

TERMAL POTANSİYEL AÇISINDAN BİR JEOTERMAL SAHANIN UYGULAMALI OLARAK DEĞERLENDİRMESİ

Jeoloji Müh. Tasarım Dersi

Dr. Halim Mutlu

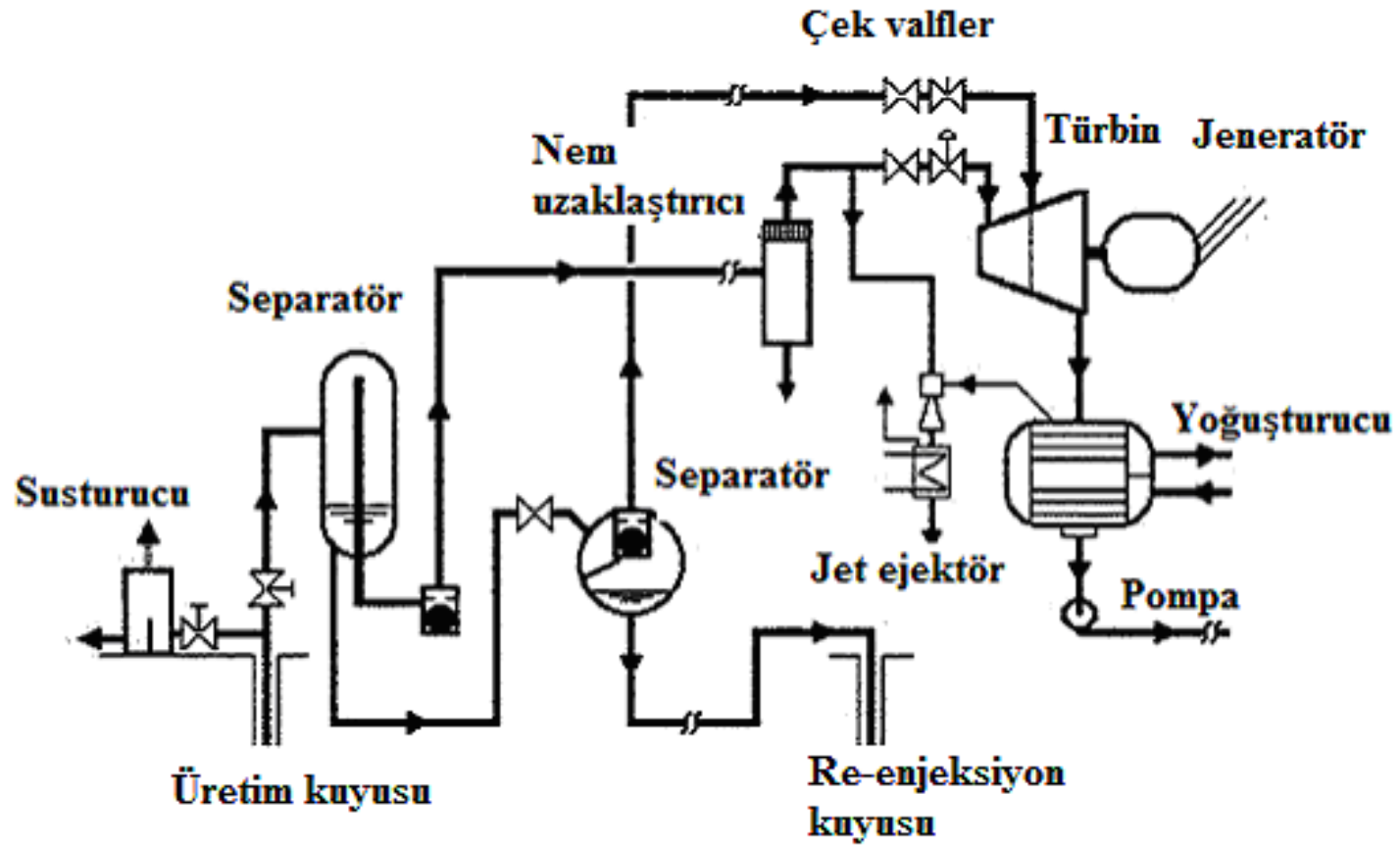
Jeotermal santrallerin ilki 1904 yılında kurulmuş olup, buhar baskın bir jeotermal sistemden beslenmekte olan bir atmosferik buhar türbininden ibaret bir proses idi. Daha sonra benzeri prosesler kondenser ile takviye edilerek 1930'lu ve 40'li yıllarda Larderello'da (İtalya) kurulmuştur. Su baskın jeotermal sistemler için ilk santral ise 1958 yılında Wairakei'de (Yeni Zelanda) kurulan flaş sistemine dayalı santral idi. Bundan sonraki 1960'lı ve 70'li yıllarda, başlangıçta kullanılan tek flaşlı sistemlerin yanında iki flaşlı sistemler de (daha yüksek sıcaklıklı kaynaklar için) kurularak işletilmeye başlanmıştır. Bindokuzyüz seksenli yıllarda önce prototip olarak devreye giren "binary santraller" 1990'lı ve 2000'li yıllarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

Orta sıcaklıklı jeotermal kaynaktan elektrik üretimine geçebilmek adına geliştirilen ikili (binary) çevrim modeli, üretilen akışkandaki ısı enerjisini ikincil bir akışkana aktarma ile elektrik üretme ilkesine dayanmaktadır. Bunların dışında, hem ayrıştırıcılı hem de ikili (binary) tip çevrim modelini kapsayan başka bir çevrim modeli de geliştirilmiş ya da kombine jeotermal enerji çevrimleri olarak ortaya çıkmıştır.

Çift Fazlı Akışkan İçin Elektrik Üretim Sistemleri

Suyun hakim olduğu jeotermal kaynaklarda sıvı-buhar karışımı ve/veya kuyudan yükselirken 2 faza dönüşmesi gerçekleştiğinden, buharın türbine gönderilmeden önce sudan ayrılması gerekmektedir. Bu sebepten, bu tür jeotermal akışkanlardan elektrik üretimi sırasında ayırıştırıcı (separator) kullanılmaktadır. Tek separatorlü ve iki separatörlü olan modelleri mevcuttur. Bir separatörün kullanıldığı sistemler Tek Flaşlı “Single Flash ” olarak anılırlar. Böyle bir jeotermal çevrimde akışkan separatörde ayırıştırıldıktan sonra buhar türbine, sıvı kısım ise formasyona geri basılmaktadır.

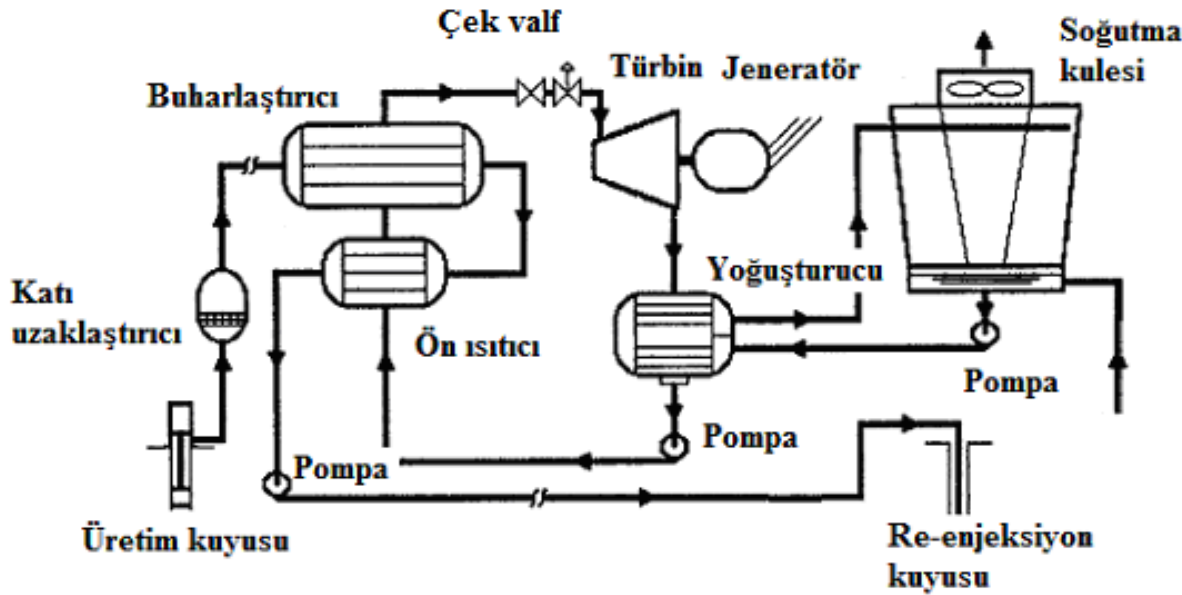
İki fazlı akışkanlardan daha fazla enerji elde edebilmek için iki kademeli separasyon sistemiyle birlikte çift giriş basıncına sahip türbinler kullanılır. “Double Flash” olarak ifade edilen çift flaşlı sistemlerde, birinci kademe ayırışımından sonra alınan sıcak su ikinci kademe separasyondan geçirildikten sonra, elde edilen buhar daha düşük basınçlı ikinci bir türbine gönderilerek ya da aynı türbinin düşük basınçlı kademesine gönderilerek daha fazla elektrik enerjisi üretilebilir. Türbinin dışarı boşalım (egzost) kısmını atmosfer basıncının altında tutabilmek için, buhar içinde bulunan CO₂, H₂S gibi yoğuşmayan gazların ayırıştırılması gerekmektedir. Yoğuşmayan bu gazları ayırmak için kondansörde bir pompa yada ejektör kullanılmalıdır



Çift Flaşlı (Double Flash) Örnek Elektrik Üretim Santrali

Binary (ikili) Elektrik Üretim Sistemleri

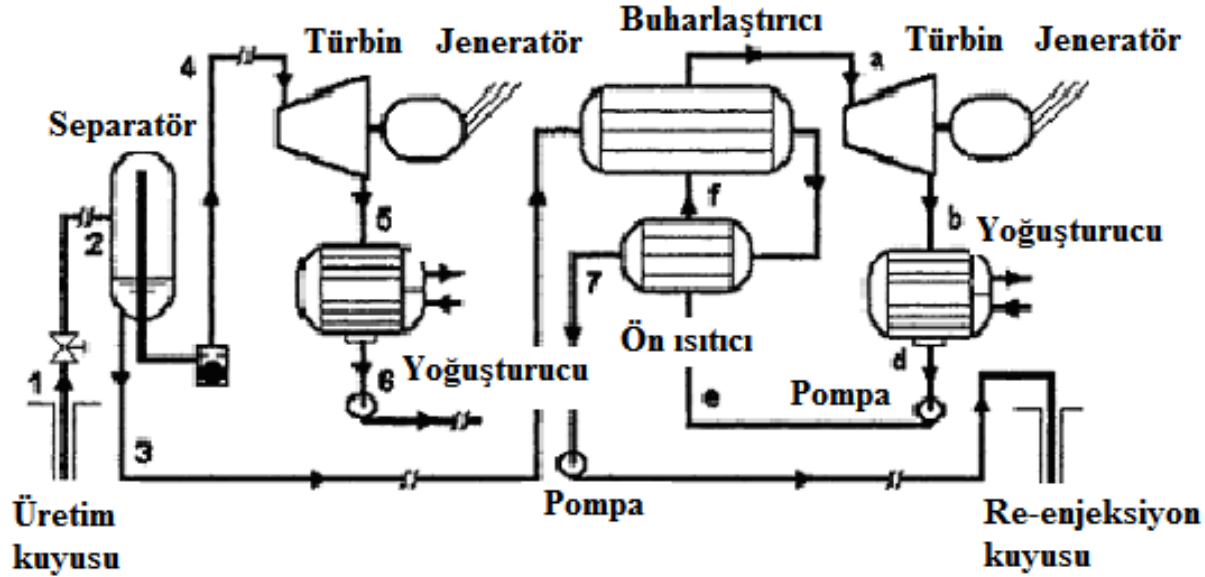
Düşük sıcaklıklı ($< 180 \text{ }^{\circ}\text{C}$) ve sıvı ağırlıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi için, jeotermal akışkandan ikinci bir çalışma sıvısına ısı geçişinin bir ısı değiştiricide sağlanması ve ikinci sıvının da türbinde genişip yoğuşturucuda faz değiştirmesiyle ortaya çıkan artık ısının soğutma kulesinden atılması sonucu tamamlanan kapalı devre, bir Rankine çevrimidir. İkili (binary) çevrimlerde ikincil akışkan olarak genellikle, n-pentan, izo-pentan, izo-bütan gibi hidrokarbonlar kullanılmaktadır. Kullanılan ikincil akışkanlar suya göre daha düşük kaynama sıcaklıklarına sahip oldukları için, rezervuar sıcaklığı düşük olan jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi bu şekilde sağlanmaktadır.



**İkili (Binary) Çevrim Örnek
Elektrik Üretim Santrali**

Jeotermal Kombine Elektrik Üretim Sistemleri

Jeotermal kaynaklardan diğer sistemlere göre daha fazla elektrik enerjisi üretebilmek için geliştirilmiş sistemlerdir. Genel olarak farklı tip çevrimlerin bir araya getirilerek oluşturulmuş olan bu sistemlerden en fazla kullanılanı tek separatörlü buharlaştırıcı sistem ile ikili (binary) çevrimin tümlenmesiyle oluşturulan “Bottoming Binary Çevrimi” olarak adlandırılan çevrim modelidir.



Bileşik Jeotermal Santral Örnek Şeması

Türkiye'deki bir jeotermal santral için tasarlanan üç farklı çevrim modeline ait uygulamalarında kullanılan sabitler

	Birim	Değer
Rezervuar sıcaklığı	°C	200–240
Kuyubaşı basıncı	bar	19
Kuyubaşı çift fazlı akışkan entalpisi	kJ/kg	943
Toplam üretilen debi	ton/st	1155
Buhardaki ağırlıkça yoğuşmayan gaz miktarı	%	15
Yoğuşmayan gazların tamamı		CO ₂
Buhar türbini verimi	%	80
Organik türbin verimi	%	85
Jeneratör verimi	%	95
Pompa verimi	%	80
Pompa motor verimi	%	90
Soğutma kulesi fan verimi	%	50
Bölgenin atmosfer basıncı	bar	0.959
Bölgenin yıllık ortalama hava sıcaklığı	°C	16
Bölgenin yıllık ortalama bağıl nem miktarı	%	61
Soğutma kulesinden çıkan hava nemliliği (bağıl)	%	90

HES (hidroelektrik santral) ile ilgili güç hesabı formülü:

$$P = n \times Q \times H \times g$$

P = kW olarak güç

n = Trafo verimi ($\sim 0,92$) \times Jeneratör verimi ($\sim 0,95$) \times Türbin verimi ($\sim 0,98$)

Q = 1 sn'de geçen suyun m³ olarak miktarı

H = Düşü (metre)

g = Yerçekimi ivmesi (genellikle 9,81 alınır)

Örnek olarak; 2 m³/s debili bir nehirde, 80 m düşü varsa, kurulacak olan santralin gücü

$$P = (0,92 \times 0,95 \times 0,98) \times 2 \times 80 \times 9,81 = 1344 \text{ kW} = 1,34 \text{ MW}$$

Elektrik Enerjisi Üretimi

$$M_{we} = \text{Debi} \times \Delta T \times \text{Joule Katsayısı} \times 10^{-3} \times \text{Üretim Katsayısı}$$

$$\text{Debi} = L/sn$$

$$\Delta T = \text{Üretim Sıcaklığı} - \text{Atım Sıcaklığı} (\text{° C})$$

$$\text{Joule Katsayısı} = 4,18$$

$$\text{Üretim Katsayısı} = \text{Üretim sıcaklığına bağlı parametre}$$

$$\text{Üretim Katsayısı} = (0.0935 T (\text{°C}) - 2.3266) / 100$$

Table 7.2 Cycle thermal efficiencies for several binary power plants.

Plant name	Location	Brine inlet temperature, °C	Efficiency, %
Amedee	CA	103	5.8
Wabuska	NV	105	8
Brady	NV	109	7
Húsavík	Iceland	122	10.6
Otake	Japan	130	12.9
Nigorikawa	Japan	140	9.8
Steamboat SB-2 & SB-3	NV	152	8.2
Ormesa II	CA	157	13.5
Heber SIGC	CA	165	13.2
Miravalles Unit 5	Costa Rica	166	13.8

Isı Enerjisi Üretimi

Kuyunun sıcaklık ve debisine göre belirlenecek potansiyel Mwt olarak hesaplandıktan sonra alanın bulunduğu coğrafi bölgeye göre değerleri 6,98 - 11,63 arasında değişen α katsayısını dikkate alınarak kuyuların mevcut sıcaklığı ile üretilebilecek tahmini ısıtılabilir konut sayısı aşağıdaki şekilde belirlenebilir:

$$Mwt = \text{Debi} \times \Delta T \times \text{Joule Katsayısı} \times 10^{-3} \times \text{Eşanjör verimi}$$

$$\text{Debi} = L/s$$

$$\Delta T = \text{Üretim Sıcaklığı} - \text{Atım Sıcaklığı} (\text{° C})$$

$$\text{Joule Katsayısı} = 4,18$$

$$\text{Eşanjör verimi} = 0,85 (\% 85)$$

X m² alanında y m yüksekliğinde ısıtılabilir; Konut sayısı

$$\text{Konut \#} = \frac{Mwt \times 1000}{\alpha}$$

BÖLGE	α (KW)
Ege-Akdeniz-Marmara Bölgesi	6,98
Karadeniz Bölgesi	8,14
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	8,50
İç Anadolu Bölgesi	9,30
Doğu Anadolu Bölgesi	11,63

Sera Isıtması

$$Sera\ m^2 = \frac{Mwt \times 1000}{\beta}$$

Coğrafi bölgelerle ilgili katsayı

BÖLGE	β (KW)
Ege-Akdeniz-Marmara Bölgesi	0,19
Karadeniz Bölgesi	0,22
Güneydoğu Anadolu Bölgesi	0,23
İç Anadolu Bölgesi	0,25
Doğu Anadolu Bölgesi	0,31

Table 7.3 Estimated power from California and Gulf states coproduced waters; outlet temperature assumed to be 40°C.

State	Flow rate, kg/s	MW @ 100°C	MW @ 140°C	MW @ 180°C
Alabama	927	16.6	42.3	79.9
Arkansas	1,204	21.6	54.9	103.7
California	2,120	37.9	96.7	182.5
Florida	753	13.4	34.3	64.8
Louisiana	9,786	175.2	446.3	842.6
Mississippi	2,758	49.4	125.8	237.5
Oklahoma	59,417	1,064	2,709	5,116
Texas	56,315	1,008	2,568	4,849
TOTALS	131,162	2,348	5,981	11,293