JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM SİSTEMLERİ VE KOJENERASYON

Mehmet KANOĞLU

ÖZET

Türkiyenin özellikle Ege Bölgesinde zengin jeotermal kaynaklara sahip olduğu bilinmektedir. Bu kaynakların en verimli şekilde ve en kısa zamanda elektrik üretimi, bölge ısıtması, ve seracılık gibi uygulamalarda kullanımının yaygınlaştırılması Türkiye'nin enerji problemlerinin çözümüne önemli katkılar sağlayacaktır. Jeotermal enerjinin en yaygın kullanım alanı elektrik üretimidir ve bu amaçla farklı termodinamik çevrimler kullanılabilir. Bu çevrimler, kondenserli ve kondensersiz kuru buhar çevrimleri, tek ve çift püskürtmeli çevrimler, ikincil ve birleşik püskürtmeli/ikincil çevrimler olarak sınıflandırılabilir. Bu bildiride, bu çevrimler ekonomik veriler ve kojenerasyon uygulamalarla beraber tanıtılacaktır. Bu çalışmanın jeotermal kaynakların en verimli şekilde nasıl kullanılabileceği konusuna ışık tutacağına inanılmaktadır.

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji, yerin altında bulunan ısıl enerjidir. Belli bir dereceye kadar yenilenebilir bir enerjidir. Çünkü bir jeotermal kaynağın tahmini ömrü 30-50 yıl arasındadır [1]. Jeotermal bir kaynağın ömrü kullanılan jeotermal akışkanı tekrar yer altına geri basılmasıyla uzatılabilir. Bu en yaygın atık yöntemidir. Kullanılmış jeotermal akışkanın yer üstüne akıtılması, ırmak ve göl sularının ve havanın kirlenmesine neden olur. ABD'de kullanılan jeotermal akışkanın yer altına geri basımı yasal bir zorunluluktur. Jeotermal enerji, elektrik üretiminde ve alan ısıtması ve soğutması, ısı pompaları, endüstriyel işlemler ve sera evleri ısıtması gibi direkt uygulama alanlarında kullanılmaktadır.

Bir jeotermal kuyudan sıvı su (doymuş veya sıkıştırılmış sıvı), ıslak buhar (sıvı-buhar karışımı) veya kuru buhar (doymuş veya kızgın buhar) çıkarılır. Sıvı ağırlıklı sistemler buhar ağırlıklı sistemlerden çok daha yaygındır. Sistemde seçilen basınca bağlı olarak sadece sıvı su veya sıvı-buhar karışımı çıkarılabilir. Eğer basınç jeotermal su sıcaklığındaki doyma basıncının altında tutulursa sıvının bir kısmı buhara dönüşür ve iki fazlı bir karışım elde edilir. Eğer basınç jeotermal su sıcaklığındaki doyma basıncının üstünde tutulursa sıvı elde edilir. İncelenen 100 jeotermal kaynak arasında % 10'unun buhar ağırlıklı, % 60'ının sıvı ağırlıklı ve % 30'unun sıvı olduğu görülmüştür. [2]. Genellikle jeotermal kaynaklardan yüksek sıcaklıkta olanlar (150°C'nin üstü) elektrik üretiminde; orta sıcaklıkta olanlarla (90°C ile 150°C arası) düşük sıcaklıkta olanlar ise doğrudan uygulamalarda kullanılır. Jeotermal kaynakların sıcaklıkları 300°C'yi bulabilmektedir.

Jeotermal enerji bugün birçok ülkede yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'nin özellikle Ege Bölgesinde zengin jeotermal kaynaklara sahip olduğu bilinmektedir. Bu kaynakların yüksek sıcaklıkta olanları elektrik üretiminde ve bölge ısıtmasını içine alan kojenerasyon uygulamalarında; orta ve düşük sıcaklıktaki kaynaklar ise ısıtma, soğutma, endüstriyel uygulamalar ve seracılık gibi uygulamalarda yaygın kullanım alanı bulabilirler.

2. JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİMİNDE KULLANILAN TERMODİNAMİK ÇEVRİMLER

Çıkarılan jeotermal akışkanın haline bağlı olarak elektrik üretmek için farklı çevrimler kullanılır. Aşağıda anlatılacak olan çevrimlerin termodinamikteki çevrimin katı tanımına uymadığını belirtmek gerekir. Termodinamikte çevrim bir aracı akışkanın çeşitli hal değişimlerinden geçtikten sonra tekrar ilk haline döndüğü ve bunun tekrarlandığı durumlar için tanımlanmıştır. Bu tanıma Rankine çevrimi tam olarak uyar. Jeotermal elektrik santrallerinde ise jeotermal akışkan yer altından çıkarıldıktan sonra elektrik üretmek için kullanılır ve sonrasında atmosfere atılır veya geri basılır.

2.1. Kondensersiz ve Kondenserli Kuru Buhar Çevrimleri

En basit ve en ekonomik jeotermal çevrim kondensersiz kuru buhar çevrimidir (Şekil 1). Bu çevrimde, jeotermal kuyudan çıkarılan buhar bir türbinden geçtikten sonra atmosfere atılır. Türbinin çıkışı doğrudan atmosfere açık olduğundan buhar, türbini atmosfer basıncında terk eder. Bu çevrimin avantajı kondenser olmadığı için santralin yapım ve işletme masraflarının kondenserli santrallere göre daha az olmasıdır. Bu çevrimin istenmeyen bir sonucu ise jeotermal buharın doğrudan atmosfere atılmasının çevre kirliliğine yol açmasıdır.

Kondenserli kuru buhar çevrimlerinde, türbinin çıkışında kondenser bulunur (Şekil 2). Jeotermal buhar türbinden geçtikten sonra bir kondensere girer. Kondenserde yoğuşturulan buhar ideal olarak geri basılır veya atık olarak bir ırmağa veya göle dökülür. Kondenser sayesinde türbinin çıkışında atmosfer basıncının altında bir basınç yani vakum oluşturulur. Buhar, türbini daha düşük basınçta ve daha düşük sıcaklıkta dolayısıyla daha düşük bir entalpide terk eder. Böylece buharın ısıl enerjisinin daha büyük bir oranı güce çevrilmiş olur. Bu nedenle kondenserli kuru buhar çevrimleri kondensersiz olanlardan benzer şartlar altında daha çok elektrik üretirler. Fosil yakıtlı buharlı elektrik santrallerinde türbin çıkış basıncının atmosfer basıncının çok altında tutulması aynı nedendendir.

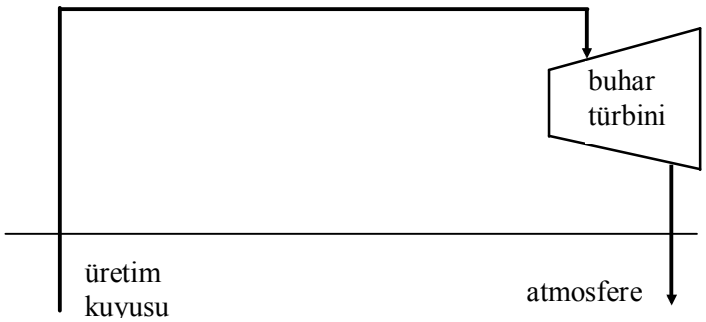
2.2. Tek ve Çift Püskürtmeli Çevrimler

Üretilen jeotermal akışkanın tamamen buhar fazında olması yaygın değildir. Çıkarılan jeotermal akışkan genellikle doymuş sıvı-buhar karışımıdır. Bu durumlarda buhar yüzdesi yeterince yüksekse buhar sıvıdan ayrıştırılır ve buhar türbine gönderilirken kalan sıvı geri basılır. Buhar yüzdesinin düşük olduğu veya jeotermal akışkanın tamamen sıvı fazında olduğu durumlarda püskürtmeli buhar çevrimleri kullanılır. Püskürtme işlemi kısılma vanalarının çalışma prensibine göre püskürtme havuzu adı verilen bir yerde gerçekleştirilir. Püskürtme odasında jeotermal akışkanın basıncı düşürülür. Bu işlem sabit entalpide gerçekleşir. Jeotermal akışkanın püskürtme odasının çıkışında basıncın daha düşük fakat entalpinin girişteki akışkanla aynı olması dolayısıyla sıvının belli bir yüzdesi buharlaşır. Püskürtme işleminden sonra jeotermal akışkanın sıcaklığı düşer. Yeni sıcaklık, yeni basınçtaki doyma sıcaklığıdır. Püskürtme işlemi Şekil 3'de suyun Basınç-Entalpi (P-h) diagramında gösterilmiştir.

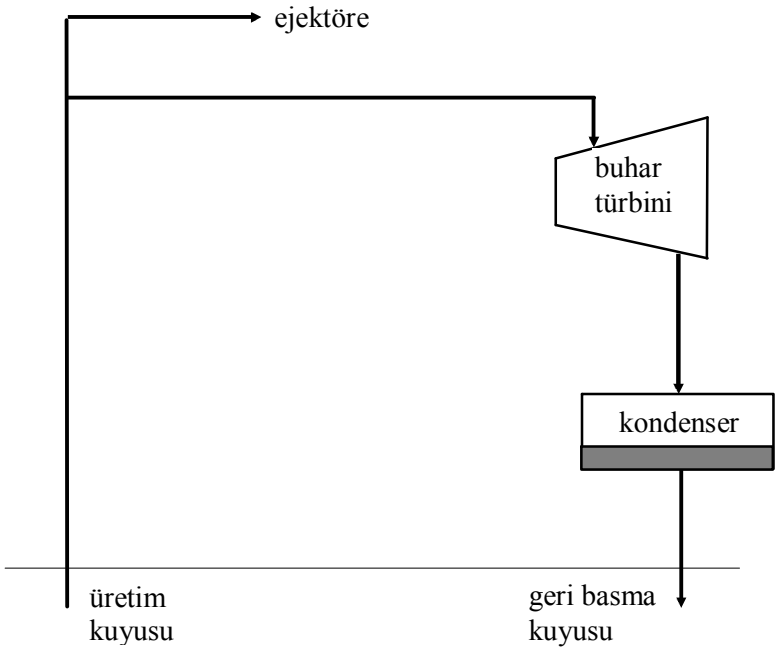
Şekil 4'de görüldüğü gibi, buhar sıvıdan ayrıştırıldıktan sonra buhar türbine elektrik üretmek için gönderilirken kalan sıvı geri basılır. Türbinden çıkan buhar bir soğutma kulesinde veya püskürtme havuzunda elde edilmiş soğutma suyu ile yoğuşturulur ve geri basılır. Jeotermal santralin bulunduğu yerde ırmak ve göl gibi bir soğuk su kaynağı varsa kondenserde bu su da kullanılabilir. Bütün kondenserli jeotermal buhar çevrimlerinde kondenserlerde vakum oluşturmak için buhar ejektörleri kullanılır. Belli miktarda buhar ejektörlerde tüketilir.

Üretilen jeotermal akışkanın sıcaklığının yüksek olduğu durumlarda püskürtme işlemi birden fazla tekrarlanabilir. İlk püskürtmeden sonra elde edilen buhar türbine gönderildikten sonra kalan sıvının basıncı veya sıcaklığı hala yüksek ise bu sıvı ikinci bir püskürtme havuzunda tekrar püskürtülür (Şekil 5). Sıvının belli bir yüzdesi buharlaşır ve bu buhar türbine gönderilir. İkinci püskürtmeden elde edilen buharın basıncı ilk püskürtmeden elde edilen buhar basıncından daha düşük olduğundan düşük basınçlı buharın, türbine daha düşük bir basınç kademesinde alınması sağlanır. Alternatif olarak santralde düşük basınçlı buhar için ikinci bir türbin kullanılabilir. Püskürtme sayısına göre jeotermal

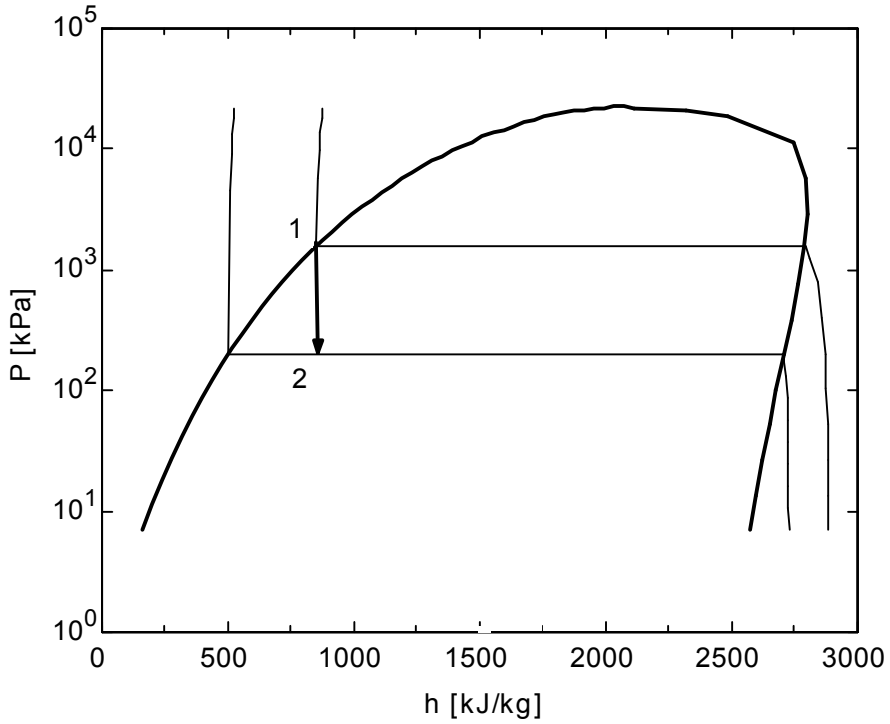
çevrim tek püskürtmeli ve çift püskürtmeli olarak adlandırılırlar. İkinci püskürtme, çevrimden elde edilecek gücü arttırmakla birlikte beraberinde gelen ek yapım ve işletme masrafları dikkate alındığında ekonomik olmayabilir. Pratikte çift püskürtmeli jeotermal santrallere rastlanmakla beraber ikiden fazla püskürtme ekonomik olmadığı için uygulanmamaktadır.



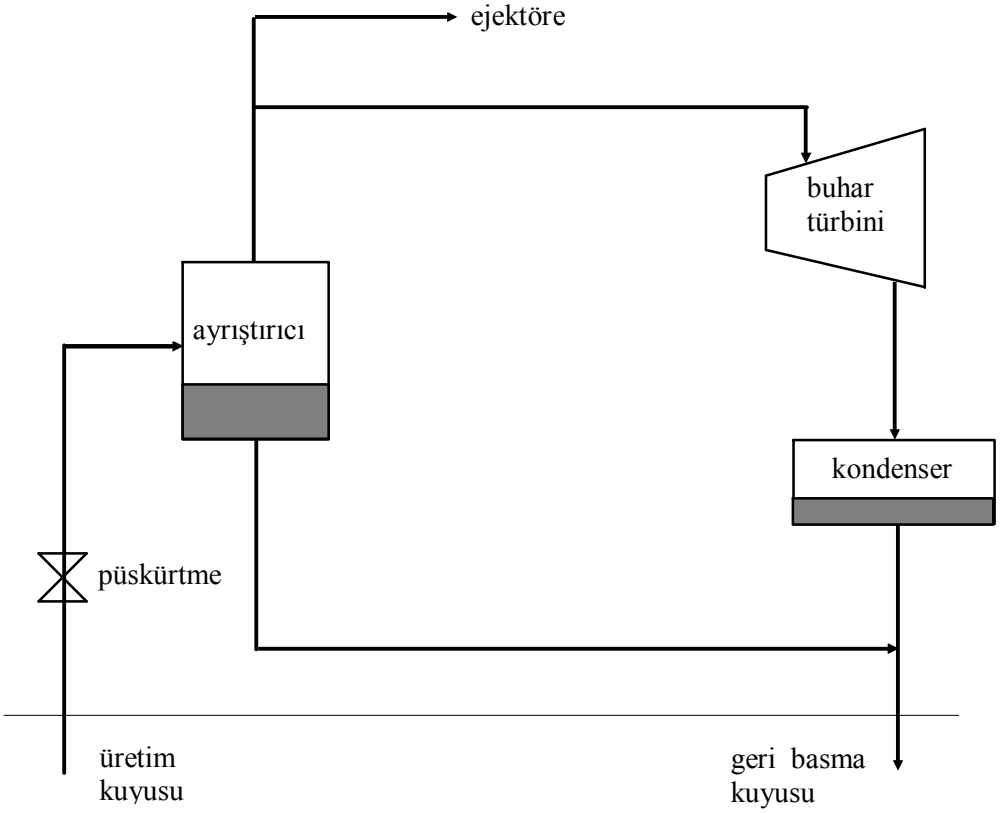
Şekil 1. Kondensersiz kuru buhar çevrim jeotermal elektrik santrali.



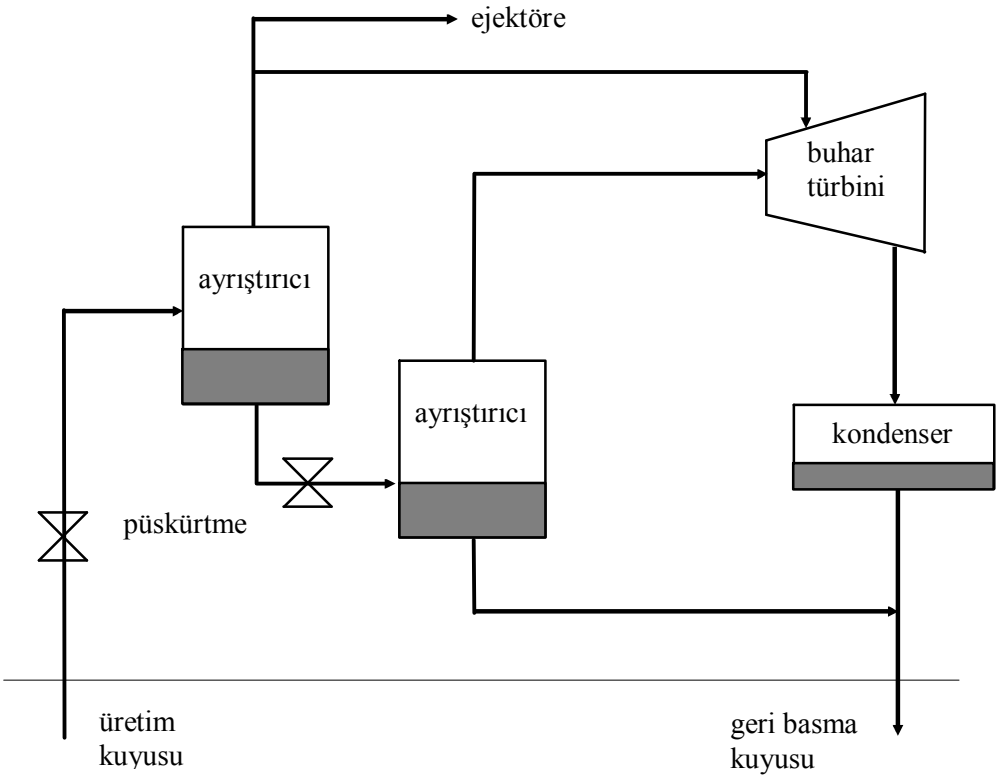
Şekil 2. Kondenserli kuru buhar çevrim jeotermal elektrik santrali.



Şekil 3. Suyun basınç-entalpi diyagramında püskürtme işleminin görünümü. Su 1 halinde doymuş sıvı, 2 halinde ise doymuş sıvı-buhar karışımıdır.



Şekil 4. Tek püskürtmeli çevrim jeotermal elektrik santrali.

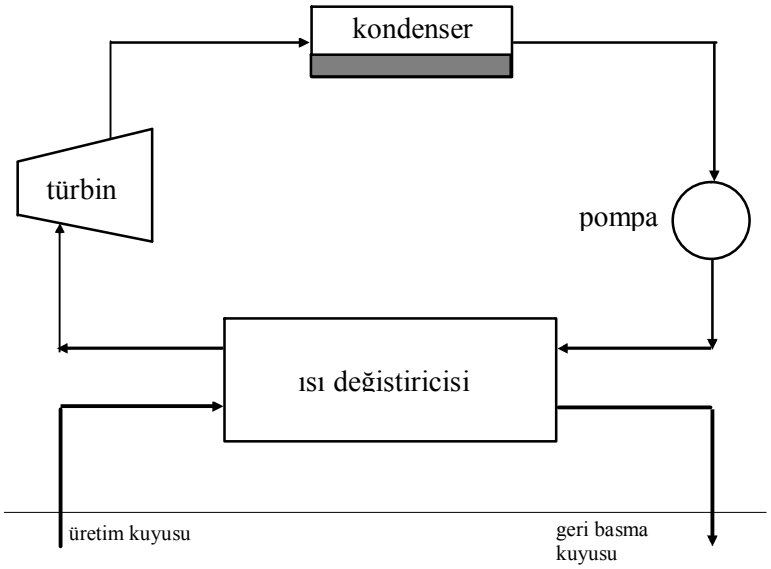


Şekil 5. Çift püskürtmeli çevrim jeotermal elektrik santrali.

2.3. İkincil Çevrim

Düşük sıcaklıkta (genellikle 170°C'nin altı) ve sıvı ağırlıklı jeotermal kaynaklardan elektrik üretiminde ikincil çevrim diye adlandırılan bir çevrim kullanılır (Şekil 6). Bu çevrimde türbinden geçen aracı akışkan jeotermal buhar değil fakat ikincil akışkan adı verilen ve kaynama sıcaklığı suyun kaynama sıcaklığından çok daha düşük olan bir akışkandır. Bu çevrimde jeotermal akışkan çevrimin ısı kaynağını oluşturur. İzobütan, izopentan, pentan ve R-114, jeotermal ikincil çevrim santrallerinde yaygın olarak kullanılan ikincil akışkanlardır.

Jeotermal akışkan kuyu başındaki basıncın yeterince yüksek tutulmasıyla tercihen % 100 sıvı olarak üretilir. Bunun nedeni akışkan akışı için gerekli olan pompa gücünün sıvı fazında daha düşük olması ve pompaların genelde sadece sıvı fazı için tasarlanmış olmasıdır. Jeotermal akışkan bir ısı değiştiricisinden geçirilir ve jeotermal akışkanın ısıl enerjisi ısı değiştiricisine diğer uçtan giren ikincil akışkana transfer edilir. Jeotermal akışkan ısı değiştiricisini düşük sıcaklıkta terk eder ve geri basılır. İkincil akışkan ısı değiştiricisinde ısınır ve tamamen buharlaşır ve ısı değiştiricisini doymuş buhar veya hafifçe kızmış buhar olarak terk eder. İkincil akışkan türbinden geçer ve ısıl enerjisi dönen mil mekanik gücüne çevrilir. Türbinin mili jeneratörün milini çevirerek mekanik gücün elektriğe dönüşmesini sağlar. Türbini düşük sıcaklıkta ve basınçta terk eden ikincil akışkan kondenserde yoğuşturulur. Daha sonra bir pompa yardımıyla basıncı tekrar ısı değiştiricisi basıncına yükseltilerek ısı değiştiricisine yönlendirilir. Böylece ikincil akışkan termodinamik anlamıyla bir çevrimi tamamlamış olur. İkincil akışkanın tamamladığı bu çevrim aslında Rankine çevrimidir. Jeotermal akışkanın bu santraldeki fonksiyonu sadece Rankine çevrimine ısıl kaynak oluşturmaktır. İkincil akışkanın termofiziksel ve kritik özellikleri ikincil jeotermal çevrimlerin performanslarını etkiler. Bu yüzden, belli bir jeotermal kaynaktan en fazla gücün üretilmesi için en uygun ikincil akışkanın seçilmesi gerekir.



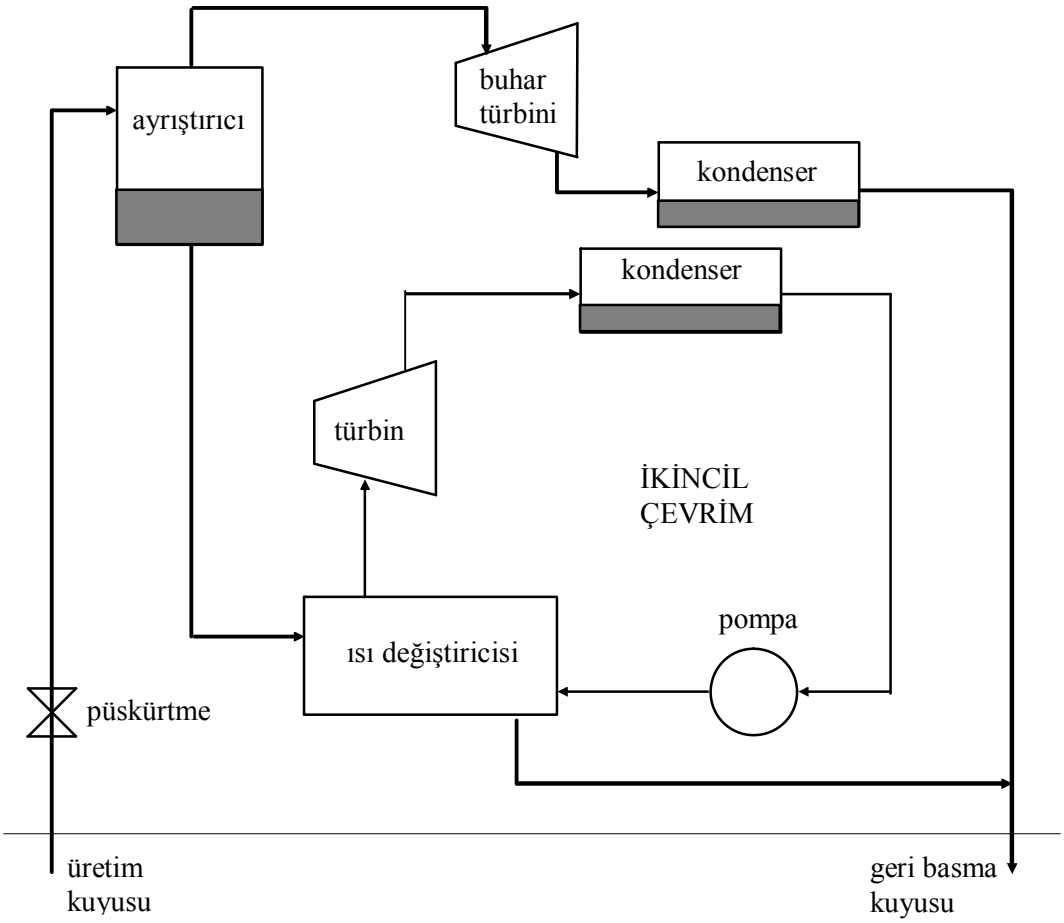
Şekil 6. İkincil çevrim jeotermal elektrik santrali.

Kondenserde soğutucu ortam olarak genellikle hava kullanılır. Jeotermal santralin yer seçimi jeotermal kaynağın yeriyle sınırlandırıldığından bir ırmak veya göl suyu ile soğutma genelde mümkün olmaz. Havanın soğutucu akışkan olarak kullanılması çevrenin temiz tutulmasına katkı sağlar fakat çevrimin verimini özellikle yaz günlerinde olumsuz olarak etkiler. Hava ile soğutmanın mevsimlere göre çevrim verimine etkisi gerçek bir ikincil çevrim jeotermal santral için incelenmiştir [3].

2.4. Birleşik Püskürtmeli / İkincil Çevrim

Jeotermal elektrik üretiminde özellikle son 20 yılda popüler olan bir çevrim birleşik püskürtmeli/ikincil çevrimdir (Şekil 7). Bu çevrim hem püskürtmeli hem ikincil çevrimlerin avantajlarından aynı anda yararlanmayı amaçlar. Bu çevrim yüksek sıcaklıktaki jeotermal kaynaklar için uygundur ve bu özelliğiyle çift püskürtmeli çevrimlere bir alternatif oluşturur. Jeotermal akışkan püskürtme havuzunda püskürtüldükten sonra elde edilen buhar bir buhar türbininden geçer ve elektrik elde edilir. Kondenserde yoğuşturulan jeotermal akışkan geri basılır. Püskürtme havuzundan çıkan jeotermal sıvı ikincil çevrimin ısı değiştiricisinden geçerek ısıl enerjisini ikincil akışkana transfer eder ve geri basılır. İkincil akışkan ikincil çevrimin türbininden geçerek elektrik elde edilir ve ikincil çevrim tamamlanır.

Birleşik çevrimde jeotermal buharın ve ikincil akışkanın geçtiği iki ayrı türbin vardır. Benzer jeotermal kaynakları kullanan çift püskürtmeli ve birleşik püskürtmeli/ikincil çevrimler karşılaştırıldığında birleşik çevrimden daha fazla elektrik üretilebildiği; çift püskürtmeli çevrimin ise yapım ve işletme masraflarının daha düşük olduğu görülür. Benzer bir karşılaştırma tek püskürtmeli ve ikincil çevrim için de geçerlidir. Belli bir jeotermal kaynaktan elektrik üretilmesi planlanıyorsa, en uygun çevrimin seçimi detaylı bir termodinamik ve ekonomik analiz sonucunda yapılabilir.



Şekil 7. Birleşik püskürtme/ikincil çevrim jeotermal elektrik santrali.

2.5. Çevrimlerin Verimleri ve Geliştirilme Potansiyelleri

Üretilen net gücün kaynaktaki veya kuyu başındaki jeotermal akışkanın enerjisine oranı olarak tanımlanan buhar çevrimlerinin ısıl verimleri % 10 ile % 17 arasında değişir. Bu yüzdelerin düşük olmasının nedeni jeotermal kaynakların düşük sıcaklıkta olmasıdır. Aynı şekilde tanımlanan ikincil santrallerin ısıl verimleri % 2.8 ile % 5.5 arasında değişir [4]. Bu yüzdelerin daha da düşük olmalarının nedeni ikincil santrallerin daha düşük sıcaklıkta jeotermal kaynakları kullanmalarıdır. Ayrıca ikincil santrallerin çoğu için soğutma ortamı olarak sadece hava mevcuttur ve bu nedenle kondenser sıcaklığı özellikle yaz aylarında yüksektir. Bu durum ısıl verimin düşük olmasına neden olur. Alternatif olarak ikincil santraller için üretilen net gücün ikincil akışkana transfer edilen ısıya oranı olarak bir dönüşüm verimi tanımlanabilir. Aslında tanımlanan Rankine çevriminin ısıl verimidir. Dönüşüm verimi % 6 ile % 12 arasında değişir. Yani bir ikincil santral kullanılan jeotermal enerjinin sadece % 6 ile % 12'sini elektriğe dönüştürürken geriye kalan % 88 ile % 94'ünü atmosfere atık ısı olarak atar.

Dünyada mevcut olan jeotermal elektrik santrallerinin çoğu 1970 ve 1980'lerde özellikle 1973 petrol krizinden sonra yapılmıştır. Alternatif enerji kaynaklarından elektrik üretmeye olan aşırı istek ve jeotermal enerjinin bedava olması nedenleriyle bu süreçte jeotermal santrallerin tasarımında gerekli dikkat gösterilmedi. Birleşik püskürtmeli/ikincil çevrimler ancak son 20 yılda pratiğe sunulabildi. Yeni jeotermal elektrik santrallerinin tasarımı yeni ve ileri teknolojiler kullanılarak yapılmaktadır. Bununla beraber, eskiden yapılmış jeotermal elektrik santrallerinde bugünkü teknolojilerin kullanılmasıyla yapılacak değişiklikler, bu santrallerin performanslarını % 50'ye varan oranlarda arttırabilir. Bu

değişiklikler arasında santral için farklı bir çevrimin seçilmesi, çevrimin çalışma şartlarının optimizasyonu, ikincil çevrimlerde ikincil akışkanın değiştirilmesi ve kojenerasyon (birleşik ısı-elektrik üretimi) uygulanması sayılabilir [5-7].

3. KOJENERASYON

Jeotermal enerji, yalnız elektrik üretimi için veya yalnız ısıtma gibi tekil uygulamalar için kullanılabileceği gibi kojenerasyon (birleşik ısı-elektrik üretimi) uygulamalarında da kullanılabilir. Tablo 1'de üçü tekil, ikisi kojenerasyon olmak üzere jeotermal enerjinin beş farklı kullanımı (elektrik, ısıtma, soğutma, elektrik – ısıtma, elektrik-soğutma) göz önüne alınarak, gerçekçi kabuller altında elde edilebilecek satış gelirleri bulunmuştur. Sonuçlar, elektrik üretiminden elde edilebilecek rakama bölünerek Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. Satış gelirleri açısından ısıtma ve soğutma uygulamalarının elektrik üretimine göre oldukça avantajlı olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, kojenerasyon uygulamalarının sadece elektrik üretimine göre cazip alternatifler sunduğu görülmektedir.

4. EKONOMİK VERİLER

Jeotermal uygulamalar ilk masraflarının yüksekliği ve çalıştırma ve bakım masraflarının azlığı ile bilinirler. Elektrik üretimi için olan toplam masrafların yaklaşık % 50'sini jeotermal akışkanın yer altından çıkarılması ve tekrar yer altına geri basılması % 40'ını elektrik santralinin yapılması ve kalan % 10'unu ise diğer masraflar oluşturur. Üretim ve geri basma kuyularının delme ve geliştirme masrafları üretilecek her kW elektrik için 500 dolarla 4000 dolar arasında değişirken elektrik santralinin yapım masrafları üretilecek her kW elektrik için 1500 dolarla 1700 dolar arasında değişir. Dolayısıyla toplam masraflar her kW için 2000 dolarla 6000 dolar arasında değişir. Çalıştırma ve bakım masrafları toplam elektrik üretimi masraflarının % 10'u ile % 20'si arasındadır. Elektrik üretim masrafları üretilen her kWh elektrik için 0.03 dolarla 0.12 dolar arasında değişir. Petrol ve kömür yakıtlı ve nükleer elektrik santrallerinde her kWh elektriğin masrafı yaklaşık 0.06 dolarken hidroelektrik santrallerinde bu masraf 0.03 dolarla 0.09 dolar arasındadır [8, 9]. Jeotermal elektrik santralleri hidroelektrik santrallerinden daha ekonomik olarak ve daha küçük boyutlarda yapılabilirler. Kondensersiz bir jeotermal elektrik santralinin yapım masrafı üretilecek her kW elektrik için 1050 dolarla 1250 dolar arasındayken kondenserli bir santralin masrafı 1500 dolarla 1700 dolar arasında değişir. İkincil bir santralin masrafı ise yaklaşık 1900 dolardır [10].

Jeotermal enerjinin doğrudan kullanım uygulamalarında maliyeti etkileyen faktörler arasında, kaynağın derinliği, kaynak ile kullanım yeri arasındaki mesafe, kuyu debisi, kaynak sıcaklığı, yük büyüklüğü, yük faktörü, akışkan yapısı, atık kolaylığı ve kaynak ömrü sayılabilir.

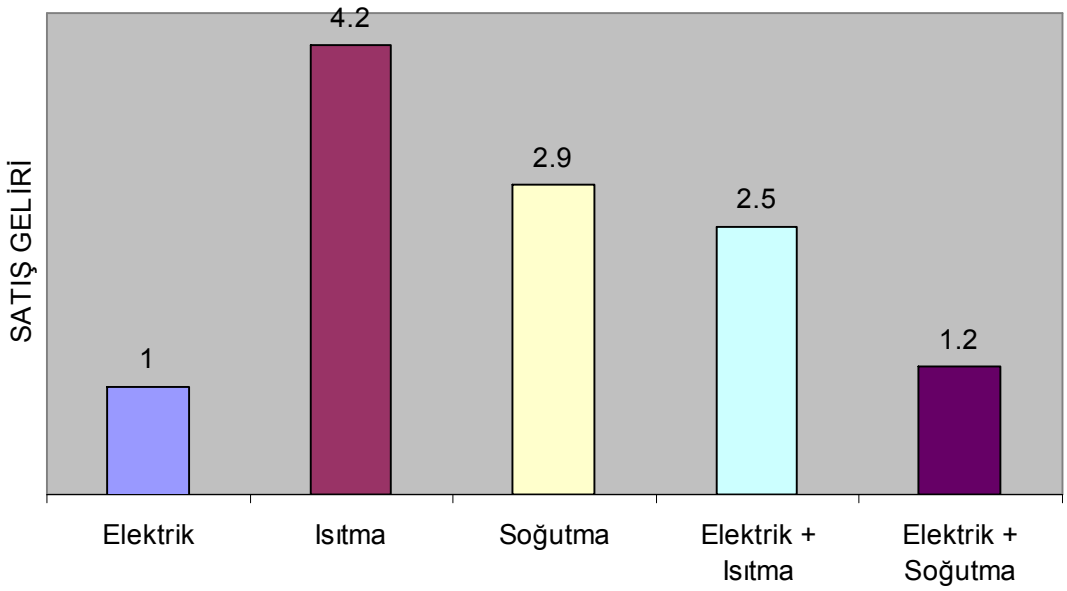
ABD'nin Nevada eyaletinin Reno kentinde yapılması planlanan bir jeotermal bölgesel ısıtma sisteminin birim kWh ısı için maliyeti 0.0805 dolar olarak hesaplanmış ve bu değer doğal gazın birim fiyatı olan 0.0193 dolar/kWh rakamına bölündüğünde 4.2 yıl geri ödeme süresi bulunmuştur. Aynı jeotermal kaynaktan elektrik üreten bir ikincil santralin maliyeti 1992 yılında 2000 dolar/kW veya 0.1142 dolar/kWh olarak ortaya çıkmıştı. Reno'da elektriğin birim fiyatının 0.0832 dolar/kWh olduğu dikkate alındığında geri ödeme süresi 1.4 yıl olmaktadır. Sonuç olarak ısıtmanın geri ödeme süresi elektrik üretiminin yaklaşık 3 katı olarak karşımıza çıkmaktadır.

Yaklaşık 200 ton (703 kW) kapasiteli bir jeotermal absorpsiyonlu soğutma sisteminin maliyeti 135.000 dolar iken soğutma kulesi, pompalar ve borulama maliyetleri de ilave edildiğinde bu maliyet 180.000 doları bulmaktadır. ABD'de Oregon Teknoloji Enstitüsü'nde kurulan 150 ton (528 kW) kapasiteli bir absorpsiyonlu soğutma sisteminin geri ödeme süresi 15 yıl olarak ortaya çıkmıştır. Bu uzun sürenin nedenleri arasında elektriğin ucuzluğu, sistemin küçüklüğü, düşük kaynak sıcaklığı (90°C) ve yıllık

Tablo 1. Jeotermal enerjinin farklı kullanımlarında elde edilebilecek gelirlerin karşılaştırılması.

Parametre	Jeotermal Elektrik Üretimi	Jeotermal Isıtma	Jeotermal Absorpsiyonlu Soğutma	Elektrik Üretimi + Isıtma		Elektrik Üretimi + Soğutma	
				Elektrik üretimi	Isıtma	Elektrik üretimi	Soğutma
Jeotermal su miktarı, m	10,000 kg	10,000 kg	10,000 kg	10,000 kg	10,000 kg	10,000 kg	10,000 kg
Jeotermal suyun kaynak sıcaklığı, T_s	165°C	165°C	165°C	165°C	90°C	165°C	115°C
Jeotermal suyun çıkış sıcaklığı, T_d	90°C	50°C	95°C	90°C	50°C	115°C	95°C
Kullanılan jeotermal ısı miktarı, $Q_u = mC_p(T_s-T_d)$ $C_p = 4.18$ kJ/kg·°C	3,135,000 kJ veya 870.8 kWh	4,807,000 kJ veya 1335 kWh	2,926,000 kJ veya 812.8 kWh	3,135,000 kJ veya 870.8 kWh	1,672,000 kJ veya 464.4 kWh	2,090,000 kJ veya 580.6 kWh	836,000 kJ veya 232.2 kWh
Dönüşüm verimi, η_c	0.12	1.0	1.1	0.12	1.0	0.12	0.7
Sağlanan enerjinin miktarı, $E_d = \eta_c Q_u$	104.5 kWh	1335 kWh	894.1 kWh	104.5 kWh	464.4 kWh	69.7 kWh	162.5 kWh
Jeotermal kaynağın yerine geçtiği enerji sistemi	Elektrik	Doğal gaz kazanı, verim = 0.90	Elektrikli soğutucu, COP = 3	Elektrik	Doğal gaz kazanı, verim = 0.90	Elektrik	Elektrikli soğutucu, COP = 3
Elektriğin ve doğal gazın birim fiyatı, UP *	0.1278 YTL/kWh	0.03782 YTL/kWh	0.1278 YTL/kWh	0.1278 YTL/kWh	0.03782 YTL/kWh	0.1278 YTL/kWh	0.1278 YTL/kWh
Satış geliri: Elektrik üretimi: $PR_{pg} = E_d \times UP$ Isıtma: $PR_h = (E_d/0.90) \times UP$ Soğutma: $PR_c = (E_d/3) \times UP$	13.35 YTL	56.10 YTL	38.09 YTL	13.35 YTL	19.52 YTL	8.91 YTL	6.92 YTL
Toplam satış geliri	13.35 YTL	56.10 YTL	38.09 YTL	32.87 YTL		15.83 YTL	

* Enerjinin birim fiyatı elektrik için 0.1278 YTL/kWh ve doğal gaz için 0.3626 YTL/m^3 (0.03782 YTL/kWh) alınmıştır. Doğal gazın ısıl değeri 8250 kcal/m^3 (34518 kJ/m^3) alındı. Kaynak: İGDAŞ: igdas.com.tr [13]



Şekil 8. Jeotermal enerjinin farklı kullanımlarından elde edilebilecek satış gelirleri. Değerler Tablo 1'den alınmış ve elektrik üretimi değerine bölünmüştür.

soğutma yükünün küçüklüğü sayılabilir. Jeotermal soğutma sistemleri sadece yüksek soğutma yükü, yüksek elektrik fiyatı olan yerlerde ve büyük sistemlerde cazip bir soğutma yatırımı sağlayabilir [11].

Jeotermal bölgesel ısıtma ve soğutma sistemleri büyük ölçekli yatırım gerektirirler ve geri ödeme süreleri uzundur. Bunun sonucu olarak dünya çapında elektrik üretimine olan yatırım doğrudan uygulamaların yaklaşık iki katıdır [12].

KAYNAKLAR

[1] ASHRAE Handbook of Applications, Ch. 29, American Society of Heating, Refrigerating, and Air - Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, 1995.
[2] HOCHSTEİN, M.P., "Classification and Assessment of Geothermal Resources", UNITAR/UNDP Center on Small Energy Resources, Rome, Italy, 1990.
[3] KANOĞLU, M., ÇENGEL, Y.A., "Improving the Efficiency of an Existing Binary Geothermal Power Plant: A Case Study". Transactions of the ASME, Journal of Energy Resources Technology. Vol. 121, No. 3, September 1999b.
[4] BARBİER E., "Nature and Technology of Geothermal Energy: A Review", Renewable & Sustainable Energy Reviews-An International Journal, Vol.1, Number 1/2, pp. 1-69, 1997.
[5] KANOĞLU, M., ÇENGEL, Y.A., TURNER, R.H., "Incorporating a District Heating/Cooling System to an Existing Geothermal Power Plant", Transactions of the ASME, Journal of Energy Resources Technology, Vol. 120, No. 2, pp. 179-184, June 1998.
[6] KANOĞLU, M., ÇENGEL, Y.A., "Retrofitting a Geothermal Power Plant to Optimize Performance: A Case Study", Transactions of the ASME, Journal of Energy Resources Technology, Vol. 121, No. 4, September 1999a.
[7] KANOĞLU, M., ÇENGEL, Y.A., "Economic Evaluation of Geothermal Power Generation, Heating, and Cooling", Energy-The International Journal, Volume 24, Issue 6, pp. 501-509, June 1999c.
[8] ALLEGRİNİ, G., BARBİER, E., The geothermoelectric Generation in Italy: Planning Strategies, Experience Gained During Operation, and Cost Analysis, VDI Berichte 1024. VDI Verlag, Munich, Germany, 1993, pp. 123-139.

[9] GOULD, W.R., Edison's QF Experience. Proc. Geothermal Energy-The Environmentally Responsible Energy Technology for the Nineties, Geothermal Program Review XI, U.S. Dept. of Energy, CONF/-930484, 1993.
[10] HUDSON, R.B., Geothermal Energy, John Wiley & Sons, Chichester, 1995.
[11] LİENAU, P.. AND LUNİS, B.C., Geothermal Direct Use Engineering and Design Guidebook. U.S. Department of Energy, Idaho Operations Office, 83415 DE-FG07-90ID 13040, Idaho Falls, Idaho, 1991.
[12] FRİDLEİFSSON, I.B., FREESTON, D.H., Geothermics, 1994, 23, p. 175.
[13] İGDAŞ: igdas.com.tr

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet KANOĞLU

1972 yılı Gaziantep doğumludur. 1992 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. Yüksek lisansını ve doktorasını ABD'de Nevada Üniversitesi, Reno'da 1996 ve 1999 yıllarında tamamlamıştır. 2002 yılında doçent olmuştur. 2000 yılından beri Gaziantep Üniversitesi'nde görev yapmaktadır. Yayınlanmış bir uluslararası kitabı ve 14'ü uluslararası makale olmak üzere yaklaşık 35 makale ve bildirisi bulunmaktadır. Çalıştığı alanlar arasında jeotermal enerji, dizel kojenerasyon, enerji yönetimi ve tasarrufu, nem almalı soğutma sistemleri ve LNG santralleri sayılabilir.