇ SANTRALLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Dan BATSCHA

ÖZET

Bu makalede, Türkiye'nin batısında kurulmuş olan jeotermal güç santrallerinin ve sahaların verileri kullanılarak, çözümler tartışılacaktır. Analizde, tek buharlaştırıcı, çift buharlaştırıcı, basit çift çevrimli ORC, iki kademeli çift çevrim ve iki fazlı çift çevrim santraller karşılaştırılacaktır. Entalpi derecesinin yanısıra, kondanase olmayan gazların (NCG) ve kabuklaşma sorunlarının santral tipi seçimi ve performansı üzerine etkisi tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Türkiye, Organik Rankin Çevrimi, Ormat

ABSTRACT

In this paper, solutions to utilize the geothermal energy of geothermal fields in Western Turkey using data of these fields and the installed power generation facilities will be discussed. The analysis will compare between the single flash technology, double flash, simple binary ORC, two-level binary and two-phase binary plants. Beside the degree of enthalpy, the paper will also investigate how non-condensable gases (NCG) and scaling problems affect the selection of the power plant type and its performances.

Keywords: Geothermal, Turkey, Organic Rankine Cycle, Ormat

1. GİRİŞ

1.1 Jeotermal Sahalar

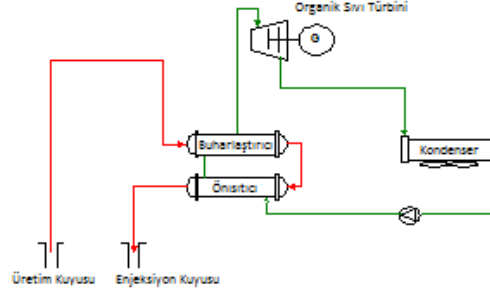
Jeotermal enerji potansiyeline göre jeotermal sahalara düşük, orta ve yüksek entalpili olarak sınıflandırılabilir:

Düşük entalpili sahalarda (600-700 kJ/kg) sıcak su rezervuardan yüzeye kadar pompa ile veya artezyen (kendiliğinden akış) çıkar. Akışkan tek fazda su olarak kalabilir veya iki faza buharlaştırılarak sıcak su ve buhar olarak ayrıştırılabilir. Orta (600-1,100 kJ/kg) veya yüksek entalpili (1,000 -1,100 kJ/kg) rezervuarlar, genellikle iki fazlı ve artezyen olarak yüzeye çıkarlar ve sonra buhar ve sıcak su olarak ayrıştırılır. Genellikle tüm jeotermal rezervuar bir miktar kondanase olmayan gazlara sahiptir.

1.2 Jeotermal Güç Santralleri

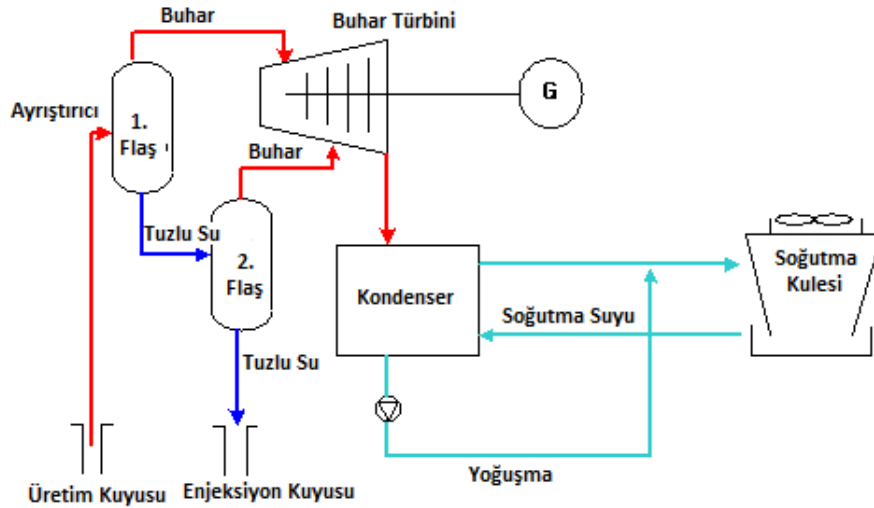
Çift çevrimli bir santralde bütün enerji dönüşümü direkt olarak ana ısı kaynağı ile değil, ikincil bir sıvı ile gerçekleştirilir. Genel olarak çift çevrimli santraller iki döngüden oluşan Organik Rankin Çevrim (ORÇ) sistemleri olarak kurulurlar – biri ısıyı ileten jeotermal akışkan, diğeri de ısıyı alıp kullanılabilir

enerjiye dönüştüren aracı akışkandır ve kapalı çevrimde bulunmaktadır. ORÇ' nin hareketlendirici akışkanı genellikle hidrokarbondur. Çift çevrim, düşük ve orta entalpili veya yüksek kondanse olmayan gazların bulunduğu kaynaklarda veya jeotermal kaynağın soğutulmasının herhangi bir sınırlamaya maruz kaldığı ortamlarda oldukça popülerdir. Güç çıkışı onlarca kW ile yüzlerce MW arasında olabilir.



Şekil 1. Basit Çift Çevrim ORC Santrali

Flaş tipi buhar çevrimlerinde, basıncı düşürülerek buhara dönüştürülen jeotermal akışkan hareketlendirici akışkan görevini görür. Flaş tipi buhar çevrimleri orta ve yüksek entalpili jeotermal kaynaklarda çok popülerdirler ve dünya çapında 15 MW' tan başlayan güç santrallerinde bulunabilirler. Bu gibi santraller her zaman kendiliğinden su soğutulmalıdır ve buhar ejektörleri, mekanik kompresör veya her ikisinin kombinasyonundan oluşan NCG tahliye ünitesi düşük basınç kondenserler ile donatılmışlardır. NCG içeriği buhar içeriğinin %2 'sini geçmediği sürece, NCG tahliye etmek için harcanan güç ve/veya buhar miktarı üretilen gücün %5' ini geçmeyecek makul bir değerdedir. Daha yüksek NCG seviyelerinde NCG tahliyesi için gereken güç ve/veya buhar miktarı çok yüksektir ve bu durumda buhar çevrimi kullanımı tekrar düşünülmelidir. Örnek olarak, Kızıldere santralinde NCG gazlarını pompalamak için gereken güç, üretilen gücün %15' inden fazladır.



Şekil 2. Flaş Buhar Santrali.

1.3 Jeotermal Güç Santrali Tasarım Faktörleri

Bir jeotermal güç santrali tasarlamak, jeotermal akışkan karakteristiklerini en uygun güç çevrimi ile eşleştirmek olarak düşünülebilir. Yüksek verimli bir dönüşüm çevrimi, eğer santrali işletmek ve bakımını sağlamak fazla karmaşık, fazla pahalı veya çevreye zararlı ise görevini yapamayabilir. İlgili basınç desteği ile bütün jeotermal akışkanın enjeksiyonuna izin vermeyen bir güç santrali rezervuar sürdürülebilirliğini olumsuz etkileyebilir. En uygun güç dönüşüm çevrimi, santralin sadeliğini ve yüksek güvenilirliğini korurken kullanılabilir bir jeotermal kaynaktan maksimum üretim sağlar.

2. GÜÇ SANTRALİ TASARIMINI ETKİLEYEN JEOTERMAL KAYNAK KARAKTERİSTİKLERİ

Türkiye' nin batısındaki jeotermal kaynaklar, 600 ile 1,060 kJ/kg arası değişen düşük ve orta entalpi seviyeleri ve toplam çözünmüş katı miktarı 1500–4500 mg/L olan “sodali” (bikarbonat) suları olmaları ile karakterize edilirler [1,2]. Aynı zamanda akışkan ağırlığı cinsinden %1 ile %2.5 arası değişen, yüksek miktarda kondense olmayan gaz (NCG) içerikleri ile de karakterize edilirler [3]. Bu gazlar flaş buhar güç üretim teknolojisinde sorunlar yaratıp, kuyu çeperleri ve yüzeydeki tesislerde kabuklaşma oluştururken, jeotermal rezervuar içindeki işletme mekanizmasını sağladıkları için kullanışlıdır. Ek olarak, bikarbonat tipi jeotermal akışkanlar yüksek CaCO_3 kabuklaşması eğilimine sahiptirler ve sonuç olarak kuyu çapını daraltıp önemli bir güç üretimi kaybına sebep olurlar. Bu sorun periyodik mekanik temizlik veya inhibitör kullanımı ile aşılr.

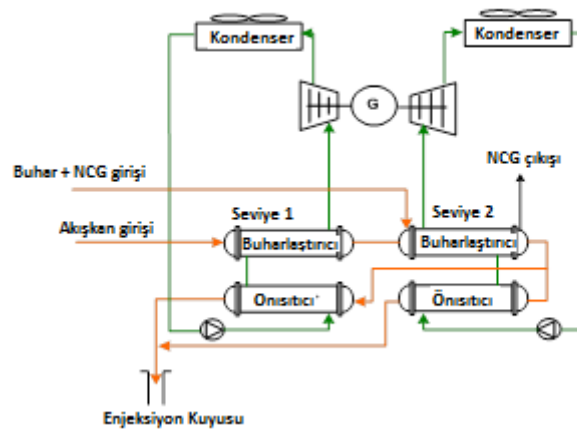
Çift çevrim santraller bu problemleri çözmektedir. Karbondioksit, maksimum basınçta (atmosferik basınç üstü) kaldığından kolayca kontrol altında tutulur ve sistemin hiçbir yerinde birikmez. Çift çevrimli santrallerde, kuyudan üretilen akışkan ısı eşanjörlerinde dolaşır minimum kayıp ile yeniden rezervuara enjekte edilir. Bu işlemin ikinci bir faydası daha vardır, eğer CO_2 'de rezervuara basılırsa rezervuarı CO_2 ile besleyerek, pH değerini düşürür ve dolayısı kabuklaşma eğilimini azaltır [4]. CO_2 , sıvı CO_2 üreticilerine de satılabilir.

3. JEOTERMAL SAHALARIN İÇİN SEÇENEKLER

3.1 Düşük Entalpili Rezervuarlar

Tipik bir düşük entalpili bir rezervuar Aydın'ın 30 km doğusunda bulunan Salavatlı sahasıdır. Rezervuarın entalpisi 640 ile 730 kJ/kg' dır ve toplam akışkanının %1'i civarında NCG içerir. Jeotermal akışkan kuyu başında 12 bar basınç ile kendiliğinden akışlı ve çok düşük bir oranda(%2.2) buhar içermektedir. Buhar NCG ile karışım halinde akar. Bu kadar düşük entalpi ve yüksek NCG içeriği ile tek veya çift flaş buhar çevrimi verimsiz ve hesapsız olacaktır. Bir flaş opsiyonu için en uygun kuyu başı basıncı ve ayırma basıncı buhar oranını arttırmak için çok düşük olacaktır, fakat 4 barlık bir ayırma basıncında bile buhar oranı sadece %4 ve NCG oranı toplam gazın (NCG+buhar) %25' i kadardır.

Salavatlı sahası (Dora I ve II santralleri) için seçilen çözüm entegre edilmiş iki seviyeli (ITLU) bir çift çevrim santralidir. ITLU, aracı akışkanın kaynamasının iki basınç seviyesinde gerçekleştiği bir ORÇ'dir ve sonucunda daha iyi bir kullanım verimi sağlar ve jeotermal akışkanın daha düşük sıcaklıklara soğutulmasına imkan vererek daha çok ısı çıkartır.



Şekil 3. Dora II' nin ITLU İşlemi Akış Diyagramı.

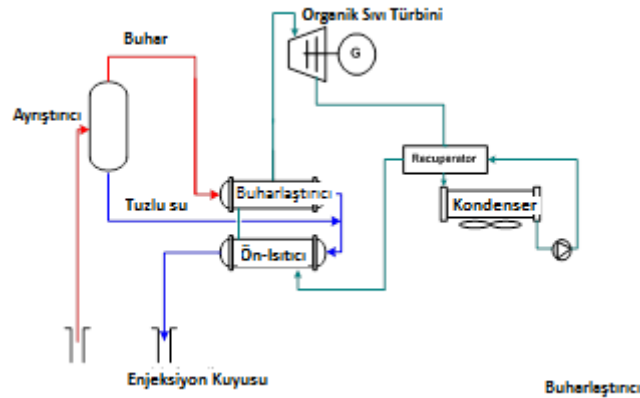
Şekil 3' te görüldüğü gibi, ısı kaynağının gaz oranının ısı, kaynama derecesine daha uygun olan 2. seviye buharlaştırıcıya gönderilir. NCG, kondense olmamış buhar izleri ile beraber buharlaştırıcının arka tarafından tahliye edilir. NCG atmosfer basıncının üstünde olduğundan kompresör /vakum pompası gerekmez.

Flaş tipi bir santral ile kıyaslandığında, kuyubaşı basıncı kısmen daha yüksek tutulmaktadır. Bunun sonucunda kuyu içinde daha yüksek bir flaş noktası oluşur ve kalsit kabuklaşması daha yüksek bir seviyede başlar ve daha az önem teşkil eder. Bu, formasyon içinde flaşlanma riskini ve temizlenmesi veya önlenmesi çok daha zor olan kabuklaşma sorununu önler. Daha yüksek flaş noktası ile, inhibitörlerin enjeksiyonu için kuyu içine daha kısa bir kapiler boru yerleştirilebilir.

Salavatlı sahasındaki 3 yıllık çift çevrim santrali işletiminden sonra, ne ORC' nin ısı eşanjörlerinde ne de soğutulmuş suyun reenjeksiyonunun yapıldığı rezervuar içinde kabuklaşma gözlemlenmemiştir [5]. Jeotermal kuyulara yapılan inhibitör enjeksiyonu da kabuklaşmayı önlemektedir.

3.2 Orta Entalpili Rezervuarlar

Türkiye'nin batısında Kızıldere ve Germencik gibi orta entalpi rezervuarlar da bulunmaktadır. Bu sahalardaki entalpi 950 ile 1050 kJ/kg arasındadır. Çoğunlukla CO₂'den oluşan NCG içeriği toplam akışın %2.5' ine ulaşabilir. Tuzlu suyun kimyasal bileşimi yüksek derecede bikarbonat(HCO₃) derişimi ve kısmen düşük miktarda silis(SiO₂) içermektedir. Orta entalpiden yüksek durumlarda, yüksek NCG içerikli sıvılar flaş tipi buhar çevrimi veya çift-fazlı çift çevrim santraller ile kullanılır. Çift-fazlı çift çevrim santralleri ayrıştırıcıdan gelen buhar ve tuzlu suyu ORÇ tipi güç ünitesinin ısı kaynağı olarak kullanır. Buhar buharlaştırıcıya girer, yoğunlaşırken organik sıvıyı kaynatır ve ardından ön-ısıtıcıdaki aracı akışkanı önceden ısıtmak için sıcak su ile karıştırılır.



Şekil 4. Çift Faz Çift Çevrim.

Düşük ile orta entalpili kaynaklarda, ön ısıtma ve organik sıvıyı kaynatmak için gereken ısı ile buhar ve tuzlu suyun yarattığı ısı arasında çok iyi bir uyum vardır. Buhardaki yüksek NCG içeriğinin etkisi flaş buhar çevrimi durumunda olduğu kadar önem teşkil etmemektedir. Aşağıdaki hesaplama örneğinde görüldüğü gibi, %10 civarında NCG içeriğinin bir sonucu olarak ortaya çıkan güç kaybı, aynı NCG miktarının buhar çevrimlerinde oluşturduğu daha büyük etkinin aksine %5 civarındadır.

4. TEKNOLOJİ KIYASLAMA

Kızıldere sahasına benzer bir orta entalpili ısı kaynağının kullanımı için iki konsept arasında kıyaslama yapılmıştır. Çift flaş buhar çevrimi ve çift-fazlı çift çevrim düşük miktarda(%0) ve yüksek miktarda(%10)

NCG içeriği ile kıyaslanmıştır. Tablo 1'deki ısı kaynağı parametreleri kullanılarak kuramsal bir güç santralinin performansı hesaplanmıştır.

Tablo 1. Karşılaştırma İçin Seçilen Parametreler.

Toplam Akışkan Debisi, t/h	1000
Akışkanın Entalpisi, kJ/kg	950, 1000ve 1050
Enjeksiyon Sıcaklığı, °C (Çift çevrim opsiyonu ve flaş opsiyonu için en uygun 2. flaş sıcaklığı)	105
Dış Ortam Sıcaklığı, °C	15
Flaş opsiyonu için Yoğuşma basıncı, bar a	0.1

Çift flaş opsiyonu için; verilen kaynak parametrelerinden maksimum güç üretimini bulmak açısından her entalpi seviyesi için 1. ve 2. flaş basınçlarına optimizasyon yapılmıştır. Çift-faz çift çevrim için hesaplamada; sıcak suyun (brine-tuzlu su) karışımının soğutulduğu ve 105°C' ye yoğuşturulduğu farz edilmiştir. Sonuçlar Tablo 2 ve Tablo 3'de sunulmuştur.

Tablo 2. NCG, %0 için Elde Edilen Değerler.

Sıvı Entalpisi (kJ/kg)	950	1000	1050
Brüt Çift Flaş (kW)	25,700	28,900	33,800
Net Çift Flaş (kW)	23,100	26,000	30,400
Brüt Çift Faz Çift Çevrim (kW)	26,900	29,600	31,600
Net Çift Faz Çift Çevrim (kW)	23,900	26,300	28,100
İlk Flaş Ayrıştırma (bara)	6	7.5	8.5
İkinci Flaş Ayrıştırma (bara)	1.1	1.2	1.3
Çift Ayrıştırma (bara)	11	11	11

Tablo 3. NCG %10 için Elde Edilen Değerler.

Sıvı Entalpisi (kJ/kg)	950	1000	1050
Brüt Çift Flaş (kW)	23,100	26,000	30,400
Net Çift Flaş (kW)	17,900	20,200	23,600
Brüt Çift Faz Çift Çevrim (kW)	25,500	28,100	30,000
Net Çift Faz Çift Çevrim (kW)	22,700	25,000	26,700

Yukarıdaki tablolarda %0 NCG miktarı ile, çift flaş çevriminin sadece yüksek entalpi seviyelerinde avantajlı olduğu görülürken, düşük entalpi seviyelerinde daha yüksek sıcak su (brine) içeriğinden dolayı çift-faz çift çevrimin daha iyi olduğu görülmüştür.

Yüksek miktarda NCG içeriği olması durumunda, buhar çevriminin NCG ejektörleri ve vakum pompaları (kompresörler) tarafından tüketilen yüksek yedek güç ve/veya buhar miktarından dolayı, çift-fazlı çift çevrimin bütün entalpi seviyeleri için belirgin bir avantajı olduğu görülmektedir. Hatta çift-faz çift çevrimin flaş çevrim üzerindeki avantajı çok daha düşük NCG seviyelerinde başlamaktadır.

Çift çevrim ile üretilen güç daha bile fazla olabilir. Buhar santrallerinde, akışın bir kısmının atmosfere kaybı (buharlaşması) söz konusudur ve bu da enjeksiyon akışının silika içeriğini artırır. Çift çevrim santralinde sıfır veya çok az bir kaynak akışkan kaybı söz konusu olduğundan, enjeksiyon sıvısında silika içeriği daha düşüktür ve bu durum düşük sıcaklıklarda enjeksiyonu mümkün kılıp daha fazla ısı çıkışı sağlar.

Tablo 2 ve 3'de görüldüğü gibi, çift çevrimin en uygun ayrışma basıncı flaş çevriminkinden daha yüksektir. Yüksek ayrışma basıncı ve sonucunda oluşan yüksek kuyubaşı basıncı yukarıda açıklanan bütün avantajlara ek olarak kuyu içindeki flaş noktasının daha yüksek seviyelerde olmasını sağlar.

SONUÇ

Türkiye'nin batısındaki jeotermal akışkanların tortulaşma eğilimi ve yüksek CO₂ içeriği jeotermal güç santrali çevrimi seçimini büyük ölçüde etkileyecektir. Orta veya yüksek entalpide kullanılan flaş çevrimler (çift veya tek), düşük ayrışma basınçlarındaki kabuklaşma eğilimi ve NCG pompalaması için harcanan yüksek güç yüzünden bu tip jeotermal akışkanlar için uygun gözükmemektedir. İnhibitör kullanılsa bile düşük ayrışma basınçlarında silis ve kalsit çökmesini kontrol etmek zor olacaktır. Çift çevrim santralleri ile NCG tahliyesi kolayca halledilmiştir ve ekstra güç üretilmektedir. Modüler tip çift çevrim santraller Türkiye'nin batısındaki jeotermal rezervuar koşulları için ekonomik ve verimli bir çözüm sunmaktadır. Bu üniteler jeotermal akışkanın hem tuzlu su hem de buhar kısmını kullanırlar ve yüksek NCG içeriği etkisi flaş tipi çevrimlere göre çok daha az önem teşkil eder. Modüler ORC üniteleri düşük entalpi aralığı için, entegre edilmiş iki seviyeli ünite (ITLU) ve orta entalpi seviyesi için çift faz tipinden oluşmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] MUTLU, H., GULEC, N." Hydrogeochemical Outline of Thermal Waters and Geothermometry Applications in Anatolia (Turkey)". Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85, 495-515. 1998.
- [2] MUTLU, H., "Geochemical Assessment of Thermal Waters from the Afyon Geothermal Area: Geothermometry Applications and Fluid-Mineral Equilibria", Ph.D Thesis, Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University, Ankara. 1996.
- [3] SERPEN, U., UĞUR, Z., "Reassessment of Geochemistry of Kızıldere Geothermal Field", Geothermal Resource Council Annual Meeting, pp.135-140, San Diego, Ca, 1998.
- [4] SERPEN, U., TÜRKMEN, N., "Reassessment of Kızıldere Geothermal Power Plant after 20 Years of Exploitation", Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey, 2005.
- [5] KAPLAN. U., SERPEN U., "Developing geothermal power plants for geothermal fields in Western Turkey Plants", Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia, 2010.

ÖZGEÇMİŞ

Dan BATSCHA

İsrail Teknoloji Enstitüsü, makine mühendisliğini bitirdi. Güç santralleri çevrim termodinamiğinin optimizasyonu, ısı transferi, akışkan hareketi, ısı eşanjörleri ve hava soğutmalı kondenser tasarımı konularında 25 yıllık deneyimi vardır. 22 yıldır Ormat'da çalışmaktadır, son 12 yıldır termodinamik bölümünün sorumlusudur.

Ormat International Inc., Reno, Nevada , dbatscha@ormat.com

Çeviri: Baran KAYPAKOĞLU, DEÜ Jeotermal Enerji Yüksek Lisans Programı

COMPARISON OF GEOTHERMAL POWER PLANT TECHNOLOGIES FOR USE IN THE GEOTHERMAL FIELDS OF WESTERN TURKEY

Dan BATSCHA

ABSTRACT

In this paper, solutions to utilize the geothermal energy of geothermal fields in Western Turkey using data of these fields and the installed power generation facilities will be discussed. The analysis will compare between the single flash technology, double flash, simple binary ORC, two-level binary and two-phase binary plants. Beside the degree of enthalpy, the paper will also investigate how non-condensable gases (NCG) and scaling problems affect the selection of the power plant type and its performances.

Keywords: Geothermal, Turkey, Organic Rankine Cycle, Ormat

ÖZET

Bu makalede, Türkiye'nin batısında kurulmuş olan jeotermal güç santrallerinin ve sahaların verileri kullanılarak, çözümler tartışılacaktır. Analizde, tek buharlaştırıcı, çift buharlaştırıcı, basit çift çevrimli ORC, iki kademeli çift çevrim ve iki fazlı çift çevrim santraller karşılaştırılacaktır. Entalpi derecesinin yanısıra, kondanase olmayan gazların (NCG) ve kabuklaşma sorunlarının santral tipi seçimi ve performansı üzerine etkisi tartışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Türkiye, Organik Rankin Çevrimi, Ormat

1. INTRODUCTION

1.1 Geothermal Fields

In respect to energy potential, geothermal fields can be categorized into low, medium and high enthalpies:

At low enthalpy fields (up to 600–700 kJ/kg), water is brought up to the ground surface from the reservoir either by pumping or in artesian (self flowing) way. The water can either be remained as a single phase water or flashed into two-phase and then separated into steam and brine streams.

At medium (600 to 1,100 kJ/kg) or high enthalpy (above 1,000–1,100 kJ/kg) reservoirs, a two-phase flow is naturally (artesian) brought up to the surface and then separated into steam and brine streams.

In general, every geothermal reservoir has non-condensable gases (NCG) to some extent.

1.2 Geothermal Power Plants

In a binary plant, all the energy conversion is done by a secondary (Binary) fluid and not directly by the heat source (primary) stream. Generally, binary power plants are built as organic Rankine cycle (ORC) systems with two loops – one is the geothermal fluid which delivers the heat and the other is the working fluid which gets the heat and converts it into useful energy (power) and is contained in closed loop. The motive fluid of the Organic Rankine Cycle is generally hydrocarbon. The binary cycle is very popular at low and medium range enthalpy resources or where high non-condensable gases are present or, if any limitation of cooling the geothermal resource exists. Power output can be from tens of kW to hundreds of MW's.

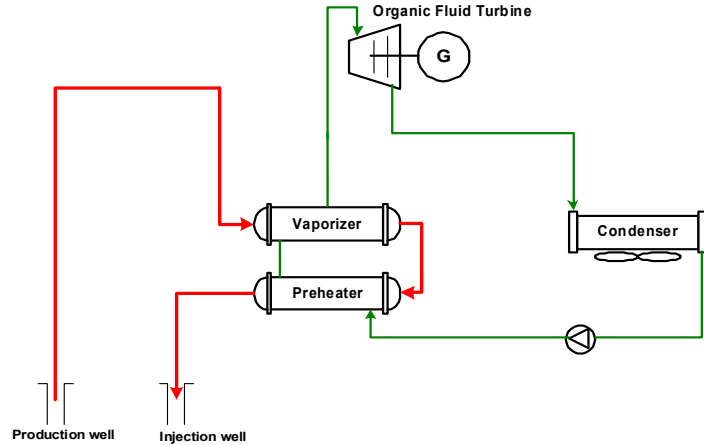


Figure 1. Basic Binary ORC Plant

In flash type steam cycles, the geothermal fluid serves as the motive fluid after flashing into steam. Flash type steam cycles are very popular in medium and high enthalpy geothermal resources and can be found worldwide at power plants starting from 15 MW. Such plants, always self water cooled, are equipped with low pressure (vacuum) condensers with NCG evacuating unit consisting of steam ejectors, mechanical compressor or a combination of the two. As long as the NCG content is no more than about 2% of the steam content, the power and/or steam quantity spent for evacuating the NCG is at a reasonable level of no more than 5% of the generated power. With higher NCG levels, the required power and/or steam for NCG evacuation is too high which puts the use of the steam cycle in question. As an example, the power required for pumping NCG gases in the Kizildere plant is more than 15% of the generated power.

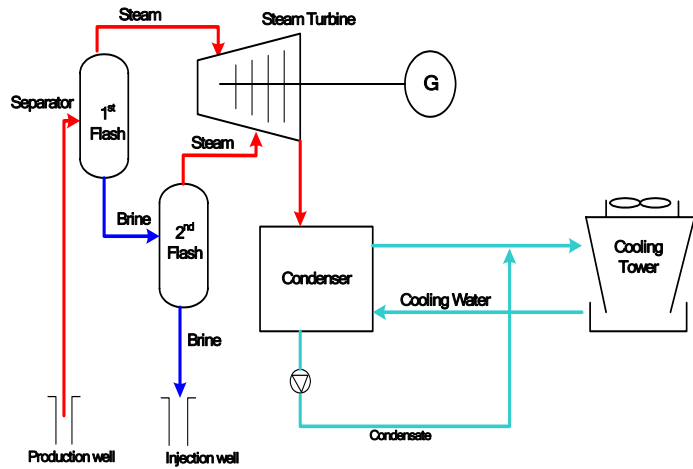


Figure 2. Flash steam plant

1.3 Geothermal Power Plants Design Considerations

Designing a geothermal power plant can be considered as matching the characteristics of the geothermal fluid with the optimal power cycle. A high efficiency conversion cycle may not do its job if the plant is too complicated to operate & maintain, too expensive or harmful to the environment. A power plant that does not allow injection of all the geothermal fluid with related pressure support may negatively impacts reservoir sustainability. The optimal power conversion cycle provides for the maximum output from an available geothermal resource while maintaining the simplicity and high reliability of the power plant.

2. GEOTHERMAL RESOURCE CHARACTERISTICS AFFECTING POWER PLANT DESIGN

Geothermal resources in Western Turkey are characterized by low to medium enthalpy levels, ranging from 600 to 1060 kJ/kg and being like a “soda” (bicarbonate) water with a typical 1500-4500 mg/L of total dissolved solids [1,2]. They are also characterized by high amount of non-condensable gases (NCG), ranging between 1% to 2.5% by weight of fluid [3]. While these gases create problems in flash steam power generation technology and scaling within wellbores and surface facilities, they are useful for providing the driving mechanism within the geothermal reservoirs. In addition, bi-carbonate type geothermal fluids have high CaCO₃ scaling tendency which will finally throttle the well diameter causing a substantial loss of power generation. This problem can be handled by periodic mechanical cleaning.

Binary plants solve these issues. The carbon dioxide is easily handled since it remains at (almost) full (above atmospheric) pressure and does not accumulate anywhere in the system. With binary cycles, the fluid produced from the well travels through the heat exchangers and is reinjected with minimal fluid loss. This operation has a second benefit since it might feed the reservoir with CO₂, increasing the reservoir pH level and therefore, reducing scaling tendency [4]. The CO₂ may even be sold to liquid CO₂ producers.

3. OPTIONS FOR GEOTHERMAL FIELDS UTILIZATION

3.1 Low Enthalpy Reservoir

A typical example of a low enthalpy reservoir is the Salavatli field located 30 km east of Aydın. The enthalpy of the reservoir is between 640 to 730 kJ/kg and contains around 1% of NCG (weight of total flow). The geothermal fluid is self flowing at well head pressure of 12 bara and it consists a very small fraction (2.2%) of steam mixed with NCG (more than 50% of the gas content). At this very low enthalpy and high content of NCG, the option of single flash or double flash steam cycles would be inefficient and uneconomical choice. The optimal well head pressure and the separation pressure for a flash option will be very low in order to increase the steam portion, but even at a separation pressure of 4 bara the steam fraction is only 4% and the NCG content is 25% of total gases.

The selected solution for the Salavatli field (plants Dora 1 and Dora 2) was to use the integrated two level (ITLU) type of binary plant [9]. The ITLU is an organic Rankine cycle (ORC) where boiling of the working fluid is done at two pressure levels, resulting in a better utilization efficiency and allowing for cooling of the geothermal fluid to a lower temperature and thus extracting more heat [6,7].

As can be seen in Figure 3, the heat of the gas portion of the heat source is introduced into the level 2 vaporizer where it fits better to the boiling temperature. The NCG is released from the rear end of the vaporizer with some traces of the non condensed steam. No compressor/vacuum pump is required since the NCG is above atmospheric.

In the low to medium enthalpy resources, there is a very good match between the heat required for preheating and boiling the organic fluid and the heat available by the steam and brine. The influence of the high NCG content in the steam is not significant as in the flash steam cycle case. As can be seen in the calculation examples below, the power loss as a result of 10% NCG content is about 5% as opposed to much higher influence of same NCG amount in steam cycles.

4. TECHNOLOGY COMPARISON

A comparison between two concepts for utilization of a medium enthalpy heat source similar to the Kizildere field was performed. The double flash steam cycle and two-phase binary cycle were compared with a low level NCG content (zero percent) and a high level (10%) NCG content. The performance of a theoretical power plant was calculated, using the heat source parameters of Table 1.

For the double flash option, optimization on the 1st and 2nd flash pressures was done for each enthalpy level to find the maximum power generation from the given resource parameters (Tables 1-3). For the two-phase binary cycle, calculation assumed cooling the mixture of the brine and condensate to 105°C.

Table 1. Heat Source Parameters For Comparison

Total fluid flow	1000 t/h
Fluid enthalpy	950, 1000 and 1050 kJ/kg
Injection temp.	105°C for the binary option and the optimal 2 nd flash temperature for the flash option
Ambient air temp.	15°C
Condensing pressure for the flash option	0.1 bar a

Table 2. Analysis Results With Zero Percent Of NCG

Fluid Enthalpy (kJ/kg)	950	1000	1050
Double Flash gross (kW)	25,700	28,900	33,800
Double Flash net (kW)	23,100	26,000	30,400
Two Phase Binary gross (kW)	26,900	29,600	31,600
Two Phase Binary net (kW)	23,900	26,300	28,100
First Flash Separation (bara)	6	7.5	8.5
Second Flash pressure (bara)	1.1	1.2	1.3
Binary Separation pressure (bara)	11	11	11

Table 3. Analysis Results With 10% NCG

Fluid Enthalpy (kJ/kg)	950	1000	1050
Double Flash gross (kW)	23,100	26,000	30,400
Double Flash net (kW)	17,900	20,200	23,600
Two Phase Binary gross (kW)	25,500	28,100	30,000
Two Phase Binary net (kW)	22,700	25,000	26,700

The above tables show that with zero percent of NCG, the double flash cycle has an advantage only at the higher enthalpy level, while at the lower enthalpy levels the two-phase binary is better due to the higher content of brine.

In the case of high NCG content, the two-phase binary has a significant advantage over the whole range of enthalpy levels due to the high auxiliary power and/or steam consumed by the NCG ejectors and vacuum pumps (compressors) of the steam cycle. The advantage of the two-phase binary cycle over the flash cycle starts in fact at much lower NCG percentage levels.

The power generated by the binary cycle may even be higher. In steam plants, part of the stream is lost (evaporated) to the atmosphere, increasing the silica content of the injection stream. Since zero or minimal loss of resource fluid exist in binary plant, the silica content at the injection fluid is lower which may permit injection at lower temperature thus extracting more heat.

As can be seen in the tables above, the optimum separation pressure of the binary cycle is higher than that for the flash cycle. The high separation pressure and the resulting higher well head pressure cause the flash point in the wellbore to be at higher elevation with all advantages described above.

5. DISCUSSION AND RESULTS

Scaling tendency and high CO₂ content of Western Turkey geothermal fluids will largely influence geothermal power plant cycle selection. Flash cycles (single and double) used in medium and high enthalpy fields do not seem suitable for this type of geothermal fluid because of the large scaling tendency at low separation pressures and very high auxiliary power consumed for NCG pumping. It would be difficult to control precipitation of silica and calcite at low separation pressures even if inhibitor is used. With binary plants, the NCG extraction is easily solved and extra power is generated.

Modular type binary plants provide an efficient and economical solution for the Western Turkey geothermal reservoir conditions. The units utilize both the brine and the steam portions of the geothermal fluid and the influence of the high NCG content is much less significant compared to flash type steam cycles. The modular ORC units are of the integrated two level unit (ITLU) for low enthalpy range and of the two phase type for the medium enthalpy level.

REFERENCES

- [1] MUTLU, H and GULEC, N." Hydrogeochemical Outline of Thermal Waters and Geothermometry Applications in Anatolia (Turkey)." *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 85, 495-515. (1998).
- [2] MUTLU, H., "Geochemical Assessment of Thermal Waters from the Afyon Geothermal Area: Geothermometry Applications and Fluid-Mineral Equilibria", Ph.D Thesis, Submitted to the Graduate School of Natural and Applied Sciences of the Middle East Technical University, Ankara. (1996).
- [3] SERPEN, U., and UĞUR, Z. "'Reassessment of Geochemistry of Kızıldere Geothermal Field", Geothermal Resource Council Annual Meeting, pp.135-140, San Diego, Ca, (1998).
- [4] SERPEN, U. and TÜRKMEN, N. "Reassessment of Kizildere Geothermal Power Plant after 20 Years of Exploitation", *Proceedings World Geothermal Congress 2005 Antalya, Turkey*, (2005).
- [5] PALABIYIK, Y. and SERPEN, U. "Geochemical Assessment of Simav Geothermal Field, Turkey". *Revista Mexicana de Ciencias Geologicas*, v. 25, num. 3, p. 408-425. (2008).
- [6] BRONICKI, L. "Innovative Geothermal Power Plants, Fifteen Years Experience", *World Geothermal Conference, Florence, Italy* (1995).
- [7] EIOVIC, A. "Advances in Binary Organic Rankine Cycle Technology", published in *Geothermal Resources Council Transactions*, Vol. 18, (1994).
- [8] KAPLAN, U. "Advanced Organic Rankine Cycles in Binary Geothermal Power Plants". (2006).
- [9] KAPLAN, U and SERPEN, U. "Developing geothermal power plants for geothermal fields in Western Turkey Plants", *Proceedings World Geothermal Congress 2010 Bali, Indonesia*, (2010).

BIOGRAPHY

Dan BATSCHA

B.Sc. in Mechanical Engineering from Israel Institute of Technology. 25 years of experience in optimization of power plant thermodynamic cycles, heat transfer, fluid flow, heat exchangers and air coolers design. Work for 22 years in Ormat with the last 12 years as manager of the Thermodynamic department with responsibilities for development & optimization of geothermal thermodynamic cycles, investigation of heat transfer & fluid flow phenomenon, improvement of heat exchangers & air coolers, in-house & field testing, establishment of computer codes and exploring waste heat applications.

Ormat International Inc., Reno, Nevada

dbatscha@ormat.com