

JEOTERMAL ENERJİ ALANINDA KÜÇÜK ÇAPLI KUYULAR

Umran SERPEN

ÖZET

Küçük çaplı kuyular (<15 cm, 6 inç), petrol endüstrisinde anıldığı gibi "slim holes", jeotermal enerji endüstrisinde de boy göstermeye başlamışlardır. Bu tür kuyuların uygulamaya girmesinde en büyük neden, ekonomik olmalarıdır. Çaplarının küçük olması dolayısıyla, daha az iş gücü, daha küçük sondaj makinesi, daha küçük lokasyon, daha az akaryakıt ve sondaj sarf malzemelerinin kullanımının söz konusu olması yanında, elmaslı sondaj makineleriyle yapılmaları durumunda, yeraltındaki yapı ve litoloji hakkında çok fazla bilgi sağlamaktadırlar. Jeotermal endüstrisi açısından bu kuyuların önemi, tahmin edilen sıcaklıkların varlıklarının en ekonomik yöntemle kanıtlanmasıdır.

1.GİRİŞ

Küçük çaplı jeotermal kuyular, sığ seviyelere delinen, bilinen maden sondajlarının ötesinde, 3500 m'lere varan derinlikleriyle, derin kuyulardır. Yakın geçmişte petrol sahalarında da ekonomik avantajları dolayısıyla uygulama alanı bulmuşlardır. Bu tür kuyular, yakın geçmişte Zonguldak havzasında 2000 m derinliğe kadar delinmiştir [1]. Küçük çaplı kuyular, ya standart çaplardan daha küçük çaplarda delinirler, ya elmaslı sondaj makineleriyle karotlu olarak, ya da her iki yöntem kombine edilerek, delinirler. Her üç seçeneğin de sağladığı avantajlar vardır. Genelde, bu tür sondajlar arama amacına yönelik delinirler. Ancak, son yıllarda jeotermal sahalarda delinen bu tür kuyulardan formasyon değerlendirme, hatta küçük çapta üretim yapmak da mümkün olmaktadır.

Arama ve rezervuar değerlendirmeyle ilgili sondaj maliyetleri kanıtlanmış jeotermal rezervlerin gelişmesini engelleyen önemli bir engel oluşturmaktadır. Bu rezervleri geliştirmek için jeotermal endüstrisi arama ve rezervuar değerlendirme maliyetlerini düşürmek zorundadır. Tipik bir jeotermal arama kuyusu büyük çaplı (üretim kuyusu boyutlarında) delinmekte ve eğer sıcak su ve/veya buhar bulunursa test edilmektedir. Bu kuyuların ülkemizdeki maliyetleri 500 bin \$ ile 1 milyon \$ arasında olup, yurt dışında bunların iki katından fazla olabilmektedir. Standart üretim çapında kuyular delmek, başlangıç aşamasında jeotermal projelere büyük finansal yükler yüklemektedir. Geçmişte elmaslı matkaplarla karot alınarak delinen 3" - 4" çaplı kuyular, sıcaklık gradyanını ölçmek ve lokasyon belirlemek için kullanılmaktaydı. Son yıllarda küçük çaplı kuyularda test yöntemlerinin gelişmesi, bu teknolojinin kullanılması konusunda teşvik yaratmıştır [2].

Bu çalışmada, küçük çaplı kuyuların jeotermal enerji alanındaki kullanımları tanıtılmakta, kullanılan teknolojiden bahsedilmekte ve bu tür kuyuların ekonomik avantajları konusunda bilgi aktarılmaktadır.

2.KÜÇÜK ÇAPLI JEOTERMAL KUYULARIN DELİNİMESİ

2.1. Sondaj Tekniği Farkları

- Geleneksel rotary standart çaplı sondajlarda delme işlemi için matkaba verilen yük ağırlık borularıyla (drill collars) sağlanmaktadır. Elmaslı matkaplarla yapılan küçük çaplı sondajlarda delme için gerekli yük yüzeyde hidrolik olarak çalışan “morset” ile verilmektedir. Bu iki tür sondaj yaklaşımı arasındaki ana fark budur. Diğer tüm farklar, bu ana farklılaşmadan kaynaklanmaktadır.
- Standart çaplı kuyular büyük çaplı kazılmalarından ötürü bol miktarda üretilen kırıntıların temizlenmesi ile onların yüzeye geniş çaplar içinden yüzeye taşınması için önemli pompalama gereksinimleri yaratmaktadır. Öte yandan, küçük çaplı sondajlarda anülüs aralığı çok küçük olduğundan burada yüksek çıkış hızı elde etmek sorun değildir ve kırıntıları yukarıya taşımak için gerekli pompa debileri düşüktür.
- Standart sondajlarda pompalama sırasında oluşan en yüksek sürtünme basınç kayıpları sondaj boruları ve özellikle ağırlık boruları içinde oluşuyorken, küçük çaplı sondajlarda kısıtlı olan anülüste oluşmaktadır. Standart çaplı kuyularda sondajın sapma kontrolü için bir dizi “stabilizer” ve “reamer” kullanılırken, çap kısıtlaması nedeniyle, küçük çaplı kuyularda bu sorun olmamakta ve yukarıda bahsedilen düzeneklere gereksinim duyulmamaktadır.
- Standart çaplı kuyularda sirkülasyon kayıpları önemli bir sorun haline gelirken, küçük çaplı sondajlarda kaçarak sondaj yapmak sorun yaratmamaktadır. Bu durum yüksek sıcaklıkların rastlandığı jeotermal sahalarda bir avantaj yaratmaktadır.
- Standart çaplı rotary sondaj özellikle sedimanter formasyonlarda, karotlu elmas matkapla yapılan küçük çaplı sondajlara göre, çok hızlı ilerleyebilmektedir. Bu durumda ülkemizdeki jeotermal sahalarda jeotermal akışkanları taşıyan paleozoik metamorfiklerinin üzerinde bulunan sedimanter formasyonlar hızla delinip, daha sonra karotlu sondaja geçmek en uygun yaklaşım olarak görünmektedir.

2.2. Küçük Çaplı Jeotermal Kuyular için Sondaj Donanımları

Küçük çaplı kuyuları karotlu delmek için kullanılan sondaj makinelerinin belli bir ölçüde rotary sondaj yapma yetenekleri vardır. Rezervuara varmadan önce yüzeye yakın yerlerdeki sedimanter kesimlerin hızlı delinmesi için böyle bir yeteneğe gereksinim vardır. ABD’de bu tür sondaj makineleri Tonto firmasının UDR5000 ve Bart-Longyear firmasının HD602’dir [2]. Bizim ülkemizde ise Zonguldak havzasında 2000 m’lik sondaj için Longyear HD55 makinesi kullanılmıştır. Tablo 1 jeotermalde kullanılabilir karotlu ve standart rotary sondaj makinelerinin çeşitli açılardan karşılaştırmalarını vermektedir.

Tablo 1. Rotary ve Elmas Matkaplı Karotlu Sondaj Makinelerinin Karşılaştırılması [2].

	Rotary Sondaj	Karotlu Sondaj
Sondaj Personeli	Başsondör+5 kişi	2 veya 3 kişi, başsondörsüz
Çamur Hizmeti	Evet	Hayır
Çamur Müh.	Evet	Bazen
Sondaj Müh.	Evet	Bazen
Lokasyon	120x75m, 200m ³ çamur tankları ve çamur çukuru	60x45m, 4m ³ çamur tankı, çamur çukuru
Sondaj Makinesi	45m kule, 40 kamyon yük, 9m altyapı, büyük çamur pompası(40 lt/s/200bar)	18m kule, 2-5 kamyon yük, 3m altyapı, küçük pompa (3 lt/s/75bar).

Yukarıdaki sondaj makinelerinde üstte yapılan rotary sondaj kısmı için CHD134 (5”DC) ve CHD101 (4”DC) kullanılmaktadır. Daha derinlerde karotlu delerken HCQ sondaj boruları kullanılmaktadır. Long Valley arama kuyusu delinirken özel bir bileşik sondaj dizisi kullanılmıştır: üstte 4” Hydrill tübing ve aşağıda CHD101/HMQ karot aletleri olmak üzere düzenlenen bu dizi 4250m kapasiteye sahiptir [2].

Yukarıdakilere göre daha sığ olan Zonguldak havzasında delinen küçük çaplı kuyuda sırasıyla PQWL, HQWL ve NQWL sondaj dizileri kullanılmıştır [1]. Kullanılacak karot boru tipleri ve onların derinlik kapasiteleri Tablo 2’de verilmektedir.

Sandia Laboratuvarları küçük çaplı kuyulardaki sondaj makinelerinde akış “transducer” ları kullanarak çamur debisi, giriş-çıkış sıcaklığı, pompa stroku-basıncı, takım devir sayısı, ve derinliği kaydeden bir enstrüman geliştirmiştir [3]. Bu vasıta ile sirkülasyon kaybı veya artışını (blowout), sondaj dizisinde oluşan delikleri, pompa verimini (pompa stroku ile ölçülen değeri karşılaştırarak), ani sıcaklık değişimini algılamak mümkün olmuş ve ayrıca, sondaj optimizasyonuna yardımcı olmuştur. Bundan başka, yine Sandia laboratuvarları (SOI) teknolojisini kullanarak [3], küçük çaplı kuyularda log alınabilmesi olanağını sağlamıştır. Bilindiği gibi jeotermal kuyularda kullanılan log aletlerine sıcaklık koruyucusu takılması nedeniyle küçük kuyulara bu aletlerin indirilmesi olanağı ortadan kalkmıştır. Yeni teknoloji bu imkanı sağlamaktadır.

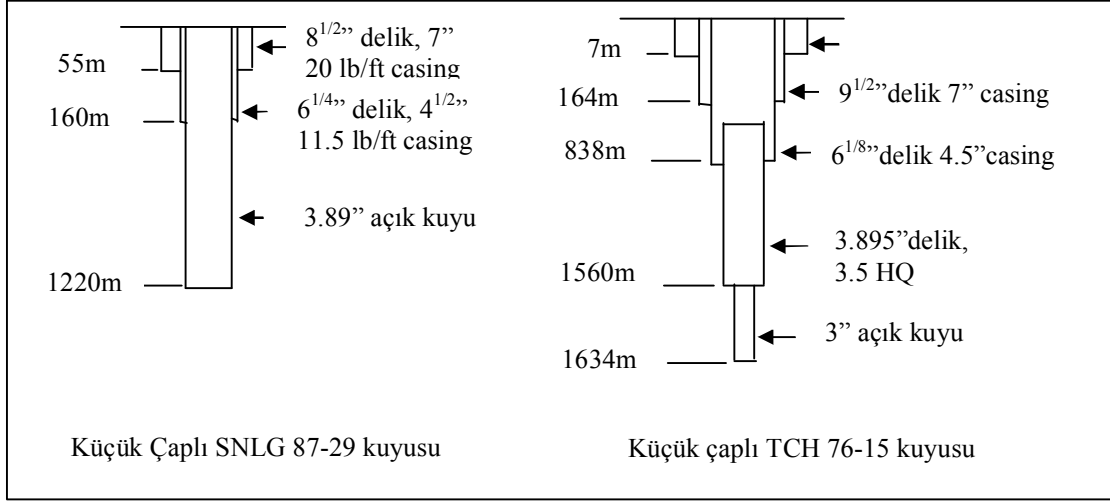
Tablo 2. Karot Boru Tipleri ve Derinlik Kapasiteleri [2].

Karot Boru Tipleri	Maksimum Derinlik, m
CHD134	2300
CHD101	3000
HMCQ	1850
101/HMCQ bileşik	3750
CHD76	3000
NCQ	1850
76/NCQ bileşik	3400

2.3. Küçük Çaplı Jeotermal Kuyular için Kuyu Planları

Kuyu planları yapılırken uygulanacak olan kuyu çapları belirlenirken dikkate alınacak özellikler: (1) üretim zonundaki kuyu çapı içinden log aletleri ve ameradanın geçmesi, (2) alınacak karot çapının jeolojik ve yapısal durumları tanımlayacak büyüklükte ve ayrıca, çatlaklı zonlarda karot kurtarımının yüksek olması, (3) her bir karot boru çapının belli bir derinlikle sınırlanması, (4) şişen “packer”ların üretim kuyusu içine girebilmesi, (5) üretim kuyu çapının test imkanı verecek boyutta olmasıdır.

Küçük çaplı kuyu planları üst kısımların rotary sondaj tekniği, alt kısımların ise karotlu sondaj tekniğiyle delinmesine göre tasarlanırlar. Genelde, 7” çaplı yüzey koruma borusu 8½” veya 12¼” delik içine 20-50 m derinliğe indirilerek çimentolanır. Daha sonra, 6” veya 6¼” çaplı delik rezervuara kadar kazılarak, içine 4½” çaplı HW veya 4½” 11.6 lb/ft koruma borusu indirilerek çimentolanır. Bu dizi üretim koruma borusudur. En son olarak 3.89” çaplı delik rezervuarı geçinceye kadar delinerek, ya çıplak bırakılır (sağlam formasyonlarda), ya da onun içine 2 3/8” çaplı “EUE” veya “flush-joint” tubing, veya 3½” 7.7 lb/ft liner [4], filtreli boru olarak indirilir. Zonguldak’taki küçük çaplı kuyuda ise, 8½” delik içine 7” koruma borusu 9 m’ye indirilip, ardından 6¼” çaplı delik 354 m’ye kazılarak buraya PW koruma borusu, onun içinden de PQWL ile 504 m’ye delinerek HW koruma borusu indirilmiştir. Daha sonra, HQWL kuyu 1569 m’ye kazılmış ve buraya HCQ rodlar koruma borusu olarak bırakılmış ve en sonunda, NQWL kuyu 2002’ye kadar kazılmıştır. Tipik küçük çaplı kuyu planları Şekil 1’de gösterilmektedir.



Şekil 1. Tipik küçük çaplı kuyu planları.

2.4. Küçük Çaplı Jeotermal Kuyularda Sondaj Sorunları

Genel olarak standart ve küçük çaplı kuyularda karşılaşılan sorunlar benzerdir, ancak bu sorunlar, küçük çaplı kuyularda daha sık rastlanıyor olup; akışkanla ilgili, beklenmeyen ara koruma borusu ve basınç kontrolü adları altında 3 grupta toplanabilir.

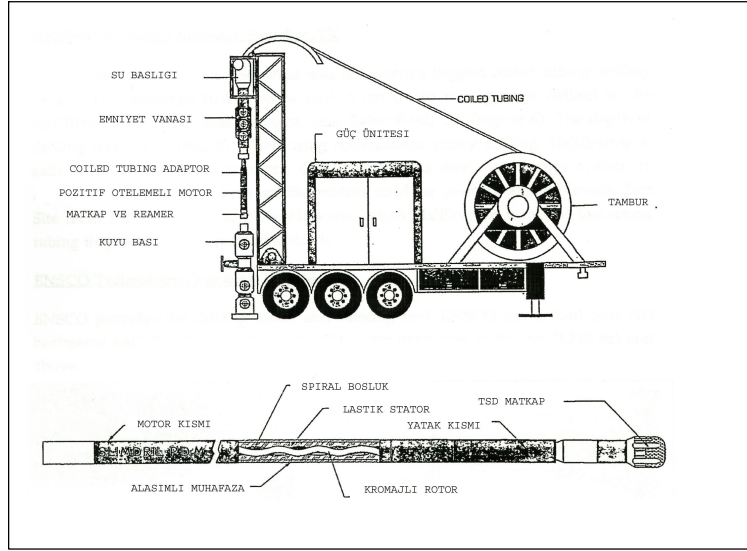
Küçük çaplı kuyuların delinmesi sırasında çamur kullanılıyorsa, çamur içindeki katı madde kontrolü, hem dar olan anülüste takım sıkışmasını önlemek, hem de karotiyer, pompa ve sondaj dizisinde aşınmaları önlemek açısından önemlidir. Öte yandan, çamurun sondaj dizisinde belli ölçüde yağlayıcı etki yaratması hem sürtünmeyi önlemek, hemde vibrasyonu engellemek gerekir [5].

Normal olarak standart çaplı rotary sondajlarında kuyunun en üstüne indirilen koruma borusu üretim koruma borusunun çapını belirler. Petrol, doğal gaz ve jeotermal sondajları planlayanlar acil durumlarda kullanılmak üzere, bir ara koruma borusu için aralık bırakırlar. Genelde, küçük çaplı kuyular için arzu edilen minimum çap H olup, 3.89" 'tir. Eğer acil bir durum söz konusu olursa N/CHD76 atkım kullanılıp, N boyutlu kuyu kazılabilir. Zonguldak'ta delinen küçük çaplı kuyuda acil durum ortaya çıkmamış olmasına rağmen sondaj N çap ile bitirilmiştir [1]. N çapın altındaki kuyular, örneğin B çapı, pratik kullanılabiliyor olmaması için jeotermal aramalarda tercih edilmemektedir.

Jeotermal kuyularda, petrol ve doğal gaz kuyularında olduğu gibi basınçlı formasyonlar azdır. Genelde jeotermal sistemler kırık ve çatlaklı yapılarda olduğu için, formasyon basınçları hidrostatik basıncın altındadır. Ancak, Türkiye ve bazı yerlerdeki jeotermal sahalar az da olsa, hidrostatik üzerine çıkmaktadırlar. Genelde, jeotermal kaynaklarda yapılan sondajlarda ortaya çıkan fışkırmaya (blowout) sorunları suyun sıcaklığından kaynaklanmaktadır ve çoğu kez fışkırmaya kuyuya soğuk su basılarak kontrol edilir. Türkiye'de ise çamura barit katılarak kuyu kontrolü sağlanır. Bunun yarattığı problemler katı madde miktarının artması ve çamurun yaratacağı formasyon hasarıdır. Çamur kullanılan küçük çaplı kuyularda anülüsün dar olması nedeniyle, manevra sırasında sondaj dizisini kuyudan çekerken yaratılan emme ile (piston etkisi) kuyunun akışa geçmesidir. Küçük çaplı kuyularda kuyu kontrolü için kullanılan emniyet vanaları da küçük olup, maliyetleri diğerlerine göre düşüktür.

2.5. Yönlü Küçük Çaplı Kuyular

Bu tür sondajlar jeotermal enerji dışında başka amaçlarla gerçekleştirilmiş olup, “coiling tubing” adlı tambura sarılan sürekli boruyla yapılmaktadır. Delme işlemi için PDC (Polycrystalline Diamond Compact) veya yeni geliştirilmiş TSD (Thermally Stable Diamond) adı verilen elmas matkaplar kullanılmaktadır. Yönlendirme işlemi sırasında, delme için Navi-Drill adlı “moineau” tipi bir yeraltı motoru kullanılmaktadır [6]. Şekil 2’de coiled tubing ve pozitif ötelemeli düzenek elemanları görünüyor.



Şekil 2. Pozitif ötelemeli motor ve coiled tübing sistemi [6].

3. KÜÇÜK JEOTERMAL KUYULARDA TEST

Küçük kuyularda sıcaklık amirada ile kolaylıkla ölçülebilir. Gerçek sıcaklıklara ulaşmak için uzun müddet beklenmesi söz konusu değildir. Küçük çaplı kuyularda kullanılan sirkülasyon debisi tam çaplı kuyulara göre çok küçük olduğundan, sıcaklıklar çabucak toparlanarak, statik değerlerine ulaşabilirler.

Jeotermal kuyuların üretim karakteristikleri : (1) borulardaki sürtünme basınç kayıpları ve kuyu cidarındaki ısı kayıplarına, (2) rezervuar içindeki akış sırasındaki basınç kayıplarına bağlıdır. Bazen rezervuar geçirgenliği öyle büyüktür ki, buradaki basınç kaybı önemsiz ve ihmal edilebilir hale gelir. O zaman o sahada küçük kuyulardaki akışı, boru içindeki sürtünme basınç kayıpları belirler. Eğer geçirgenlik düşük ise, tam çaplı bir kuyunun üretimi küçük çaplı bir kuyudan fazla olmayacaktır. Öte yandan, eğer geçirgenlik büyük ise, akış boru çapı tarafından sınırlandırılır ve akış debisi boru çapı alanından daha çabuk artar. Burada önemli olan bu durumlardan hangisinin hakim olduğu veya bunlar arasında bir durumun olup, olmadığıdır.

Aynı yerdeki tam çaplı bir jeotermal üretim kuyusu üretilebilirliğini küçük çaplı bir kuyunun üretilebilirliğinden tahmin etmek için birçok yöntem vardır. Bunlardan bir tanesi, değişken kuyu çaplarında kuyunun akışkan taşıma kapasitesinin karşılaştırılmasıdır. Alan ölçekli böyle bir mukayese aşağıdaki gibi verilebilir [7]:

$$Q_{\text{tamçap}} = Q_{\text{küçükçap}} \left\{ \frac{\text{Çap}_{\text{üretim}}}{\text{Çap}_{\text{küçük}}} \right\}^2 \quad (1)$$

ABD ve Japonya'daki kuyu testlerinden elde edilen verilerle yapılan sayısal simülasyonlar sonucunda küçük çaplı kuyular için bir ölçek çalışması yapılmış ve tam çaplı kuyularla, küçük çaplı kuyuların üretimleri arasındaki ilişki aşağıda verilmiştir [7]:

$$Q_{\text{tamçap}} = Q_{\text{küçükçap}} \left\{ \frac{\text{Çap}_{\text{üretim}}}{\text{Çap}_{\text{küçük}}} \right\}^n \quad (2)$$

Burada n yaklaşık olarak 2.5'tur.

Eğer sıcaklık, derinlik ve sıvı seviyesi küçük çaplı kuyunun akışına izin veriyorsa, bu optimum bir durum olup, küçük çaplı kuyu akış verileri kullanılarak, yalnız rezervuar geçirgenliği değil, tam çaplı bir kuyunun da potansiyel üretimi de tahmin edilebilir. Eğer sıcaklık, derinlik ve sıvı seviyesi küçük çaplı kuyunun akışına izin vermiyorsa, kuyu üretime sokulamaz ve o zaman geçirgenlik tahmini enjeksiyon testlerine dayanılarak yapılır. Küçük çaplı kuyunun "transient" testlerinden (basınç yükselim, basınç azalım veya enjeksiyon) hesaplanan geçirgenlik değerleri çapla ilgili olmayıp, rezervuara ait parametreler oldukları için geçerlidir.

4. KÜÇÜK ÖLÇEKLİ JEOTERMAL SANTRAL PROJELERİ

Küçük çaplı kuyuların delinmesinin başlangıç çıkışı aramaya yönelik bir yöntem olmasına rağmen, bu kuyuların ulusal şebekeler dışında kalan yerlerde küçük ölçekli jeotermal santrallerin çalıştırılmasında önemli bir potansiyeli olduğu saptanmıştır. Yapılan yoğun çalışmalar [8], rezervuar derinliği ve sıcaklığına bağlı olarak 4" çaplı kuyuların dahi birkaç yüz kW, 6" çaplı bir kuyunun ise bir megawatt üzerinde güç üretebileceğini göstermiştir.

Son yıllarda elektrik şebekelerinin dışında kalan küçük ölçekli jeotermal projeler konusunda önemli teknolojik gelişmeler sağlanmasına rağmen [9], halen çeşitli engellerin varlığı hissedilmektedir:

- Yatırımcılar küçük jeotermal projeleri riskli bulmaktadır. Aslında, yaptığımız çalışmalar bu durumu doğrulamaktadır [10].
- Büyük jeotermal projelere göre küçük ölçekli projelerin yatırım üzerinden getirisi düşüktür.
- Küçük jeotermal elektrik projelerinin danışmanlık hizmet maliyetleri görece yüksektir.
- Finans kurumları finansman açısından isteksizdir, çünkü geçmiş örnekleri yoktur.
- Jeotermal kaynakların enerji pazarları ve finansmanla örtüşen uygun haritaları yoktur.

4.1. Küçük Ölçekli Jeotermal Projelerin Teknik Durumu

Ulusal şebeke dışındaki küçük ölçekli jeotermal projelerin teknik ve ekonomik durumları aşağıdaki gibi verilmektedir [9]

- Elektrik kapasitesi açısından değerlendirildiğinde, küçük çaplı kuyular 100 kW_e ile 1000 kW_e arasındadaki güçlerde küçük kuyubaşı elektrik santrallerini besleyebilmektedirler. Yüksek entalpili kaynaklar için bu güç 3 MW_e 'a kadar çıkabilmektedir. Rezervuar sıcaklıkları elektrik üretim kapasitesini etkileyen en önemli parametredir. Örneğin, 3" çaplı bir kuyu, rezervuar sıcaklığı >170°C ise, 100 kW_e'lık bir üniteyi, sıcaklık 240°C'a erişirse 600 kW_e'lık bir üniteyi besleyebilir. Öte yandan, 6" çaplı küçük bir kuyu rezervuar sıcaklığı 180°C ise 1 MW_e güce, 240°C ise 3 MW_e güce erişebilir.
- Rezervuar sıcaklığı 150°C altında ise jeotermal akışkanı yüzeye çıkarmak için pompa gerekir.
- Eğer bir yer altı pompası gerekirse, milli pompa yerine elektrikli dalgıç pompa kullanılmalıdır. Dalgıç pompalar artık 4.5" çaplı koruma borusu içine yerleştirilebilmektedir, dolayısıyla jeotermal uygulamalar için pompalar hazırdir.

- Ulusal şebeke dışı kuyu başında kullanılabilir küçük santral uygulamaları pratik olarak mümkündür. Düşük sıcaklıklı (<170°C) jeotermal sistemler binary santraller uygundur. Daha yüksek sıcaklıklı ve agresif olmayan kimyasal bileşimler için, daha yüksek basınçlı kondansörlü buhar türbinleri uygundur.
- Bir MW_e ve altındaki projelerin ekonomik yapılabilirliği için küçük çaplı kuyular esastır. Projenin başlangıç aşamasında yapılan sondaj ve aramanın gerçek maliyetleri, yaklaşık santral inşası kadardır. Çoğu kez uzak yerlere büyük çaplı kuyu kazacak kapasitede makinelerin getirilmesi pratik değildir.

Tüm yukarıdaki elemanlar bir küçük jeotermal santral çalıştırmak için yeterli ve uygun olmasına rağmen, bunların bir araya getirilip, çalıştırılması durumunda yoğun bir bakım gerektirip, gerektirmeyeceği test edilmemiştir. Küçük çaplı kuyuların uzun dönemli performansları hakkında yeterli veri toplanamamıştır. Öte yandan, akış için uygun bir koruma borusu tasarımı standart hale getirilememiştir. Bazı loglar hala küçük çaplı kuyulara inmemektedir. Küçük çaplı jeotermal santrallerin ekonomisi tam belirlenmemiştir ve bu özellikle bakım ve işletme masrafları için doğrudur. Genelde jeotermal santraller yüke bağlı olmayıp, temel yük santralleridir. Ancak, taşrada yükler değişkendir. Tepe yükleri, günlük ortalama yüklerin iki katı veya daha fazlası olabilir.

SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibidir:

- Küçük çaplı jeotermal kuyuların arama amaçlı delinmesi bu günün sondaj teknolojisi teknik olarak mümkündür.
- Küçük çaplı kuyularda üretim ve “transient” testlerle kuyu akış karakteristikleri yanında rezervuar parametrelerinin de elde edilmesi mümkündür.
- Küçük çaplı kuyulardan elde edilen akışkan ile küçük jeotermal santraller yanında, yerel olarak küçük çaplı ısıtma yapılması da olasıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Akün, M.E. ve Gülgör, A., “Zonguldak Taşkömürü Havzasında Derin Sondaj Çalışmaları”, Türkiye 11. Petrol Kongresi, Ankara, 15-17/4/1996.
- [2] Finger, J., Jacobson, R., Hickox, C., Combs, J., Polk, G., and Goranson, C., “Slimhole Handbook”, Sandia Report No. SAND99-1976, Sandia National Lab., Albuquerque, Oct., 1999.
- [3] Finger, J., Jacobson, R., “Slimhole Drilling, Logging and Completion Technology-An Update”, Sandia Report No. SAND99-2625C, Sandia National Lab., Albuquerque, Nov. 1999.
- [4] Finger, J., Jacobson, R.D., Hickox, C., “Vale Exploratory Slimhole: Drilling and Testing”, Sandia Report No. SAND96-1396, Sandia National Lab., Albuquerque, June 1996.
- [5] Sezer, V., “Elmaslı Sondaj Tekniği”, MTA Yayınları, Eğitim Serisi No. 14, Ankara, 1974.
- [6] Heuze, F., “Slimhole Drilling and Directional Drilling for On-Site Inspections Under a Comprehensive Test Ban”, LLNL Report No. UCRRL-ID-121295, July 1995.
- [7] Hickox, C.E., “Slimholes for Geothermal Reservoir Evaluation”, Proceedings of the Sandia/Geothermal Resources Council Workshop on Geothermal Slimhole Technology Workshop, Reno, NV., July 22-24, 1996.
- [8] Pritchett, J., W., “Theoretical Aspects of Geothermal Off-Grid Power Development Using Slim Holes”, Proceedings of the Sandia/Geothermal Resources Council Workshop on Geothermal OFF-Grid Power, Reno, NV, Dec./1998.

- [9] Finger, J.T., "Slim Holes for Small Power Plants", Sandia Report No. SAND99-2053C, Sandia National Laboratories, Albuquerque, August/1999.
- [10] Serpen U., Popov, A.I., "Jeotermal Enerjinin Uzun Dönemli Marjinal Maliyeti ve Değeri", 15. Petrol ve Doğal Gaz Kongresi ve Sergisi, Ankara, 11-13 Mayıs 2005.

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 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. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.