

JEOTERMAL ENERJİ TEKNOLOJİSİNDE YENİ GELİŞMELER

Umran SERPEN

ÖZET

Bu bildiride, son yıllarda jeotermal enerjinin kullanımına yönelik olarak geliştirilen jeotermal elektrik santralleri ve kuyu içi pompaları gibi yeni teknolojiler yanında rezervuar mühendisliğinin sağlıklı yapılabilmesi için geliştirilen teknikler tanıtılmakta ve bunların jeotermal enerjinin dünyadaki gelişimine sağlayacağı yararlar yanında, ülkemizdeki jeotermal enerji kullanımının yaygınlaşmasına ve veriminin artmasına vereceği katkılar anlatılmaktadır.

1. GİRİŞ

Jeotermal enerjinin son yıllardaki gelişimi enerji dönüşüm (conversion) teknolojileriyle alışlagelmiş geleneksel sistemlerin dışında kalan jeotermal sistemlerde (enhanced geothermal systems, EGS) yoğunlaşmıştır. Kuru sıcak kayaların (HDR) veya alışlagelmiş geleneksel sistemlerin dışında kalan sistemlerin (EGS), gelecekte ticari hale getirilmeleri hem teknik, hem de ekonomik sorunların çözümüne bağlıdır. Bu teknolojilerin ticarileştirilmesindeki en önemli engeller, kuyulardan üretim yapmak için kullanılan pompalar ve santral için su tedarikidir. Yeni "binary1" temelli "ORC" organik rankin çevrimi, dönüşüm prosesi sırasında, akışkan sıcaklıkları ve kimyasından bağımsız olarak, su kullanmamakta ve sistem optimize edilebilmektedir. Bunun için ORC sistemleri havayla soğutulan kondansörleri etken bir şekilde kullanarak, soğutma suyu tüketilmesinin önüne geçmektedir. Bu tür kapalı devre santraller 95°C'tan 315°C'a kadar, su kaybetmeksizin ve korozyona neden olmaksızın, elektrik üretimi yapmaktadır.

EGS'lerdeki gelişmeler, temel kaynak büyüklüğü hidrotermal kaynaklara göre çok büyük olan sıcak kuru kayalara yönelmiştir [1]. Ülkemizde de bu tür jeotermal kaynaklar bulunmaktadır. Bu bağlamda, saha geliştirme için üretim verimliliğinin tahmini ile rezervuar değerlendirme ve çatlak gelişimi modelleme teknikleri de, son yıllarda çok önem kazanmıştır.

Ülkemizde ve dünyada pek çok şaftlı jeotermal yeraltı pompası kullanılmaktadır. Ancak, bunlar hem sıcaklık, hem de derinlik açısından yetersiz kalmaktadır. Petrol endüstrisinde kullanılan elektrikli dalgıç pompaların geliştirilmesi, yalnız derin pompaların kullanımının önünü açmakla kalmayacak, yüksek entalpili kuyularda uygulama olanağı bunların "binary" sistemlerle birlikte kullanılmasını sağlayarak, çökelme sorununu büyük ölçüde hafifletilebilecektir.

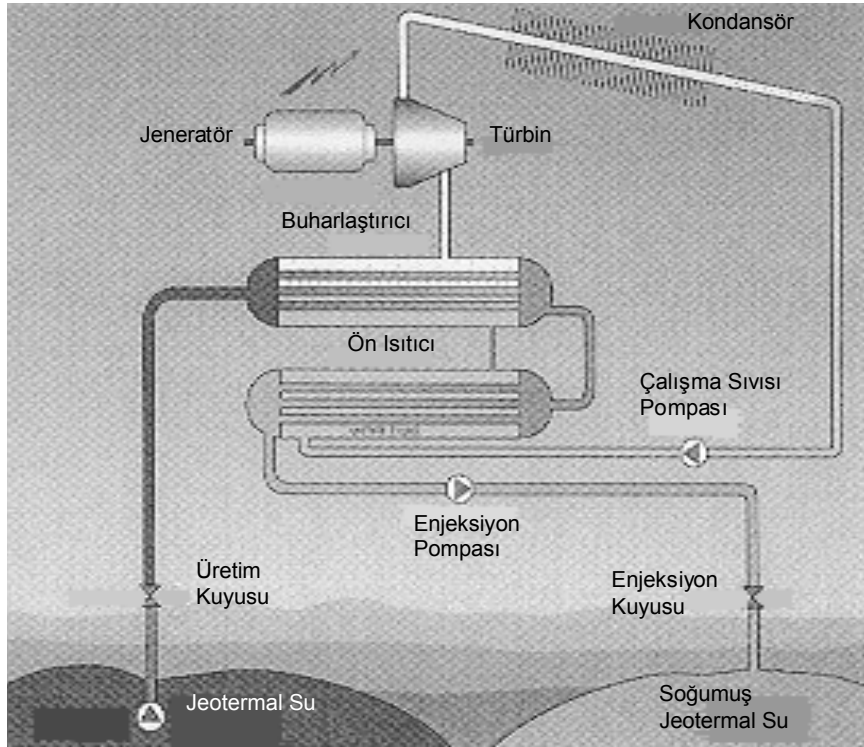
Jeotermal rezervuar mühendisliğinde ve reenjeksiyon teknolojisinde en önemli gelişme, jeotermal rezervuarların ve reenjeksiyon işlemlerinin izlenmesinin jeofizik yöntemlerle sağlanmasıdır. Bu da, rezervuar ve reenjeksiyon işlemlerinin değerlendirilmesini sağlıklı bir konuma getirmektedir.

2. JEOTERMAL ELEKTRİK SANTRALLARINDAKİ TEKNOLOJİK GELİŞMELER

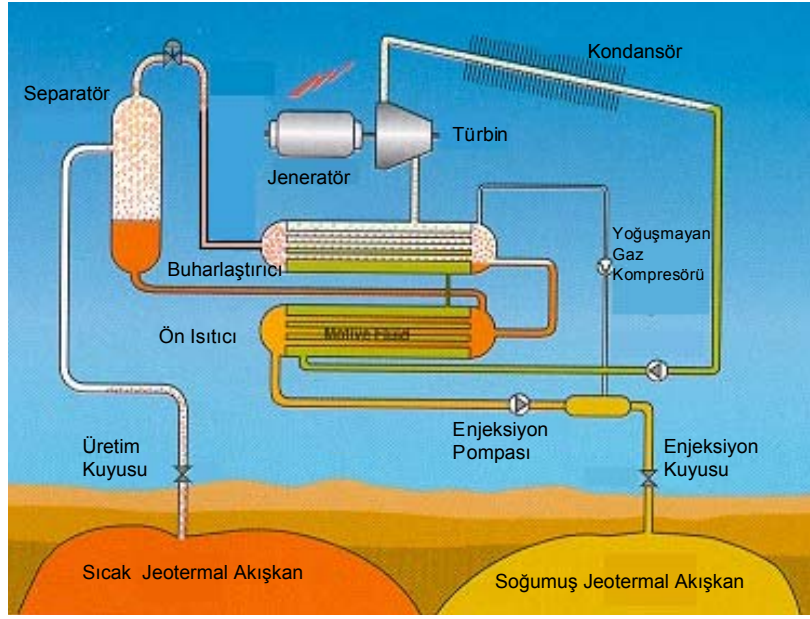
Türkiye'nin sahip olduğu jeotermal kaynakların önemli bir kısmı orta entalpi sınıfına girmekte olduğu Serpen and Mihçakan, (1999) tarafından belirtilmiştir [2]. Bu jeotermal kaynaklar doğrudan uygulamalarda endüstriyel proses ısı olarak kullanılabilirken, dolaylı kullanımda elektrik enerjisi üretimi için kullanılabilirler. Bu ikinci kullanıma, "HDR, Kuru Sıcak Kaya"ları da içine alan "EGS" ler de katılmaktadır. Temel "binary" santraller, genellikle 176°C altındaki jeotermal sistemler ve/veya kuru sıcak kaya sistemlerinin akışkanları için en verimli çevrimler olarak kabul edilmektedir [3]. Dolayısıyla, ülkemiz için "binary" çevrimler son derece önemlidirler. Bu çevrimler söz konusu olunca ortaya ORC "organic rankin cycle" ve "Kalina cycle" olmak üzere iki tür çevrim ortaya çıkmaktadır. Öte yandan, bilinen "binary" sistemler iki fazlı, kombine ve modüler olarak geliştirilmiş ve dönüşüm verimliliğinde kazanımlar elde edilmiştir.

2.1. ORC Binary Sistemleri

Şekil 1'deki ORC, 315°C'a kadar olan jeotermal akışkanları olan jeotermal sistemlerin güç santral uygulamalarda, hava soğutmalı kondensörlerin kullanımına imkan tanımaktadır. Bu çevrimde çalışma sıvısı buharlaştırıcıda boru tipi ısı değiştiricileriyle ısıtılmakta, buradan çıkan jeotermal akışkan kondansörden gelen çalışma sıvısına bir ön ısıtma yapmakta ve reenjeksiyon hattına gönderilmektedir [3]. İki Fazlı Binary Çevrimi, düşük basınçlı buhar için, buharın doymuşluğuna ve karakteristiklerine göre Şekil 2'deki gibi uygulanmaktadır. Bu sistemde, separatörden gelen düşük basınçlı buhar, binary sistemin buharlaştırıcısında yoğunlaşır ve sıcak jeotermal su çalışma sıvısına ön ısıtma vermek için kullanılır [3].

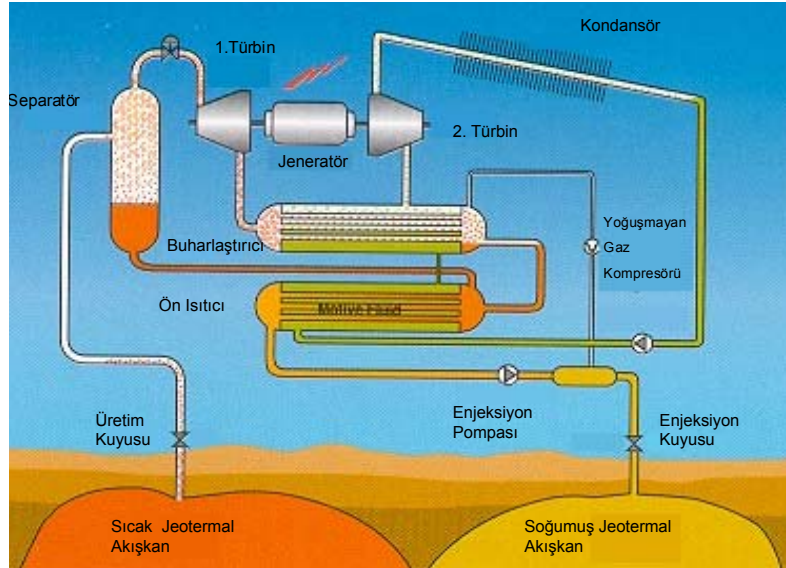


Şekil 1. ORC binary sistemden elektrik üretimi [3].



Şekil 2. İki fazlı jeotermal akışkandan elektrik üreten ORC [3].

Şekil 3'de görülen kombine çevrim ünitesinde yüksek basınçlı buhar atmosferik çıkışlı bir türbine (I. Türbin) gönderilir. Birinci türbin seviyesinden gelen düşük basınçlı buhar ise binary sistemin buharlaştırıcısında yoğuşturulurken çalışma sıvısı buharları II. Türbine yönlendirilir. Separatörde ayrılan sıcak su ise, ayrı bir binary çevriminde ek güç elde etmek için kullanılır [3].



Şekil 3. İki fazlı akışkandan elektrik üreten Kombine ORC [3].

Bazı yeni "binary" sistemlerde çalışma sıvısı türbini döndürdükten sonra hava soğutmalı kondansörde yoğuşur. Hava soğutmalı kondansörlerin organik çalışma sıvısı ile kullanımı, düşük basınçlı buharın kondansörde vakum yaratmasından daha etkindir, çünkü yoğuşma ortamında pozitif basınca sahip çalışma sıvısı, düşük basınçlı buhardan daha az hacim kaplar. Bunun sonucunda, hava soğutma sistemlerinde organik buhar için boru ve ısı değişirme yüzeyleri gerekenden daha küçük olmaktadır [3].

2.2. Kalina Çevrimi

Karışık binary çalışma sıvısı kullanan termodinamik çevrimler orta ve düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklara uygulandıkları zaman elde edilen yüksek ısı verimlilikleriyle dikkat çekmektedirler. EPRI'ye (Electric Power Research Institute) göre karışık çalışma sıvısı (hidrokarbonlar ve amonyak/su) kullanan gelecekteki binary çevrimler, elektrik üretimi için düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklara uygulanabilecek en düşük maliyetli ve en iyi sistemler olacaktır [4]. Karışık binary sıvısının kondensasyonu karmaşık bir prosestir. Karışık binary çalışma sıvılarının kondansördeki ısı geçişi katsayısı saf çalışma sıvılarına göre daha düşük olduğu bilinmektedir. Yapılan bir araştırma [4] daha az uçucu olan bileşenin ısı geçişi yüzeyinde bir film oluşturması ve bunun da ısı geçişi verimini düşürdüğünü tesbit etmiştir.

Kalina çevrimi santraller özellikle çok düşük sıcaklıklı jeotermal kaynaklar için tasarlanmış olup, amonyak/su çalışma sıvısı gibi bazı proses icatlarını kullanmaktadır. Bu çevrimin jeotermal akışkan buharlaştırıcısı, %70 kalitede buhar üretmekte ve amonyak/su absorpsiyon tekniğiyle türbin çıkış basıncını düşürmektedir. Bu da ORC sistemlerine göre %25'lik bir verim avantajı sağlamaktadır [5]. Kalina çevriminde normal buhar türbinleri kullanılmaktadır. Maliyet standart buhar türbinleri ve ısı değiştiricileri kullanılarak düşürülmektedir. Bu çevrimde hem boru tipi, hem de plakalı ısı değiştiricileri kullanılmaktadır.

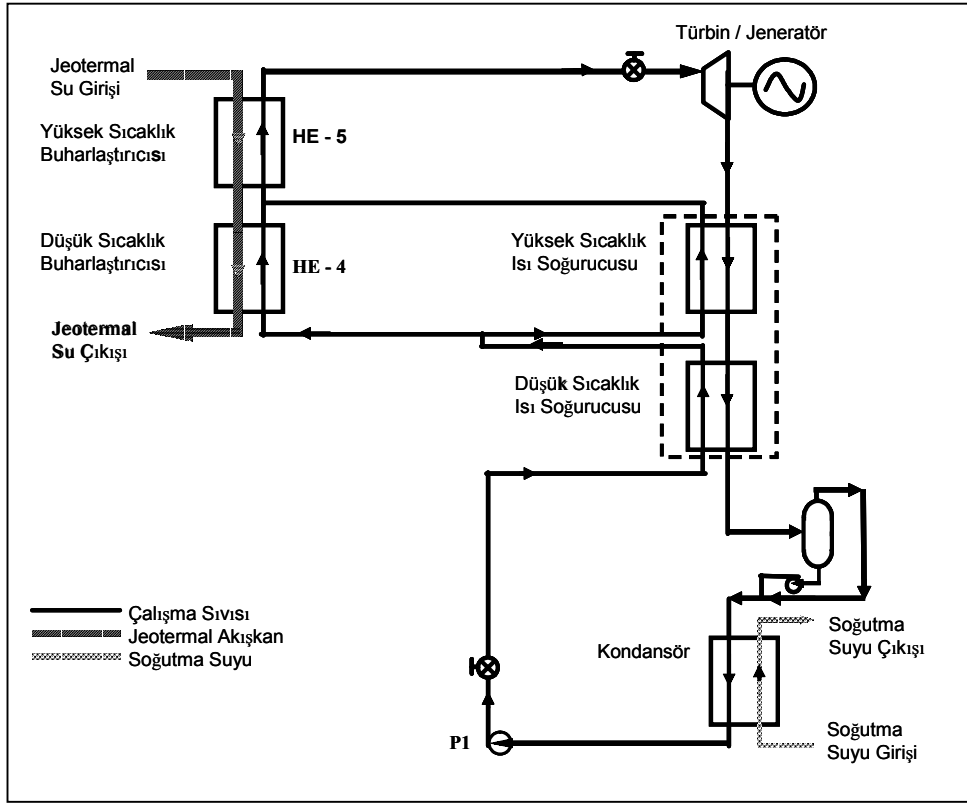
Kalina çevrimi şematik olarak Şekil 4'te görülmektedir. Burada, çalışma sıvısı düşük sıcaklık buharlaştırıcısında ön ısıtmaya tabi tutulmakta ve daha sonra yüksek sıcaklık buharlaştırıcısında tamamen buharlaştırılmaktadır. Bu proses, jeotermal akışkandan çalışma sıvısına etken bir ısı alımı sağlamaktadır. Bu ısı alımı, kullanılan çalışma sıvısının niteliği dolayısıyla, isopentan ORC sistemlerinden daha az termodinamik kayıp sağlamaktadır. Bu da jeotermal akışkan ve çalışma sıvısı arasındaki sıcaklık farklarının daha fazla olmasıyla görülmektedir. Yine Kalina çevriminde türbindeki genleşme, separatörün altından alınan sıvının türbin egzozuna yönlendirilmesiyle artmakta ve daha fazla iş üretimi sağlanmaktadır.

2.3. Radyal İçakışlı Türbinler

Bilindiği gibi varolan türbinler klasik aksenal sabitlenmiş "nozzle" ları olan türbinlerdir. Yeni ortaya çıkan radyal içakışlı türbinler, daha yüksek verimlilikleri, mekanik avantajları, daha yüksek basınç oranlarını tek kademedeki ve geniş akış aralığını verimli olarak halledebilmeleri nedeniyle, aksenal türbinlere göre avantajlıdır. Radyal içakışlı türbin bu özellikleri ve özellikle çalışma koşullarındaki değişikliklere daha iyi yanıt vermesi dolayısıyla avantajlı görünmektedir. Böyle bir türbin "Steamboat" sahasında aksenal bir türbin yerine yerleştirilmiş ve yeni ünite %20 daha verimli olduğunu kanıtlamıştır [6].

2.4. Santral Optimizasyonu

Son yıllarda jeotermal santrallerin ekonomisi üzerinde çok durulmaktadır. Ekonomi de kısa dönem yerine, sahanın üretimindeki düşümü ve donanımların zamanla yıpranımını da dikkate alan, uzun dönem temelinde değerlendirilmelidir. Bu da jeotermal santralin ekonomisini kontrol eden tasarım koşullarının optimizasyonu ile mümkün olmaktadır. Optimizasyon yönteminde kullanılacak parametreler: (1) çevrim seçimi, (2) ana buhar basıncı, (3) vakum, (4) Islak ampul sıcaklığı ve (5) ünite kapasite seçimidir [7]. Bu optimizasyon, sahayı geliştiren kurum ile imalatçı firma arasında yakın işbirliğini gerektirmektedir.



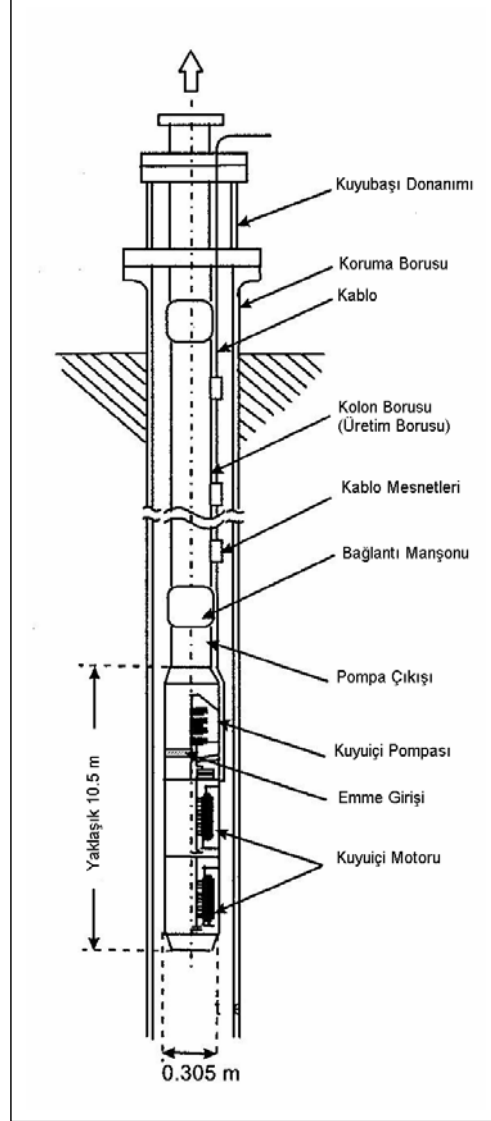
Şekil 4. Kalina tip binary sistemden elektrik üretimi.

3. ELEKTRİKLİ DALGIÇ YERALTI POMPALARINDAKİ GELİŞMELER

Ülkemizde merkezi ısıtma sistemi kurulmuş bulunan düşük entalpili sahaların hemen hepsinde, binary çevrimlerle elektrik üretilmesi planlanan orta entalpili sahalarda ve başlangıçta artezyen akışı olup ta zamanla basıncı düşen, ya da üretimi arttırılmak istenen jeotermal sahalarda yeraltı pompalarının kullanılması gerekmektedir. Türkiye’de ve dünyada jeotermal uygulamalarda, maliyetinin görece olarak düşük olması ve elektrik motorunun kuyubaşında bulunması nedeniyle, şaftlı yeraltı pompalar tercih edilmektedir. Ancak, bu pompalar indirilebilecekleri maksimum derinlik olan 200-250 m ile sınırlı olup, dönen şaft dolayısıyla kuyubaşlarındaki olası kaçaklar ve akış boruları içinde bulunan şaftın akışı kısmen engelleyerek sürtünme basınç kayıplarının artması nedeniyle elektrikli dalgıç pompalara göre dezavantajlıdır. Özellikle şaftlı pompalarda indirilen derinlik arttıkça şaft sayısı ve her bir şaft için kullanılan yatak sayısı artmakta ve bu da indirilme derinliğini sınırlamakta ve bakım maliyetini arttırmaktadır.

Eskiden petrol sektöründe derin kuyulardan yüksek debili üretimi başarıyla gerçekleştiren elektrikli dalgıç pompalar, petrol kuyularının derinliğinin artması dolayısıyla yüksek sıcaklık gereksinimlerinin karşılanması için geliştirilerek, belli sıcaklıklara kadar (maksimum 288°C) [8] jeotermal kuyulardaki ihtiyaçları karşılayacak düzeye gelmişlerdir. Bu gelişmeleri sağlayan elemanlar yüksek sıcaklığa dayanıklı epoksi kaplanmış yeni motor tasarımları, özel güç kablosu, yeni pompa ve yeni epoksi koruyucu yapılarıdır [8]. ABD’ de Fish Lake sahasında “Magma Power” projesinde 185°C sıcaklıkta güvenilir hizmet vermişlerdir [9]. Bunun yanında, bu pompaların çalışmasını engelleyebilecek gazların ayrılmasını sağlayan yüksek verimlilikli gaz separatörleri ve pompanın değişken hızlarda çalışmasını sağlayan SCR (Silicon Controlled Rectifier) sistemleri yerine, “Intelligent Pulse Width Modulation”

transistör tasarımları da geliştirilmiştir [8]. Petrol sektöründeki bu gelişmelerden bağımsız olarak, Japonya'da yapılan araştırmalarla [10] 200°C sıcaklığa dayanıklı elektrikli dalgıç pompalar geliştirilmiştir (Şekil 5). Eğer bu pompalar 1970'li yılların ortasında var olsalardı, Kızıldere jeotermal sahasında o yıllarda gelişmiş bir "binary" çevrim kurularak, daha fazla elektrik enerjisi üretmek mümkün olabilecekti. Böyle bir santral, daha sonra 28 milyon dolara malolan klasik buhar çevrimi yerine sadece 8 milyon dolara malolacaktı [11].



Şekil 5. Japonya'da geliştirilen elektrikli dalgıç pompa [10].

4. REZERVUAR DEĞERLENDİRME TEKNİKLERİNDEKİ GELİŞMELER

4.1. EGS ve Hidrotermal Sistemler

Bilindiği gibi EGS sistemleri çatlak akışı tarafından kontrol edilmektedir. Bu özellik EGS similatörlerinin diğer hidrotermal kaynaklar için kullanılan similatörlerden ayırmaktadır. Son yıllarda EGS sistemleri için GEOCRACK, FRACTure, GEOTH3D and FRACSIM-3D gibi simulatörler geliştirilmiştir [12]. EGS simulatörlerinde aranan özellikler çatlakların sağlıklı bir şekilde temsil edilmesi, etken gerilme ve kayma yanında termo-elastik etkiler dolayısıyla çatlak açıklığında değişim, çatlak açıklığı ile iletkenlik

ilişkisi ve çatlak içinde akışkanın kanallaşmasıdır. Yukarıdaki simülasyonların herbiri çeşitli yetenekleri olmasına rağmen tüm aranan özellikleri tatmin etmemektedir. Tek bir model tüm EGS projelerinin her bir aşaması için uygun değildir. Varolan verilerin kısıtlı olduğu ve öncelikli hedefin rezerv belirlemek ve proje planlaması olan başlangıç aşamasında çatlak şebekesi tipi modeller (FRACSIM-3D) pratik olarak daha uygundur. Çatlaklar üzerine daha güvenilir verilerin elde edilmesinden sonraki olgunluk aşamasında discrete çatlak tipi modeller (FRACTure) enjeksiyon/üretim stratejisi için tercih edilirler. Bazı projelerde su/kayaç etkileşimi veya iki fazlı akış önemli olduğu için, bu amaçla tek bir simülasyon geliştirmek yerine, değişik simülasyonların özelliklerinden yararlanmak şimdilik uygun görülmektedir [12]. Öte yandan, son yıllarda hidrotermal sistemler için de TOUGH2, TETRAD, STAR ve FEHM gibi simülasyonlar geliştirilmiştir.

4.2. Jeofizik Yöntemlerle Rezervuar İzleme

Rezervuar izleme yöntemlerinden işletme sırasında tekrarlanan gravite ölçmeleri yöntemiyle, değişik davranışlar gösteren üretim ve reenjeksiyon zonları izlenebilmektedir. Üretimle hemen azalan ve reenjeksiyonla hemen artan gravite değerleri daha sonra zamanla stabilize olmaktadır [13]. El Salvador'daki Berlin sahasında izlenen mikrosismik aktivite, enjeksiyon akışkanlarının enjeksiyon kuyu diplerinde yoğunlaştığını sismisite ile göstermiştir [14]. Bu da enjeksiyon akışkanlarının nasıl yayılacağı konusunda önemli bilgiler sağlayabilir.

Yapılan bir modelleme çalışması [15], gravite, DC rezistivite, Manyetotellürik (MT) gibi jeofizik yöntemlerin üretim zonuna hassas olduğunu, öte yandan, sismik ve SP yöntemlerinin de enjeksiyon zonunu daha iyi izlediğini göstermiştir. Sahalarda yapılan çalışmalar da bu durumu teyit etmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇLAR

Yukarıda da belirtildiği gibi, yapılan çalışmalardan [2] ülkemizdeki jeotermal kaynakların çoğunluğunun orta entalpi grubuna girdiği ortaya çıkmıştır. Bundan ötürü, bu jeotermal sistemlerden elektrik enerjisi elde etmek için binary çevrimlerinin kullanılması esastır. Bu sistemlerden (çeşitli ORC veya Kalina) hangisinin seçileceği konusu, önce kaynağa uygunluk ve daha sonra da yapılacak ekonomik çalışmalarla belirlenecektir. Bugünlerde bu tür bir çalışma Salavatlı jeotermal sahasında kurulacak bir "binary" santral için gerçekleştirilmektedir.

Öte yandan, yüksek entalpili jeotermal kaynaklardan elektrik enerjisi elde edilmesi söz konusu olduğunda, verimi daha yüksek olan radyal içakışlı türbinlere yönelmesi kaynak kullanma verimini de arttıracaktır. Yüksek entalpili kaynakların klasik buhar çevrimleriyle değerlendirilmesi gerektiğinde, mutlaka santral optimizasyonuna gidilmesi lazımdır. Bu yolla yine kaynak kullanım verimi arttırılacaktır.

Jeotermal sahalarda akışkan üretimi için, eğer su seviyeleri çok düşük değilse, 130°C'a kadar yerli imalat şaftlı pompalar kullanılabilir. Ancak, su seviyelerinin üretimle çok düşmesi ve yüksek sıcaklıkların bulunması durumunda, elektrikli dalgıç pompaların kullanılmaya başlanması gerekmektedir. Bu pompaların kullanımı, özellikle daha önce teknik nedenlerle kurulamayan binary santrallerin yaygınlaşmasına ve elektrik enerjisi elde edilen jeotermal sistemlerinin artmasına, ülkedeki üretimin artmasına dışardan ithal edilen enerji kaynakları yerine yerli kaynakların kullanılmasına yol açacaktır.

Ülkemizde bilindiği kadarıyla Nevşehir Aksaray arasında EGS tipi kaynak bulunma olasılığı vardır [16]. Ayrıca, ülkenin 1/3'nün volkanitlerle kaplı olduğu düşünülürse, bu tip saklı bazı kaynakların bulunduğu düşünülebilir. Ülkemizde rastlanan yüksek ısı akılarının bir kısmı bu tür kaynaklara atfedilebilir [2]. EGS tipi jeotermal kaynaklar gelecekte kendi kaynaklarımıza öncelik verdiğimiz zaman mutlaka keşfedileceklerdir. Bu tür jeotermal kaynakların değerlendirilmesinde kullanılabilecek simülasyonlar bu çalışmada işaret edilmiştir.

Ülkemizdeki hidrotermal sistemler olması gerektiği gibi işletilmemekte ve ülkemizdeki reenjeksiyon uygulamaları yetersiz ve verimsiz kalmaktadır [17]. Bunun en büyük nedeni de jeotermal rezervuar performans değerlendirilmesinin uygulanmamasıdır. Bu amaçla, halen bilinen ve işletilmekte olan hidrotermal rezervuarlarımızın değerlendirilmesinde simülatörlerin de kullanılması gerekmektedir. Bunlar metinde belirtilmiştir. Öte yandan, rezervuar değerlendirmesinde, özellikle üretim ve enjeksiyon akışkanlarının izlenmesi, üretim reenjeksiyon uygulamalarının optimize edilmesinde önemli rol oynayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Othmer, K., Geothermal Energy, Encyclopedia of Chemical Technology, Vol. 11, 3rd Edition, J. Wiley&Sons, 1980.
- [2] Serpen, U., Mihçakan, M., Heat Flow and Related Geothermal Potential of Turkey", GRC Annual Meeting, GRC Transactions Vol. 23, pp.485-490, 17-20 Oct.,1999.
- [3] Grassiani, M., Krieger, Z., Advanced Power Plants for Use with Hot Dry Rock (HDR) and Enhanced Geothermal Technology. Proc. World Geothermal Congress 2000 Kyushu-Tohoku, Japan, May 28-June 10, 2000, pp. 3719-3723.
- [4] Hassani, V. and Netter, J., Ammonia/Water Condensation: Horizontal Shell and Tube Tests, GRC Transactions, Vol. 23, Oct. 17-20, 1999, pp. 71-74.
- [5] Leibowitz, H.M. and Micak, H.A., Design of a 2 MW Kalina Cycle Binary Module for Installation in Husavik, Iceland, GRC Transactions, Vol. 23, Oct. 17-20, 1999, pp. 75-80.
- [6] Dakin R., Improving your Geothermal Resource, GE Rotoflow, 2000.
- [7] Yokota, H. and Saito, S., Optimization of Geothermal Power Plant, Proceedings 19th NZ Geothermal Workshop, 1997.
- [8] Reda for the Long Run, Technical Bulletin, Bartlesville, Cal., USA, 1997.
- [9] Baker Hughes Cenrilift Electrical Submersible Pumps, Technical Bulletin for High Temperature Products and Services, Houston Tx., USA, 2001.
- [10] Ichikawa, S., Yasuga, H., Toshi, 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.
- [11] Brindle, R.,G., Rogers Engineering Report to UNDP, Nov. 12, 1971.
- [12] Sanyal, S.K., Butler, S.J., Swenson, D., Hardeman, B., Review of the State of the Art of Numerical Simulation of Enhanced Geothermal Systems.
- [13] Ehara, S., Fujimitsu, Y., Nishijima, J., Motoyama, T., Shimosako, N., Nakano, Y., Reservoir monitoring by Repeat Gravity Measurements at Some Geothermal Fields in Kyushu, Japan, GRC Transactions, Vol. 22, Sept, 20-23, 1998, pp. 153-158.
- [14] Fabriol, H., Rivas, J., Handal, S., Correia, H., Microseismicity and Geothermal Exploitation of Berlin (El Salvador), GRC Transactions, Vol. 22, Sept, 20-23, 1998, pp. 159-164.
- [15] Pritchett J.W., Stevens, J., Wannamaker, P., Nakanishi, S., Yamazawa, S., Theoretical Appraisal of Surface Geophysical Survey Methods for Geothermal Monitoring, GRC Transactions, Vol. 24, Sept. 24-27, 2000, pp. 617-622.
- [16] Öngür T., Kişisel İletişim, İstanbul, 2003.
- [17] Satman, A., Serpen U., Onur M., Balçova-Narlıdere Jeotermal Sisteminin Üretim Performans Değerlendirmesi, Balova Jeotermal Ltd., 2001.

ÖZGEÇMİŞ

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 sahalarda 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.