

# ABD/NEVADA EYALETİNDEKİ BAZI JEOTERMAL SAHALARDAKİ DENEYİMLER

Ümran SERPEN  
Niyazi AKSOY

## ÖZET

Bu çalışmada ABD'nin Nevada eyaletinde bulunan "Steamboat-Springs", "Brady" ve "Desert Peak" jeotermal sahalarının 2008 yılı sonuna göre gelişimleri ve son durumları hakkında bilgi sunulmaktadır. Bazıları 20 yıldan fazla bir zamandır işletilen bu sahalar üzerinde kurulan ilk jeotermal santrallerin zaman içinde, sahadaki değişime paralel olarak nasıl değiştiği gösterilecektir. Ayrıca, santrallerin soğutma sistemleri üzerinde durularak su ve hava soğutmalı sistemler bu bağlamda tartışılacaktır. Bunun yanında, sahaların işletme felsefesi yorumlanacak ve bunlardan çıkartılması gereken dersler ortaya konulacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Steamboat-Springs, Brady, Desert peak, jeotermal enerji santrali.

## ABSTRACT

This study introduces the developments of "Steamboat-Springs", "Brady" and "Desert Peak" geothermal areas in the United States, Nevada until the end of 2008 and their current statuses. The study shall present how the geothermal plants first-founded on these areas some of which are operated for more than 20 years change parallel with the changes in the area. Besides, cooling systems of the plants are emphasized and the water and air cooling systems shall be discussed in this sense. In addition, the operational philosophy of the areas shall be commented and the lessons to be taken from these shall be put forward.

**Key Words:** Steamboat-Springs, Brady, Desert peak, geothermal power plant.

## 1. GİRİŞ

Jeotermal enerjinin değişik şekillerde kullanıma alınması çok eski çağlara kadar taşınabilirse de, aslında endüstriyel olarak gerçek kullanımı yarım asırdan biraz fazladır. 2008 yılında Wairakei jeotermal sahasında kurulan Dünyanın 2 nci santralının 50. yılını kutladığımızı unutmamak gerekir.

Ülkemizde de 40 yılı aşkın bir zaman dilimi içinde yapılan çalışmalar çerçevesinde ilk jeotermal elektrik santrali 1984'te kurulmuş ve 1987'de de ilk jeotermal merkezi ısıtma sistemi kurulmuştur. Türkiye'de jeotermal enerji arama ve işletmesine yönelik çalışmalarda Yeni Zelanda ve İtalya'dan aktarılan deneyimlerin büyük rol oynadığı bir gerçektir. Bu bağlamda, Kızıldere jeotermal santrali İtalyan teknolojisi ile yapılmıştır.

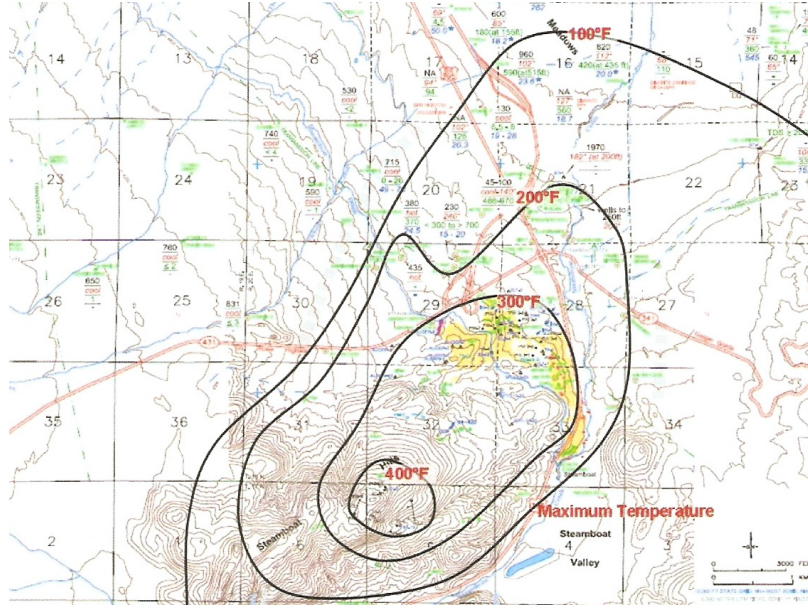
Yarım asırdan fazla geçen zaman dilimi içerisinde, jeotermal santraller tek flaşlı proseslerden, çift flaşlılara ve daha sonra daha düşük sıcaklık aralığına hitap eden "binary" çevrimlerine ve her iki prosesin kombinasyonu olan çevrimlere doğru evrim geçirmiş ve geçirmektedir. Ayrıca, jeotermal sahaların işletme sonuçlarına bağlı olarak santral kullanımı da evrimleşmektedir.

Bu çalışmada, dünyadaki bu tür deneyimler dikkate alınarak, Türkiye'deki saha ve santrallerin nasıl kurulması ve sürdürülebilir bir şekilde işletilmesi konusunda dersler çıkarabilmek hedeflenmiştir.

## 2. STEAMBOAT (GALENA) JEOTERMAL SAHASI

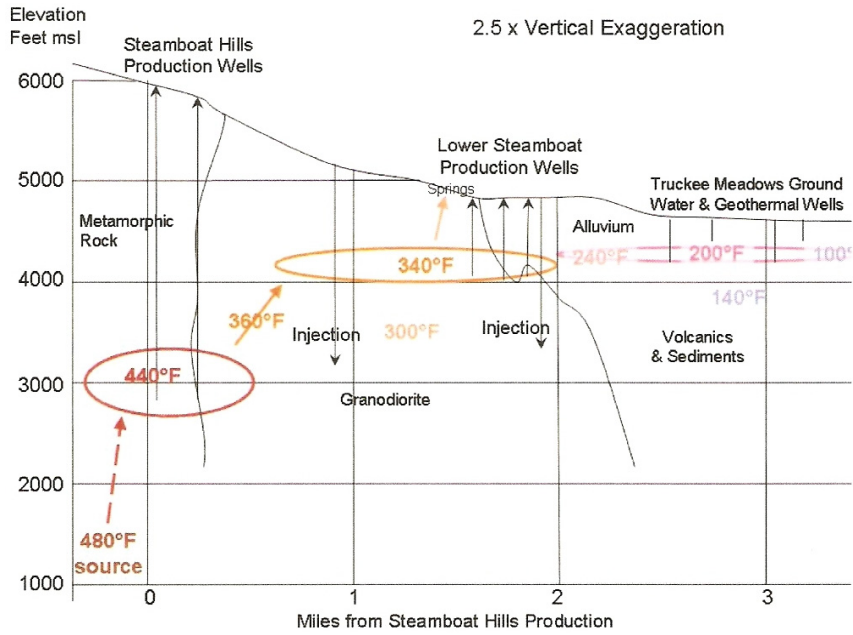
Steamboat Springs jeotermal kaynağı Reno şehrinin yaklaşık 5km güneyinde bulunmaktadır. Steamboat tepelerinde hakim olan kuzey ve kuzeydoğu yönelimli faylar muhtemelen kaynak alanlarına akışkan akışı için esas kanalları oluşturmaktadır.

Steamboat jeotermal sistemi bir derin ve yüksek sıcaklıklı (215-248°C) sistem, bir daha sıg orta sıcaklıklı (160-180°C) sistem ve birkaç adet düşük sıcaklıklı (30-80°C) sistem içermektedir. Şekil 1 Steamboat Springs jeotermal kaynağının yayılımını göstermektedir.



**Şekil 1.** Steamboat Sahası Eş Sıcaklık Dağılımı. (Her Bir Kare 1 km<sup>2</sup> Alanı Gösterir. 400°F = 204°C; 300°F = 149°C; 200°F = 93°C; 100°F = 38°C). Sahanın 150°C'den Yüksek Sıcaklığa Sahip Bölümü 3 km<sup>2</sup> Kadardır) [1].

Steamboat Springs jeotermal kaynağının kavramsal planı Şekil 2'de verilmektedir.



**Şekil 2.** Steamboat Sahasının Kavramsal Planı. (Yatay Ölçek Mil; Düşey Ölçek Feet ) [1].

Buhar santralının 3 km güneybatısında Şekil 2’de görülen Steamboat tepelerine yakın bir lokasyonda 2000 yılında 400°F anomalinin içine bir kuyu delinmiş ve 248°C sıcaklığında yüksek debili bir üretim elde edilmiştir. Buhar santralına bağlanan kuyuda sıcaklık 219°C’a düşmüş, ancak debi değişmemiştir.

Saha 2005 yılında ORMAT tarafından devir alınıp işletilmeye başlanmıştır. ORMAT’dan önce sahada bir binary ve bir buhar türbini bulunmaktaydı ve saha yaklaşık 22 yıldır işletilmektedir. Sahada bulunan ünitelerin isimleri ve devreye alınma tarihleri Tablo 1’de verilmiştir [1]:

**Tablo 1.** Steamboat Sahasında Kurulu Santraller, Kapasiteleri ve Güçleri.

Santralin Adı	Tipi	Üretime Başlama Yılı	Kurulu Güç, MW <sub>e</sub>
Steamboat 1/1A	Binary	1986	6.8
Steamboat Hills	Buhar türbini	1988	14
Steamboat Geo IA	Binary	1989	1.2
Steamboat 2	Binary	1992	12
Steamboat 3	Binary	1993	12
Richard Burdett	Binary	2005	30
Galena 2	Binary	2007	15
Galena 3	Binary	2008	30

Steamboat Springs sahasında önce sahanın en sıcak bölgesi olan >200°C’lik kısmından faydalanan 14 MW<sub>e</sub> gücünde “tek flaşlı” bir buhar santrali kurulmuştur. Bugün bu ünite sadece 6 MW<sub>e</sub> üretmektedir. Yukarıda bahsedilen sıcaklık düşümü bu güç kaybını açıklamaktadır. Sahada kurulu güç 121 MW<sub>e</sub> olup, 100 MW<sub>e</sub>’a yakın üretim yapılabilmektedir. İç tüketim 15-20 MW<sub>e</sub> arasındadır. İç tüketimin bu kadar yüksek olması, birçok kuyuda pompalı üretim yapılmasıdır.. Binary üniteler hava soğutmalıdır. Yaz aylarında üretim hava soğutma nedeniyle, 60 MW<sub>e</sub>’ a kadar düşmektedir. Sahada akışkan taşımak için 40 km kadar boru hattı döşenmiştir.

Ziyaret edilen Galena 3 santrali her biri 15 MW<sub>e</sub> ‘lık iki adet binary ünitesi içermektedir. Buradaki binary santrallerinin jeneratörleri su soğutmalıdır.

Steamboat sahasında derinlikleri 600-2000 m arasında değişen 55 kuyu delinmiştir. Bunlardan:

Pompalı üretim kuyusu 19 adet  
 Kendiliğinden akan üretim kuyusu 3 adet  
 Reenjeksiyon kuyusu 9 adet  
 Gözlem kuyusu 24 adet

Sahadaki toplam üretim 10,000 ton/st  
 Reenjeksiyon 9,900 ton/st  
 Buharlaştırma 100 ton/st

Bu sahada delinen kuyular arasındaki mesafe düşüktür. Bazı yerlerde 50 m olarak görülmüştür. Sahanın alanına göre delinen kuyu sayısı düşünülürse kuyu yoğunluğunun çok ve kuyular arası mesafenin az olduğu görülür. Üretim kuyularındaki pompalar 150-275 m'ye set edilmiş ve her biri 600 kW gücündedir. Dolayısıyla, üretim kuyuları için harcanan toplam güç yaklaşık 10 MW<sub>e</sub> civarında olup, sadece pompaj için sahadan kışın elde edilen 100 MW<sub>e</sub>'in 1/10'u yazın da 60 MW<sub>e</sub>'in 1/6'sı harcanmaktadır. Neticede pompalı üretim önemli bir güç kaybı yaratmaktadır. Sahadaki 16 pompa şaftlı pompa olup, sadece 3 adedi dalgıç pompadır. Dalgıç pompalar muhtemelen delinen derin kuyulara indirilmiş olup, montaj derinlikleri 600 m civarındadır. Sahada su seviyesi düşük olduğundan pompasız reenjeksiyon yapılmaktadır. Enjeksiyon yapılan kuyularda basılan suyun kendiliğinden (gravite ile) gittiğini ve kuyubaşlarında vakum oluştuğu (negatif kuyubaşbasıncı) gözlenmiştir. Sahada gaz yok denecek kadar azdır. Bu nedenle akışkan sadece sıvı faz olarak taşınmaktadır. Yüksek sıcaklıklı (226°C) kuyulardan (Şekil 2) gelen jeotermal akışkandan separasyonla elde edilen buhar, buhar türbininde separatörden çıkan sıcak su ise "bottoming binary" olarak adlandırılan binary santralde değerlendirilmektedir. Sahanın 480 °F, (250°C) sıcaklığa sahip derin kaynaktan beslendiği jeokimya ile belirlenmiştir (Şekil 2).

Ormat (santral ve elektrik üreten firma) 2005 yılında bu sahayı satın aldıktan sonra, yüksek sıcaklık olan kısımlarda da sıcaklığın düşmekte olduğunu da dikkate alarak yeni santral tipini "binary" olarak belirlemiş ve yaklaşık gücü 75 MW<sub>e</sub> olan üç adet binary santrali devreye almıştır. Orijinal buhar santraline bir "bottoming binary" santrali eklenerek, buhar santralinden gelen sıcak su (brine) kullanıma alınmış ve verimlilik artırılmıştır. Steamboat 2/3 santrallerindeki "rotoflow" türbinler 2008 yılında binary santrallerle yenilenmiştir. Steamboat 1A santrali verimliliğini artırma amacıyla yenilenmektedir.

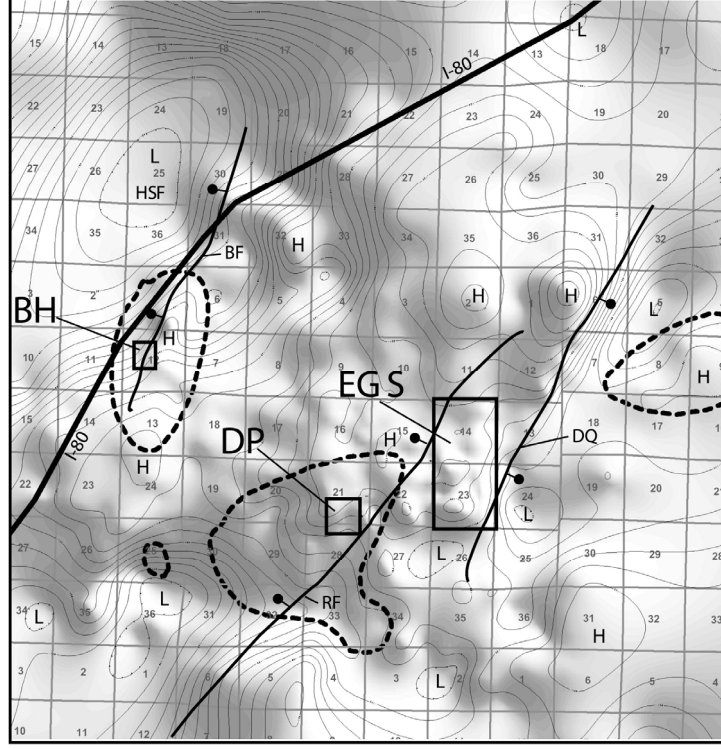
Sahanın alansal yayılımının küçük (3 km<sup>2</sup>) olmasına rağmen, yapılan güç üretiminin böylesine yüksek olmasının nedeninin bu sahanın çok güçlü bir beslenmeye sahip olmasıyla açıklanmaktadır. Sahanın beslenmesinin 30 MW<sub>e</sub> civarında olduğu tahmin edilmektedir[3]. Öte yandan, bu sahanın atık sularından yararlanılarak Reno Endüstri Park'ının 15000 konut eşdeğerinde bir alanının merkezi ısıtma sistemi ile ısıtılması planlanmaktadır [2].

### 3. BRADY JEOTERMAL SAHASI

Desert Peak ve Brady jeotermal sahaları Reno (Nevada)'nın 80 km kuzeydoğusunda yer alır. Brady jeotermal sahası Desert Peak ile birlikte kuzey doğuya yönelmiş fayların yarattığı geniş bir ısı akışı anomalisi (>100 mW/m<sup>2</sup>) üzerinde bulunmaktadır (Şekil 3). Brady sahası kuzey-doğu istikametli Brady fayı üzerindedir. Brady fayı'nın hem normal hem de sol yanal atımlı olduğuna dair kanıtlar bulunmaktadır. Stratigrafik açıdan da, Mesozoik metamorfik temel üzerine yığılmış Tersiyer yaşlı volkanik ve sedimanter kayalardan oluşmuştur. Brady jeotermal sahasında 7 MW<sub>e</sub>'lik binary (Ormat) santrali (yeni), ski gemi türbinlerinden yapılmış 21 MW<sub>e</sub>'lik her biri 7 MW<sub>e</sub> 3 adet buhar türbini bulunmaktadır. Üretim için 5 adet pompalı kuyu kullanılmaktadır. Kuyular arası uzaklık 100 m civarındadır. Buhar azaldığı için (sıcaklık düşmesi) pompalı üretime geçildiği ve binary kurulduğu düşünülmektedir. 7 km uzaklıktaki Desert-Peak santrali de buradan idare edilmektedir. Bir reenjeksiyon kuyusu üretim bölgesinden 5 km güneyde Desert peak sahasına doğru, bir diğeri ise, sahanın kuzeyinde 1.7 km kadar uzaktadır. Reenjeksiyon için herbiri 500 kW gücünde 3'lü bir pompa sistemi tasarlanmış olup, bunun ikisi asıl, biri yedek olmak üzere in-line tip pompalar kullanılmaktadır.

Sahada üretilen akışkan sıcaklığı  $138^{\circ}$  ile  $160^{\circ}\text{C}$  arasındadır. Ancak, buhar türbinlerinin bulunduğu sırada ürettiği  $9\text{ MW}_e$ 'lık güç, bu akışkanlardan olamaz. Kuyulardan biri veya birkaçı buhar üretebilmek için daha yüksek sıcaklıklı olmalıdır. Sahada biri binary ve ikincisi çift- flaş olmak üzere iki santral bulunmaktadır. Öte yandan,  $7\text{ MW}_e$  gücündeki binary santrali de hava sıcaklığının  $26.5^{\circ}\text{C}$  olması dolayısıyla, sadece  $3\text{ MW}_e$  güç üretebilmekteydi.

Brady jeotermal santralının hemen yanında, yaklaşık  $3000\text{ m}^2$  kapalı alana sahip bir ürün kurutma tesisi bulunmaktadır. Burada soğan kurutulmaktadır.



**Şekil 3.** Desert Peak and Brady Jeotermal Sahalarının Gravite Anomalisi imajı. Desert Peak (DP) and Brady (BH) Jeotermal Santralleri, Sıcak Kuru Kaya Projesi Çalışma Alanı (EGS), 300 ft Derinlikteki (Kesikli Çizgiler)  $160^{\circ}\text{F}$  Eş-Sıcaklık Konturu, Hot Springs Flat Havzası (HSF), And The Brady (BF), Rhyolite Ridge (RF), And Desert Queen (DQ) Fayları. H ve L Gravite Yükselti ve Alçaltılarını Temsil Etmektedir [4].

#### 4. DESERT PEAK SAHASI

Bu alanda bulunan Desert Peak ve Brady santrallerinin arası kuş uçuşu  $7\text{ km}$ , yol olarak da  $17\text{ km}$  civarındadır. Aslında, Desert Peak ve Brady tek saha olarak görülmektedir. Soğan kurutma tesisi İki santral arasında yer almaktadır. Arazi Desert Peak'e doğru yükselmektedir (Şekil 3). Her iki santral alanında da yüksek kotlara doğru  $4-5\text{ km}$  uzunluğunda hatlar kullanılarak, sahaların dışına reenjeksiyon yapılmaktadır. Desert Peak'te reenjeksiyon kuyusunun üretim kuyusundan uzaklığı yaklaşık  $1\text{ km}$  kadardır. Kuyular pompasız su alabilecek kapasitede olmalarına karşın, reenjeksiyon kuyularının daha yüksek kotlarda olmasından dolayı pompa kullanılmaktadır.

Desert Peak sahasında üretim kuyularının  $5-6$  tanesinin birbirine  $50\text{ m}$  ve daha az uzaklıkta delindiği görüldü. Halen  $5$  kuyu çalışıyor olmasına rağmen,  $10$  kadar çalışmayan kuyu veya delinmesi planlanan lokasyonların hazırlandığı görüldü.

Ormat Sahayı 2001 yılında satın almıştır. Sahada bulunan iki flaşlı 9.9 MW<sub>e</sub> gücündeki buhar türbini santrali devre dışı bırakılarak, buraya Desert Peak II adıyla iki adet Ormat binary çevrim santrali kurulmuştur. Santrallerden biri 11 MW<sub>e</sub> ve diğeri ise 15 MW<sub>e</sub> kurulu güce sahiptirler. Ormat ayrıca, sahanın doğusuna bir EGS sistemi kurmayı planlamaktadır.

Toplam 13 kuyunun bulunduğu sahada 5 üretim kuyusu 2 reenjeksiyon kuyusu bulunmaktadır. İlk kuyuların sıcaklığı 205°C olduğundan buraya 9.9 MW<sub>e</sub>'lik çift flaşlı bir buhar santrali kurulmuştur. Bunlardan 4 tanesi artezyen olarak, diğeri pompa ile üretim yapmaktadır. Sıcaklıklar 145-150 °C arasındadır. Pompalı kuyuda pompa 328 m'de montajlıdır. Üretim pompasının gücü 600 kW'dır. Desert Peak sahasında bulunan iki binary santralden biri hava soğutmalı, diğeri su soğutmalı olarak dizayn edilmiştir. Su soğutma için gerekli su buhar tarafından elde edilen kondense olmuş su ile sağlanmaktadır. Soğutma kulesinin her iki üniteye de hizmet verebilmektedir. İşletmeci gündüzleri su ve geceleri hava soğutma ile çalışarak, çöl koşullarında güç üretimini optimize etmektedir.

Bu iki saha bir sahadan idare edilmektedir. Desert Peak santralında hiç kimse bulunmamaktadır. Bu iki saha için vardiyalı 12 kişi çalışmaktadır.

## TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Reno'da bulunduğumuz sırada hepsi Ormat tarafından işletilen Steamboat Springs, Brady ve Desert Peak sahalarını ziyaret edildi. Tüm bu sahalarda başlangıçta daha yüksek sıcaklıkta çalışan buhar santralleri bulunmaktaydı. Bunlardan Desert Peak'teki santral kapatılmış, Brady'deki 21 MW<sub>e</sub>'tan 9 MW<sub>e</sub>'a, Steamboat Springs'teki 14 MW<sub>e</sub>'tan 6 MW<sub>e</sub>'a düşmüştür.

Gözlemleyebildiğimiz kadarıyla sahaların ilk sahipleri sahaları iyi işletmemiş, daha farklı bir söylemle, kısa sürede sahalar kendini ödemesi ve olabildiğince kar elde etmek için işletilmiş görülmektedir. Başlangıçta tüm sahalar buhar ürettikleri için önceleri buhar türbinleri kurulmuş, sonra bu türbinler ya santraller devre dışı kalmış, ya da üretimleri ciddi bir şekilde düşmüştür.

Sahalar 2 nedenle daha düşük üretim yapabilirler: (1) saha soğuk (ya reenjeksiyondan, ya da aşırı üretim nedeniyle soğuk su girişinden), (2) aşırı üretim dolayısıyla rezervuar basıncı ve dolayısıyla da kuyuların produktiveleri (üretilirlikleri) düşer. Bunlardan hangisinin olduğunu bilinmemekler birlikte, muhtemelen her ikisi de geçerlidir. Ancak, ABD'deki üreticilerin yatırımlarını çabuk geri alabilmek sahalarını sürdürülebilirliklerini göz ardı ettikleri de bir gerçektir. Geysir örneğinde, toplam kurulu gücün 2000 MW<sub>e</sub> ulaşması ve sonra saha performansındaki azalma nedeniyle 800 MW<sub>e</sub>'a inmesi bu uygulamanın tipik bir örneğidir.

Ormat sıcaklıkları bir nedenle düşen (Steamboat Springs'te 248°C'tan 200°C'lara ve Desert Peak'te 205°C'den 150-170°C'lara) bu sahaları alarak, orta sıcaklıklarda verimli üretim yapan kendi teknolojisini bu sahalara uygulamıştır. Bu yeni teknoloji ile hem sahaların görece soğuk kısımlarını da soğuyan kısımlara katarak, sahaların ömrünü uzatmış, hem de kendi mallarını satmış oluyorlar ve iki yönlü gelir elde ediyorlar.

Soğutma sistemlerinin sahanın verimli işletilmesi açısından önemli olduğu bilinen bir gerçektir. Brady ve Desert Peak santrallerinde hava ve su soğutmalı sistemlerin birlikte kullanılması ve suyla soğutmanın çöl ortamında bile birlikte kullanılan "binary" sistemlerden çıkan kondense su ile çalıştırılması, ülkemizde de uygulanması gereken bir örnektir. Bu şekilde sistemlerin verimliliği de artırılmış olacaktır.

Diğer önemli bir konu da, Steamboat Springs sahasının 3 km<sup>2</sup>'lik 150-200°C'lik bir alanında 100 MW<sub>e</sub> elektrik üretimi yapması, bizim 36 km<sup>2</sup>'lik 155-180°C sıcaklıktaki bir anomali için yaptığımız 150 MW<sub>e</sub>'lik güç tahmini konusunda bize çok daha fazla güven vermektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] SPIELMAN, P., "Steamboat and Truckee Meadows Conceptual Model", Manger Operations Support, Ormat Nevada, 2008.
- [2] LINEAU, P., "Reno Industrial park Geothermal District Heating System." GHC Bulletin, April, 1997.
- [3] SANYALI, S., "Kişisel İletişim". 13 Şubat, San Fransisco, 2009.
- [4] FAULDS, J.E., GARSIDE, L.J., JOHNSON, G.L., MUEHLBERG, J., and OPPLIER, G.L., "Geologic Setting and preliminary Analysis of the Desert Peak-Brady geothermal Field, Western Nevada". GRC Transactions Vol. 26. Sept. 22-25, 2002.

## ÖZGEÇMİŞ

### Ümran 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, Filipinler, Rusya ve İtalya'da çeşitli jeotermal projelerin değişik aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Bölümünde çalışmaktadır. Jeotermal projelerde saha değerlendirme, sondaj programlama, proje yönetimi konularında çalışmaları bulunmaktadır.

### Niyazi AKSOY

1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünü bitirdi. 1984-1994 arasında MTA Genel Müdürlüğünde jeotermal enerji sondaj, üretim ve test mühendisi olarak çalıştı. 1997-2001 yılları arasında DEÜ Uygulamalı Jeoloji ABD'de yüksek lisans ve doktorasını tamamladı. Jeotermal enerjili bölgesel ısıtma, seracılık ve elektrik üretimi projelerinde kuyu değerlendirme, test, ölçme ve saha yönetimi konularında çalışmaları bulunmaktadır.