

KIZILDERE JEOTERMAL SANTRALİNİN 23 YILLIK PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Umran SERPEN
Nebi TÜRKMEN

ÖZET

Bu çalışmada öncelikli olarak Kızıldere jeotermal santrali tüm elemanlarıyla birlikte tanıtılmaktadır. Daha sonra, bu santralin geçmiş 23 yıllık performansı incelenmekte ve bir öğrenme eğrisi çerçevesinde değerlendirilerek, planlama ve işletme konusunda çıkarılan dersler takdim edilmektedir. Bundan sonra, santralde kullanılan buhar çevriminin basit olarak ekserjik analizi yapılarak, iki kademeli buhar türbini çevrimiyle karşılaştırılarak bir değerlendirme yapılmaktadır. Bunun yanında, 1970'te planlanan "binary çevriminin" bir değerlendirmesi yapılarak sonuçlar çıkarılmakta, jeotermal akışkandan kaynaklanan ve kuyuların yanında yüzey donanımlarında oluşan çökeltme sorunu incelenerek, çözümleri rapor edilmektedir. Ayrıca, santralin ekonomisi analiz edilmekte ve değerlendirilmektedir.

1. GİRİŞ

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. Şimdiye dek literatürde kapasitesi 20.4 MW_e olarak verilmesine rağmen, gerçek gross üretimi 17.4 MW_e'tir.

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, Kızıldere jeotermal sahası ilk bulunduğu durumu itibarıyla incelenirse; sıvının 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.

Kızıldere jeotermal santrali 23 yıldır elektrik üretmekte olup, bu müddet zarfında toplam 1.76 milyar kWh_e enerji üretmiştir. Ortalama yıllık üretim yaklaşık 76 milyon kWh civarındadır. Bu çalışmanın amacı santralin geçmiş performansını inceleyerek, gelecekteki performansının iyileştirilmesi konusunda önerilerde bulunmaktır.

2. KIZILDERE JEOTERMAL SAHASINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ

2.1. Kızıldere Jeotermal Santralı Fizibilite Aşamaları

Rogers Engineering Co. [1], 1972 yılında 28.8 MW_e gücünde bir çift akışkanlı “binary” santral önermiş ve bunun için bir ön fizibilite de sunmuştu. Çift akışkanlı bu santral 2000 ton/st jeotermal akışkan kullanacak ve jeotermal akışkan kuyulardan yer altı pompalarıyla, basıncı düşmeden ve CO₂ ayrılmadan, pompalanacaktı. Ancak, o devirde 200°C sıcaklıkta çalışan dalgıç pompa yoktu. Halen de bu sıcaklıkta çalışan ticari bir dalgıç veya şaftlı pompa bulunmuyor. Japonlar [2] 2000 yılında bir prototip dalgıç pompa ortaya çıkardılar, ancak bu da ticari olarak devreye girmedi. Pompaların dalgıç pompa olması gerekiyordu, çünkü gaz kilitlenmesini engellemek amacıyla kuyu içinde 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 [1]. Bu yöntemde, üretilen yoğunlaşmayan gazlar bir tübing vasıtasıyla üretim yapılan kuyuya tekrar basılarak kuyu basınç altında tutuluyor ve akışkan pH'ı düşürülüp, CaCO₃ çökmesi engelleniyordu. ABD’de 1980’li yılların başında denenilen ve literatüre geçen bu yöntem maalesef uygulamaya geçemedi, bunun nedeni de kuyuya gaz basılması için indirilmesi gereken tübing dolayısıyla, üretimin kısıtlanması yanında, korozyon sorunlarıydı. Rogers Co. tarafından önerilen çift akışkanlı santralın çalışma sıvısı iso-bütan olacaktı [1].

Rogers Co.’nun önerisi, o zamanlar ticari hiçbir çift akışkanlı santralın 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, çevre deşarj koşullarıyla birlikte rezervuarın performansının düşmesini de dikkate alarak 10 MW_e gücünde bir santralın uygun olacağını rapor etti [3]. MTA ilgilileri bu gücün düşük olduğunu düşünerek, 20 MW_e gücünde bir santral için fizibilite hazırlattılar ve sonuçta 17.8 MW_e gücünde bir santral kuruldu. Geriye bakıp, Kızıldere jeotermal santralının ortalama 10 MW_e’lık güç ürettiği dikkate alınırsa (Bkz. Böl. 2.3), UNDP’nin akıllıca ve ihtiyatlı bir yaklaşım sergilediği düşünülebilir.

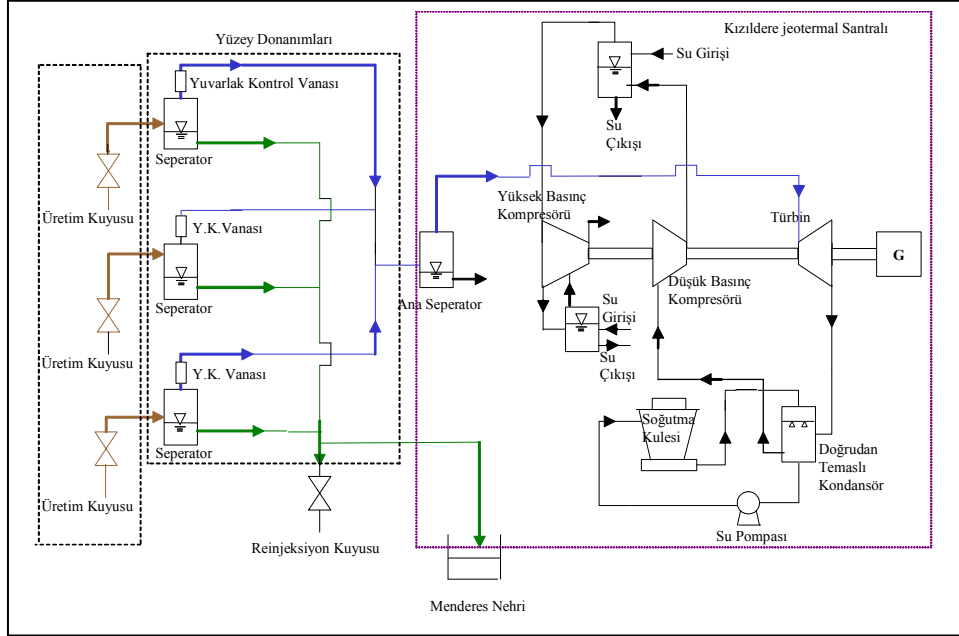
2.2. Kızıldere Jeotermal Santralı

Kızıldere jeotermal santralı 1982 yılında kurulmaya başlanmış olup, 1984 yılında devreye alınmıştır. Santral klasik bir buhar türbini elektrik üretim tesisidir. Kızıldere jeotermal santralı konvansiyonel tek flaş (single flash) ünitesi olup, gross kapasitesi 17.8 MW_e, net üretim gücü (rated power) ise 15 MW_e’dir. Kızıldere jeotermal santralı ve Kızıldere jeotermal sahasıyla birlikte işletme şeması Şekil 1’de verilmektedir. Santral: (1) yüzey donanımları, (2) elektrik santralı olmak üzere 2 önemli ana eleman üzerinden değerlendirilmelidir.

Şekil 1’de görüldüğü gibi, yüzey donanımları ana vanalar ve servis kontrol vanaları, separatörler, “silencer” olarak adlandırılan atmosferik separatörler, bunlara bağlı kontrol vanaları, buhar iletim hatları ve reenjeksiyon iletim hatlarını içermektedirler. Bu arada her kuyubasında 2 adet separatör bulunmaktadır. Bunun amacı, kalsit çökmesiyle dolan separatörün vakit kaybetmeden yedeklenmesidir. Yüzey donanımlarının özellikleri Tablo 1’de verilmektedir.

Elektrik santralı da (Şekil 1); ana nem separatörü, türbin, kondansör, 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 şaft üzerine monte edilmiştir. Jeneratör de aynı şaft 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 kondansöre geçer. Kondansör doğrudan temaslı tip olup, ısı transfer katsayısı yüksektir. Soğutma için kullanılan su miktarı 2375 kg/s olup, “nozzle”larla buhar üzerine püskürtülmektedir. Kondansör korozyona dayanıklı olması için, paslanmaz çelikten imal edilmiştir.

Türbinden geçen yoğuşmayan gazlar (karbon dioksit) kondansör içinde boşluk oluşmasını engelledikleri için, 2.38 MW_e gücündeki iki kademeli (düşük ve yüksek basınç) ve çift soğutmalı vida tipli bir kompresörle kondansörden alınmakta ve karbon dioksit üretme ünitesine sevkedilmektedir. Soğutma kulesi ıslak tip olup, 4 adet her biri 110 kW'lık fan ile soğutma yapılmaktadır [4]. Santralin karakteristikleri Tablo 2'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Kızıldere jeotermal sahası yüzey donanımlarıyla jeotermal santral [4].

Tablo 1. Yüzey Donanımlarının Özellikleri [4].

Tanım	Özellikler
Kuyubaşı Basınçları, bar	11-29
Seperator Basınçları, bar	3.5-4.5
Seperator Sıcaklıkları, °C	147

Tablo 2. Elektrik Santralının Özellikleri [4].

Tanım	Özellikler
Türbin giriş basıncı, bar	3.5
Türbin giriş sıcaklığı, °C	147
Türbin çıkış basıncı, bar	0.09
Türbin çıkış sıcaklığı, °C	51
Türbin çıkışında buhar nemliliği, %	85
Santralin kurulu gücü, MW _e	17.38
Santralin net üretim gücü, MW _e	15
Kompresör gücü, MW _e	2.38
Kompresör kapasitesi, 1000 m ³ /h	293.5
Parazitik güç, MW _e	0.472
Kondensör giriş sıcaklığı, °C	28
Kondensör çıkış sıcaklığı, °C	39

Varolan jeotermal buhar türbininde, 465 kJ/kg'lık izentropik ısı düşümü için özgül buhar tüketimi 10.7 ve 11.03 kg/kWh'tir. Rezervuar ve deşarj sıcaklıklarının 200°C ve 48°C olarak varsayılması durumunda, faydalı ısı 120 kJ/kg ve deşarj ısısı 540 kJ/kg olarak hesaplanmıştır.

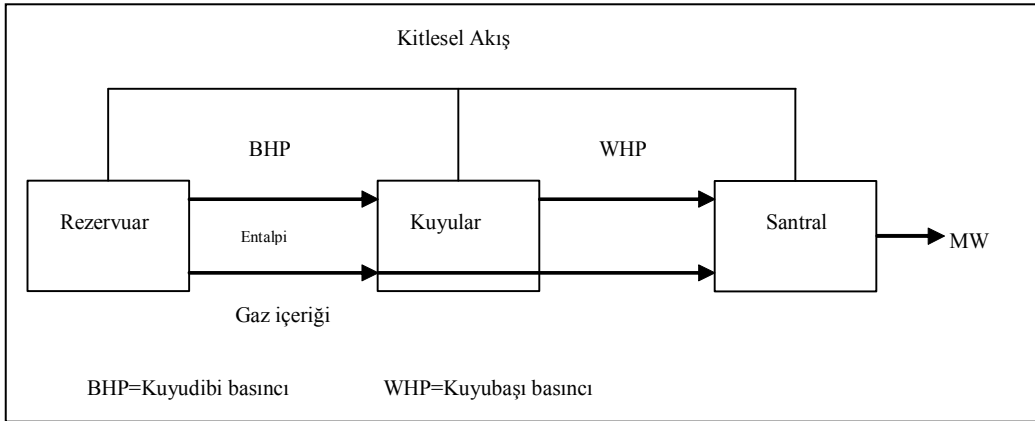
Santralin ısı deşarj oranı 4.65 olarak hesaplanmıştır. Bu değer kaynak sıcaklığının düşük olması nedeniyle yüksektir. Eğer 240°C sıcaklıktaki derin termal rezervuar tam olarak geliştirilirse, bu oran 3.65'e düşecektir. Fosil yakıtlı santrallarda ise ısı deşarj oranı 1.1 civarındadır [4].

Kızıldere gibi yüksek gaz içeriği olan jeotermal akışkanlarla çalışan santrallarda kondensörden gazın çıkarılması güç üretimini etkileyen önemli bir sorundur. Türbinin performansı türbin egzosunda korunan geri basınca bağlıdır. Geri basınç buhar ve CO₂'in kısmi basınçlarının toplamıdır. Buharın kısmi basıncı çıkış sıcaklığına karşı gelen doymuşluk basıncıdır. CO₂'in kısmi basıncı ise onun kütle oranına bağlıdır. Kızıldere santrali için CO₂'in kısmi basıncı 0.3 bar.a olarak hesaplanmıştır. CO₂'in varolan enerjisi buhardan az olduğu için, buhardaki CO₂'in derişiminin artmasıyla türbinin özgül üretimi azalacaktır. Bununla birlikte, türbinin toplam üretiminde CO₂ dolayısıyla artış olacaktır. Kızıldere jeotermal santralında CO₂'in genişmesi dolayısıyla oluşan artış %5 civarındadır. Diğer taraftan güç üretiminde CO₂'ten dolayı azalma %13 civarındadır. Bunun yanında, 773 kW'lık enerji kompresör için kullanılacak olup, genel kayıp %12 civarında olacaktır [4].

2.3. Kızıldere'den Elektrik Üretimi Geçmiş

Kızıldere jeotermal santrali 1984 yılında devreye alındığında, hidrolik ve termik santrallarda geniş deneyimi olan EÜAŞ (o zamanki TEK) jeotermal elektrik santrali işletme tecrübesine sahip değildi.

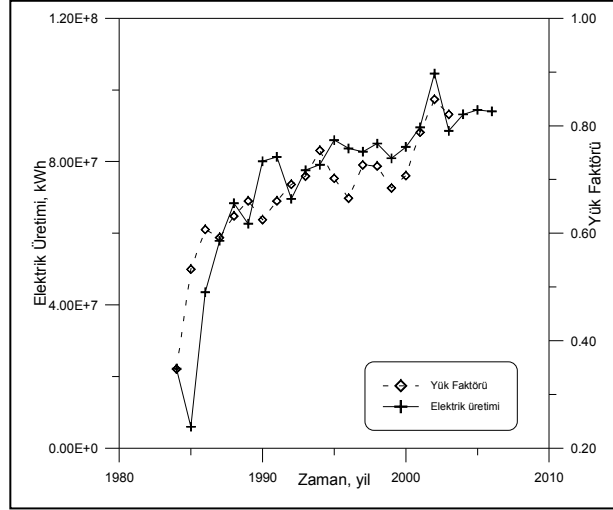
Diğer santrallardan farklı olarak jeotermal santrallar jeotermal rezervuarlara bağımlıdırlar. Şekil 2 akışkan akışı ve sahayı işletmenin bilgilerini göstermektedir. Sistemin toplam performansı üç ana parçanın, diğer bir deyişle (1) rezervuar, (2) kuyular ve (3) yüzey donanımlarının birlikte çalışmasının sonucudur. Rezervuarın o anki durumu ve kuyuya gelen kütleli akışkan akışı tahmin edilirse, kuyudibindeki basınç belirlenir. Akışkan entalpisi ve gaz içeriği kuyubaşı basıncını tayin eder. Kuyubaşı basıncı, entalpi ve gaz içeriği bu kez boru hatları, separatörler ve türbinin performansını belirler. Ayrıca, gaz içeriği tüm sistemdeki çökelmeyi de kontrol eder [5].



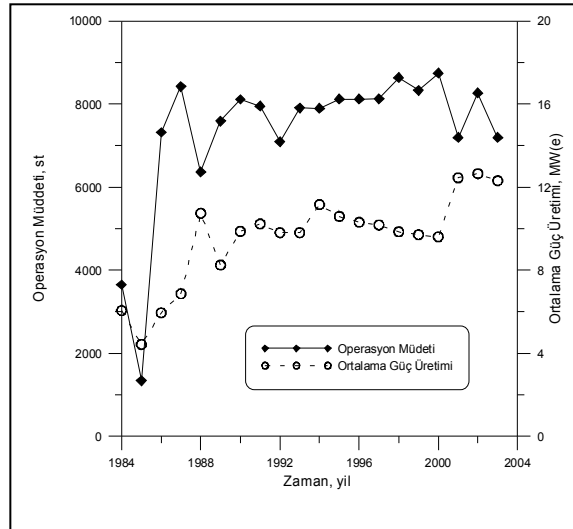
Şekil 2. Rezervuar, kuyular ve santral ilişkisi [5].

Şekil 3 ve Şekil 4 Kızıldere jeotermal santralından enerji ve güç üretiminin zamanla değişimini göstermektedirler. Özellikle Şekil 3'teki enerji üretimi ile Şekil 4'teki ortalama güç üretimi tipik bir öğrenme eğrisi görünümündedirler. Bu eğriler dikkatle incelenirse, üretimin jeotermal saha davranışına ve yönetime çok bağımlı olduğu görülecektir. İlk 3 yıldaki düşük enerji üretimi, başlangıçtaki öğrenim aşamasında yönetim ve operasyonel sorunlardan kaynaklanmaktadır. En önemli operasyonel sorunlar kuyulardaki CaCO₃ çökmesinden doğmuş ve yönetim bunu aşmak için kuyuları öldürmeden temizlemek ve temizleme işlemini hızlandırmak için gerekli donanımı (Rotating Head Preventer) kullanılmıştır. Yönetim 1986 yılında santralin gereksinimi olan buhar eksikliğini algılamış ve 3 yeni üretim kuyusu devreye alınmıştır.

Bundan sonra, elektrik üretimi 1988 yılında bir maksimuma ulaşmıştır. Aynı yıl üretim süresinin azaldığına dikkat çekmek gerekir, çünkü o yıl ortalama güç üretimi de maksimum olmuştur. Asitleme uygulamasıyla artan üretim 1991 yılında yeni bir maksimuma ulaşmıştır. Yıl 1991'den sonra üretim azalması operasyonel sorunlar sonucu olup, çalışma saatlerinin düşmesinden de gözlenebilir. Enerji üretimi 1993'te tekrar eski seviyesine, artan çalışma saatleriyle, dönmüş ve 1995 yılında bir maksimuma daha yükselmiştir. Bundan sonra, çalışma saatlerinde hafif bir artışa rağmen, enerji üretiminde hafif bir düşüş gözlenmiştir. Bu düşüş, rezervuar basıncının zamanla az da olsa sürekli düşmesi nedeniyle, rezervuarda üretilebilirliğin (produktivite) düşmesine atfedilebilir. Enerji üretiminde 2001 yılında gözlenen en büyük yükselim R-1 kuyusunun devreye alınmasındandır. Aynı eğilim Şekil 4'teki güç üretiminde de gözlenmektedir [4].



Şekil 3. Kızıldere sahasından enerji üretimi ve yük faktörü.



Şekil 4. Kızıldere sahasında operasyon müddeti ve ortalama güç üretiminin değişimi [4].

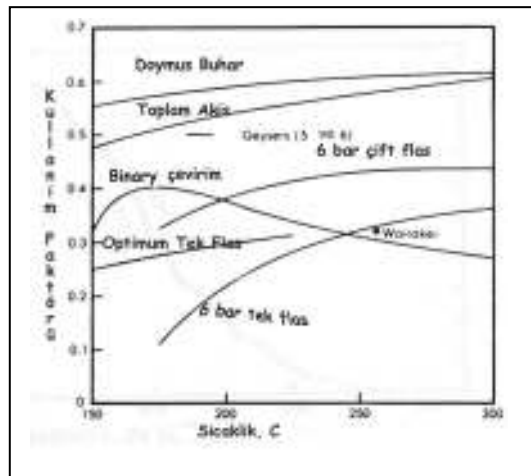
3. KIZILDERE JEOTERMAL SANTRALININ DEĞERLENDİRİLMESİ

3.1. Termodinamik Kriterler

Kızıldere jeotermal santralının termodinamik verimlilikleri Tester (1982) tarafından önerilen kullanım ve çevrim verimliliği formülleri [6] kullanılarak, bulunmuştur. Jeotermal santralın termodinamiğın 1. yasasına göre verimliliği olan ve kullanım verimliliği olarak adlandırılan verimliliği, η_k %12 olarak hesaplanmıştır. Termodinamiğın ikinci yasasına göre verimlilik olan çevrim verimliliği, η_c ise %25 olarak hesaplanmıştır. Jeotermal akışkanın ısısının küçük bir kısmı kullanıldığı için, çevrim veriminin kullanım veriminden ($\eta_c > \eta_k$) fazla olması normaldir ve kaynağın kötü kullanıldığı anlamına gelmektedir. Bu da, jeotermal kaynakların görece düşük sıcaklıklara sahip olması nedeniyle oluşan kaynağa özgü bir durumdur.

Kullanım verimi kavramı, aynı kaynak koşullarında buhar çevrimleriyle çift akışkanlı çevrimleri karşılaştırmak için yararlı bir yöntem olmuştur. Kızıldere'de kurulacak bir çift akışkanlı çevrimin kullanım verimi % 27 civarında tahmin edilmiş olup, önemli bir gelişmeyi yansıtmaktadır. Diğer taraftan, olası bir çift flaşlı buhar çevriminin verimi ise % 16.5 olarak tahmin edilmiştir [7]. Bu sonuçlardan da gözleneceği gibi, çifte flaş ve çifte akışkanlı çevrimler varolan tek flaşlı çevrimden verimli olabileceklerdir.

Öte yandan dikkat edilmesi gereken önemli bir konu, çifte akışkanlı çevrimlerin kendi içindeki verimleridir. Şekil 5'te çifte akışkanlı çevrimlerin diğer buhar prosesleriyle mukayeseli olarak verilen kullanım verimleri gösterilmektedir. Burada dikkat çeken, çifte akışkanlı çevrimlerin, kullanım veriminin kaynak sıcaklığının 170°C olması durumunda optimum olduğudur. Bu sıcaklığın altında ve üzerindeki verimler düşmektedir. Kızıldere jeotermal sularının 200°C civarında olması, olası çifte akışkanlı bir çevrimde önemli bir verimlilik kaybına neden olacağını göstermektedir.



Şekil 5. Çeşitli çevrimlerin kullanım verimlilikleri [8].

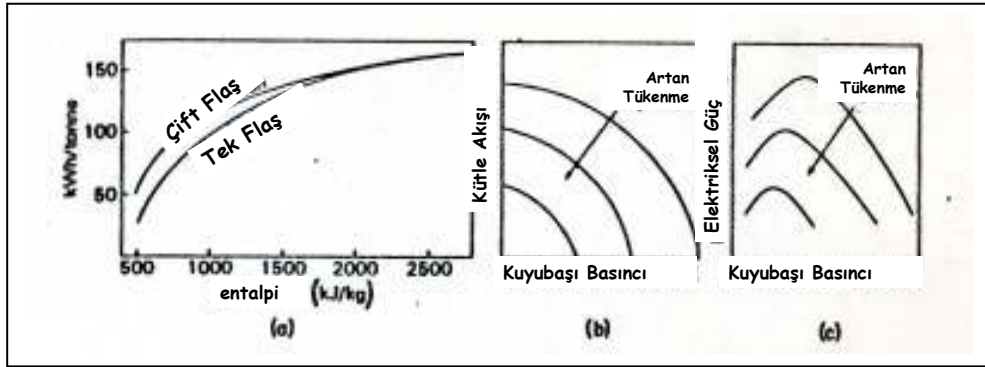
3.2. Güç Çevrimi Performansı

Kızıldere jeotermal santralının tek ve çift flaşlı olması durumundaki çevrim verimleri Bodvardsson ve Eggers (1972) yöntemi [9] kullanılarak karşılaştırılmıştır. Serpen ve Türkmen, (2001) [7], Bodvardsson ve Eggers (1972)'in ekserji tablolarını kullanarak yukarıda bahsedilen karşılaştırmayı basit olarak yapmışlardır. Bu çalışmaya göre, tek flaş sistemi Kızıldere'de teorik olarak varolan ekserjinin % 49'unu kullanacak olup, iyi bir verim olarak görünmekteydi. Çifte flaşta ise bu değer % 69'a erişmekte ve % 40'luk bir avantaj sağlamaktaydı.

Bodvardson ve Eggers, (1972) kendi çalışmalarında [9] 250°C sıcaklığında bir kaynak için bu avantajı %25 olarak bulmuşlardı. Bu, kaynak sıcaklığı düştükçe çift flaş'ın tek flaş'a üstünlüğünün arttığı anlamına gelmektedir. Yokoa ve Sato, (1997) da [10] çalışmalarında aynı sonuca varmışlardır.

3.3. Mühendislik Tasarım Kriterleri

Rezervuar ve yeryüzündeki santralin etkileştiği tasarım kriteri kuyubaşı basıncıdır. Belli bir kuyubaşı basıncında rezervuar mühendisi kuyuya akışı şimdiki zaman ile gelecek için tahmin eder ve aynı basınçta santralin birçok kısmı optimize edilebilir. Herhangi bir kuyudan elde edilecek en fazla üretim, kuyubaşı basıncını düşürürken, artan kitlesel akış ile türbin giriş basıncının düşürülmesiyle azalan türbin ısıl verimliliği arasındaki denge tarafından kontrol edilir. Optimum durum Şekil 6'daki maksimumdur. Bununla birlikte, rezervuar zamanla tükenir ve maksimum daha düşük basınçlara ötelenir [5]. Daha yüksek kuyubaşı basınçlarındaki daha düşük üretim yeni kuyular yapılarak dengelenir. Kızıldere jeotermal sahasında 1986 ve 2001'de yapılan kuyuların anlamı budur. Kuyubaşı basınçları düşünce, aynı kuyubaşı basıncında yeterli üretimi tutturabilmek için yeni kuyuların yapılması gerekmiştir. Bu nedenle, sahanın ömrü boyunca türbinleri tadil etmemek için, sistemin karşılaşılabilecek en düşük basınçlarda tasarlanması gerekir. Genelde yeni kuyular yapmak yerine, türbini yüksek basınç için tasarlamak ve daha sonra tadil etmek daha ekonomiktir [5].



Şekil 6. Jeotermal akışkandan elektrik üretiminin ısıl verimliliği [5].

4. EKONOMİK DEĞERLENDİRME

Rogers Co. 1972 yılında 28.8 MW_e gücünde bir çift akışkanlı santrali kurmak, 4 yeni kuyu delmek ve alt elektrik istasyonuyla birlikte iletim hattı için 10.7 milyon \$'lık bir teklif vermişti [1]. Santralin 370 \$/kW_e'lik maliyeti o zaman ve yepyeni bir teknoloji için olağanüstü düşüktü. Unutulmaması gereken bir konu da o zamanki elektrik fiyatlarıydı ki, mills/kWh olarak ifade edilirdi. Diğer bir deyişle şimdiki elektrik fiyatlarınının 1/10'u seviyelerindeydi. Bu sistem teknik nedenlerle reddedildi.

Kızıldere jeotermal santrali bundan 10 yıl sonra (1982) 28.75 milyon dolara satın alınmış olup, bunun % 45'i yirmi yıl vadeli % 1.5 faizle yardım kredisi, geri kalan % 55'i ise pazar koşullarında ihracat kredisi olarak verilmiştir [11]. Santral için kredi koşulları uygun olmasına rağmen 1650 \$/kW maliyeti aşırı yüksektir. Yirmioç yıl önceki bu fiyat, o zaman için de fahiştir. Yine de, geçen zaman içinde 1.76 milyar kWh elektrik üreten santral kendisini amortize etmiş sayılır.

Serpen ve Gülgör (1997)'ün detaylı ekonomik analizlerine göre [11], santralın 15 MW_e yerine 10 MW_e üretmesi ve devletin uzun yıllara yayılan yatırım politikası dolayısıyla, yatırım negatif NPV göstermektedir. Yıl 1968'de 3 milyon \$ kadar tutan yatırımların, 1982'deki maliyeti 16 milyon \$'a ulaşmıştır. Bu miktar santralın zaten yüksek olan kendi maliyetine eklenince negatif NPV elde edilmesi normaldir. Geciken yatırımlara rağmen eğer santral 15 MW_e üretseydi, projenin NPV değeri 25 milyon \$ ve iç karlılık oranı %24 olacak ve karlı bir yatırım haline gelecekti. Öte yandan, santral 10MW_e gücünde satın alınsaydı, gecikmiş yatırımlara rağmen yine de 3.5 milyon \$'lık bir NPV'si olacaktı.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Kızıldere jeotermal santralının değerlendirilmesinde öne çıkan konulardan bir güç çevriminin seçimidir. Yapılan hesaplar çift akışkanlı çevrim ile iki flaşlı proseslerin varolan tek flaşlı sistemden birim üretilen akışkan başına çok daha fazla enerji üreteceği kesindir. Ancak, gerek "binary" teknolojisinin o zamanın koşullarında hazır olmaması ve gerekse iki flaşlı sistemde daha düşük basınçlar uygulandığından, çökeltme sorununun başedilemez hale gelmesi [12,13], çok daha basit tek flaş sisteminin kurulması sonucunu getirmiştir.

Bu durumda, güç üretimini artırmak için 147°C'taki atık suyun enerjisinden faydalanarak ayrı bir "binary" santral kurulabilir. Halihazırda 7 MW_e civarında böyle bir santral kurulmuş olup test aşamasındadır. Ancak, 147°C'taki atık suyun reenjeksiyonu ile karşılaştırıldığında, çift akışkanlı santraldan atılacak 80°C'taki suyun reenjeksiyonu son derece riskli olup, rezervuarı soğutma sonucunu da doğurabilir. Bu konu hakkında model çalışmaları yapılmadan kesinlikle bu tür bir işletmeye girmek sakıncalıdır. Dikkate alınması gereken diğer bir husus ta, bu santralın özelleştirilmesidir. Santral özel sektörün eline geçince tüm atık suyun reenjeksiyonunun yapılması gerekecektir. Şimdilerde kısmi yapılan reenjeksiyon tam olarak hem de 80°C'ta yapılırsa, bunun sonucunun ne olacağı belli olmayıp, çok risklidir [14].

Sahanın ekonomik değerlendirilmesinden de görüleceği gibi (Bkz. Böl. 4), Kızıldere'den yapılacak elektrik üretiminin artması, projenin ekonomisini olumlu etkileyecektir. Ülkemizde elektrik üretimini artırmak için küçük HES'ler kurulduğuna göre, bu sahadan elde edilecek ek üretim ülkemiz açısından da yararlı olacaktır. Bu nedenle, Salavatlı'da başarılı bir şekilde uygulanan inhibitör basmanın santralın çalışma saatlerini mekanik temizlik için kaybedilen zamandan tasarruf ederek artırması ve santraldan üretimi, kuyuların içindeki çökeltme sürecinde kaybedilen üretimin kazanılmasıyla, Kızıldere santralının maksimum kapasitede (15 MW_e) üretim yapılabileceği tahmin edilmektedir.

Çift akışkanlı sistemler geçmişte tartışılarak Kızıldere'de devre dışı kalmıştı. Ayrıca, Kızıldere sıcaklığının görece olarak yüksek olması "binary" sistemlerde daha düşük verimliliğe de neden olduğundan tamamen binary sistemin Kızıldere'ye kurulması bugün de sakıncalı görünmektedir. Ancak, inhibitör kullanımıyla kombine edildiğinde daha düşük sıcaklıklarda çift akışkanlı çevrimlerin kullanılması söz konusu olabilir. Öte yandan, Kızıldere akışkanında ciddi CaCO₃ çökeltmesi sorunu vardır. Binary sistemlerin ısı değiştiricileri, kalsit'in tersinebilir çözünürlüğü "retrograde solubility" nedeniyle çökeltme potansiyeli azalacaktır. Bu bakımdan "binary" sistemlerin avantajı vardır. Binary çevrimin diğer bir avantajı buhar türbinlerinde ve kondansörde sorun olan karbon dioksitin ayrılması için ayrı bir donanım gerektirmemesi ve ek bir güç harcanmamasıdır. Öte yandan, rezervuar ve ısı değiştiricilerinde silika çökeltmesi ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır [14].

Elektrik üretim şirketi olan EÜAŞ'ın (o zamanlar adı TEK'ti) hidrolik ve termik santrallarda çok önemli deneyimi olmasına rağmen, jeotermal santral işletmesi konusunda başlangıçta herhangi bir tecrübesi yoktu. EÜAŞ, sahaya birlikte işletilen jeotermal santral ile başa çıkmayı zaman içinde başarmıştır. Öğrenme, yönetimin bilgisini geliştirme, EÜAŞ personelinin yeni deneyimler kazanması ve "döner kafalı emniyet vanası" kullanarak mekanik temizleme gibi yeni teknolojilerin devreye sokulmasıyla sağlanmıştır.

Elde edilen en son ilerleme R-1 kuyusunun devreye alınmasıyla gerçekleştirilmiştir. Bundan sonraki gelişme, ancak, santralin tam güçle çalıştırılmasıyla oluşacak ve bunun için inhibitör teknolojisi ile tam reenjeksiyon devreye sokulacaktır.

Jeotermal santrallar, ancak jeotermal sahalarla birlikte değerlendirilirse, sağlıklı ve ekonomik olarak işletilebilirler. Bilindiği gibi, CO₂ içeren bu saha ilk 2 yılda büyük basınç kaybına uğramış [13] ve kuyuların üretilebilirlikleri (produktiviteleri) önemli ölçüde düşmüştür. CO₂, Kızıldere santralında elimine edilmesi gereken bir baş ağrısı olarak görülmesine rağmen, bu sahaya enerji sağlayan gazdır. Santralin devreye alındığı yıl olan 1984'te, ondan birkaç yıl önce yapılan MTA fizibilitesine göre 20.4 MW_e'lik santral için yeterli üretim vardı. Kuyuların delinmesinde bizzat çalışan bir kişi olarak, kuyu üretimlerinin 400 ton/st ile 1000 ton/st arasında olduğunu, hatırlıyoruz. İki yıl içinde üretilebilirlikteki kaybın nedeni CO₂'in açığa çıkması nedeniyle büyük basınç kaybı olmasıdır. Bu olayı yaptığımız model çalışmaları doğruluyor [13]. Bunun önlenmesi, ancak başlangıçtan itibaren reenjeksiyon yapılmasıyla mümkün olabilirdi. Bundan sonraki aşamada, basınç düştükçe üretilebilirlikteki kayıpları telafi etmek için yeni kuyular delinmesi gerekmiştir.

Yukarıda bahsedilenlerin ışığı altında, bu çalışmadan aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

- Jeotermal santrallar, yalnız santral olarak değil, bağlı oldukları jeotermal rezervuarlarla birlikte değerlendirilmelidir.
- Kızıldere santralının kullanım ve çevrim verimlilikleri, sırasıyla %12 ve %25 olarak hesaplanmışlardır.
- Çifte flaş sistemi ve çift akışkanlı çevrim (binary) için kullanım verimlilikleri sırasıyla % 16.5 ve %27 olarak hesaplanmıştır.
- Çifte flaş sistemi tek flaş sistemine göre %40 daha avantajlı görünmesine rağmen, ciddi çökme sorunları dolayısıyla, pratik değildir.
- CO₂ nedeniyle güç üretiminde %12'lik bir kayıp söz konusudur.
- CO₂ içeren jeotermal sahaları verimli işletebilmek için mutlaka başlangıçtan itibaren reenjeksiyon yapılmalıdır.
- Devletin uzun süreye yaydığı yatırımları, tüm projelerde olduğu gibi jeotermal projelerin de ekonomilerini olumsuz etkilemekte, ya ekonomik olmaktan çıkarmakta, ya da daha az kârlı hale getirmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ROGERS Eng. Co., "Kızıldere Geothermal Power Plant Feasibility Study and Preliminary Cost Estimate." Report to UNDP Geothermal Energy Survey of W. Anatolia S. Fransisco, USA, 1972.
- [2] ICHIKAWA, S., YASUGA, H., TOSHA, T., KARASAWA, H., "Development of Downhole Pump for Binary Cycle Power Generation Using Geothermal Water". Proceedings WGC 2000, Kyushu-Tohoku Japan, May 28-June 10, 2000.
- [3] JAMES, R., "Report to UNDP, T-132". Dec. 15th, 1972
- [4] SERPEN, U. Ve TÜRKMEN, N., "Reassessment of Kızıldere Geothermal Power Plant after 20 Years of Exploitation" Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- [5] GRANT, M.A., DONALDSON, I.G., BIXLEY, P.F., "Geothermal Reservoir Engineering", Academic Press, N.York, 1982.
- [6] TESTER, J., "Energy Conversion and Economic issues for Geothermal Energy". Chapter 10 in Handbook of Geothermal Energy, (Eds. L.M. Edwards, G.V. Chilingar, H.H. Rieke III, W.H. Fertl), Gulf Publishing Co. Houston, Tx., 1972
- [7] SERPEN, U., TÜRKMEN, N., "Technical and Economical Evaluation of Kızıldere Geothermal Power Plant". *Proceedings*, The 4th International Energy Congress, ITEC 2001, Cesme, Izmir, 2001.

- [8] NATHENSON, M., MUFFLER, P., "Geothermal Resources in Hydrothermal Convection Systems", USGS Circular 726, pp. 104-121,1975.
- [9] BODVARDSSON, G. and EGGERS, D.E., "The Exergy of Thermal Water". *Geothermics*, Vol.1, No. 3, 1972.
- [10] YOKOTA, H. and SAITO, S., "Optimization of Geothermal Power Plant". *Proceedings of 19th NZ Geothermal Workshop*, pp. 193-198, 1997.
- [11] SERPEN, U. ve GÜLGÖR, A., "Türkiye'de Yapılan Jeotermal Yatırımların Ekonomik Analizi". *Proceedings Türkiye 7. Enerji Kongresi*, İstanbul, 15-19 Eylül,1997
- [12] JAMES, R., "Personal communication". Taupo, New Zealand,1999.
- [13] JAMES, R., "Power Station Strategy". *Geothermics*, Special Issue 2, pp.1676-1687,1970.
- [14] SERPEN, U., "Reinjection Strategies for Kizildere Geothermal Field". *Proceedings, 27th Annual Workshop Geothermal Reservoir Engineering*, Jan. 28-30, Stanford, Cal. USA, 2002.
- [15] Serpen, U., " Technical and Economical Evaluation of Kizildere Geothermal Field". PhD Dissertation Thesis, İstanbul Technical University, İstanbul,2000.

ÖZGEÇMİŞLER

Umran SERPEN

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarında çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.

Nebi TÜRKMEN

1952 Denizli-Sarayköy doğumludur. FHS Hamburg Üniversitesi, Enerji Bölümü 1977 mezunu. TEK Tunçbilek Santralında çalıştıktan sonra 2 yıl THISEN 'da Avustralya'da çalıştı. 1983 yılından beri Kızıldere jeotermal enerji santralında çeşitli kademelerde görev yapmıştır, halen işletme müdürü olarak görevine devam etmektedir.