

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL KAYNAKLARDAN ELEKTRİK ÜRETİMİ

Geothermal Power Plants in Turkey

Niyazi AKSOY

ÖZET

Türkiye'de B Menderes ve Gediz Grabenleri sahip oldukları yüksek ısı akısı, keşfedilmiş jeotermal kaynaklar ve jeotermal kaynaklardan elektrik üretimindeki yüksek tarife nedeniyle yatırımcıların ilgisini çekmektedir. Türkiye'de jeotermal kaynaklar için açıklanan tarife 0.105 \$/kWh olup, bu rakam 10 yıl için geçerlidir. Ayrıca, 0.018 \$/kWh makina-ekipmandaki yerli üretim katkısına göre 5 yıl süre ile ekstra bir tarife daha bulunmaktadır. 2017 yılında tüm santraller için gerçekleşen ortalama fiyat 0.107 \$/kWh olmuştur.

Bu çalışmada Türkiye'deki jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi istatistiksel olarak incelenmiştir. 2018 sonu itibarı ile jeotermal kaynaklı kurulu güç 1347 MW'a ulaşmıştır. Yaklaşık 223 MW kapasiteli 7 yeni santralin yapımı sürmektedir. Üretim yapan yatırımcı sayısı 26'dır. Jeotermal santral ünite büyüklükleri 2.5 – 100 MW arasında değişen 64 bağımsız üniteden oluşmaktadır. Bunların 3 tanesi flash, 3 tanesi kombine (flash+binary), 1 tanesi "bottoming binary" ve 57 adedi binary santraldir. Buhar santralleri Germencik, Kızıldere ve Alaşehir'de kaynak sıcaklığı 200-260 °C arasında değişen sahalarda çalışmaktadır. İşletilen en düşük kaynak sıcaklığına sahip santralin kaynak sıcaklığı 105°C'dir. İşletilmekte olan santraller için delinen kuyu sayısı 900 ve toplam sondaj miktarı 1.9 milyon metreden fazladır.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal enerji, Jeotermal elektrik santrali, Türkiye.

ABSTRACT

In Turkey, discovered geothermal resources in Büyük Menderes and Gediz grabens have attracted the attention of investors due to the high tariffs of electricity generation from geothermal sources. Tariffs for electricity produced from geothermal resources announced as \$ 0.105 / kWh, this figure is valid for 10 years. There is also an extra tariff for 5 years, according to the domestic production contribution of \$ 0.018 / kWh machinery-equipment. In 2017, the average price for all power plants was \$ 0.107 / kWh.

In this study, electricity production from geothermal resources in Turkey were statistically analyzed. As of the end of 2018, the installed capacity of geothermal power has reached 1347 MW. The construction of 7 new power plants with a capacity of approximately 223 MW is still in progress. The number of investors is 26. The geothermal power plant consists of 64 independent units ranging in size from 2.5 to 100 MW. 3 of them are flash, 3 are combined (flash + binary), 1 are bottoming binary and 57 are binary. Steam power plants are operating in Germencik, Kızıldere and Alaşehir with resource temperature ranging from 200-260 °C. The lowest resource temperature of the operated power plant is 105°C. The number of wells drilled for the power plants in operation is 900 and the total amount of drilling is more than 1.9 million meters.

Key Words: Geothermal Energy, Geothermal power plants, Turkey.

1. GİRİŞ

Türkiye’de jeotermal kaynaklardan elektrik üretimine yönelik ilk çalışmalar, 1960’lı yıllarda başlamış, 1968 senesinde Kızıldere sahasında KD-1 kuyusu 540 m derinlikte tamamlanmış ve 203°C sıcaklıkta akışkan bulunmuştur. Bu proje, Birleşmiş Milletler Kalkınma Projesi (BMKP-UNDP) isimli bir proje kapsamında, MTA öncülüğünde başlatılmış ve söz konusu ortak proje sayesinde Türkiye’ye getirilen GD-3000 sondaj kulesi KD-1 kuyusunu delmiştir. Bu kule halen MTA envanterinde ve çalışır durumdadır. Aslında 1984 yılında devreye alınan Kızıldere-I jeotermal santrali Türkiye’nin ilk jeotermal elektrik santrali (JES) olarak tanınmış olsa da, ilk JES 1974 yılında MTA atölyelerinde yapılan 0,5 MW’lık bir makinadır. Bu türbin ile üretilen elektrik, başta Kızıldere köyü olmak üzere çevredeki köylere ücretsiz elektrik sağlamıştır. Daha sonra 5 MW’lık bir türbin yapımı başlatılmış, ancak sonuçlandırılmamıştır. BMKP kapsamın Türkiye’ye çok kıymetli jeotermal uzmanları gelmiştir. Bunlardan jeotermal akışkanların entalpisinin ölçülmesinde kullanılan metodu geliştiren (James Yöntemi) Russell James (1925-1984), 1970 ve 1971 yıllarında 11 ay Kızıldere sahasında çalışmıştır. Ayrıca ünlü jeokimyacı F.Tonani’de bu çalışmalara katılanlar arasındadır.

Bugüne kadar bilinen sırayı bozmamak için, 0.5 MW’lık JES’e “sıfır” numarasını verirsek, birinci JES Kızıldere sahasında 1984 yılında ticari üretime başlayan, tek buharlaşmalı 15 MW gücündeki Kızıldere-I jeotermal santralidir. Elektrik üretimindeki devlet tekeli ve o dönemdeki tek üretici Türkiye Elektrik Kurumu’nun isteksizliği, Kızıldere-I’den beklenen performansın kabuklaşma nedeniyle düşük kalması, uzun yıllar Türkiye’de bir başka jeotermal santralin gündeme getirilmesini engellemiştir. Kızıldere-I JES’in ilginç bir diğer yanı ise 2007 yılından özelleştirildiği tarihe kadar, sahada reenjeksiyon yapılmamasıdır. Ancak, 2000 yılı başlarından itibaren, reenjeksiyon için kuyular kazılmaya başlanmış ve R2 kuyusuna üretiminin %20-25’i kadar basılmaya başlanmıştır.

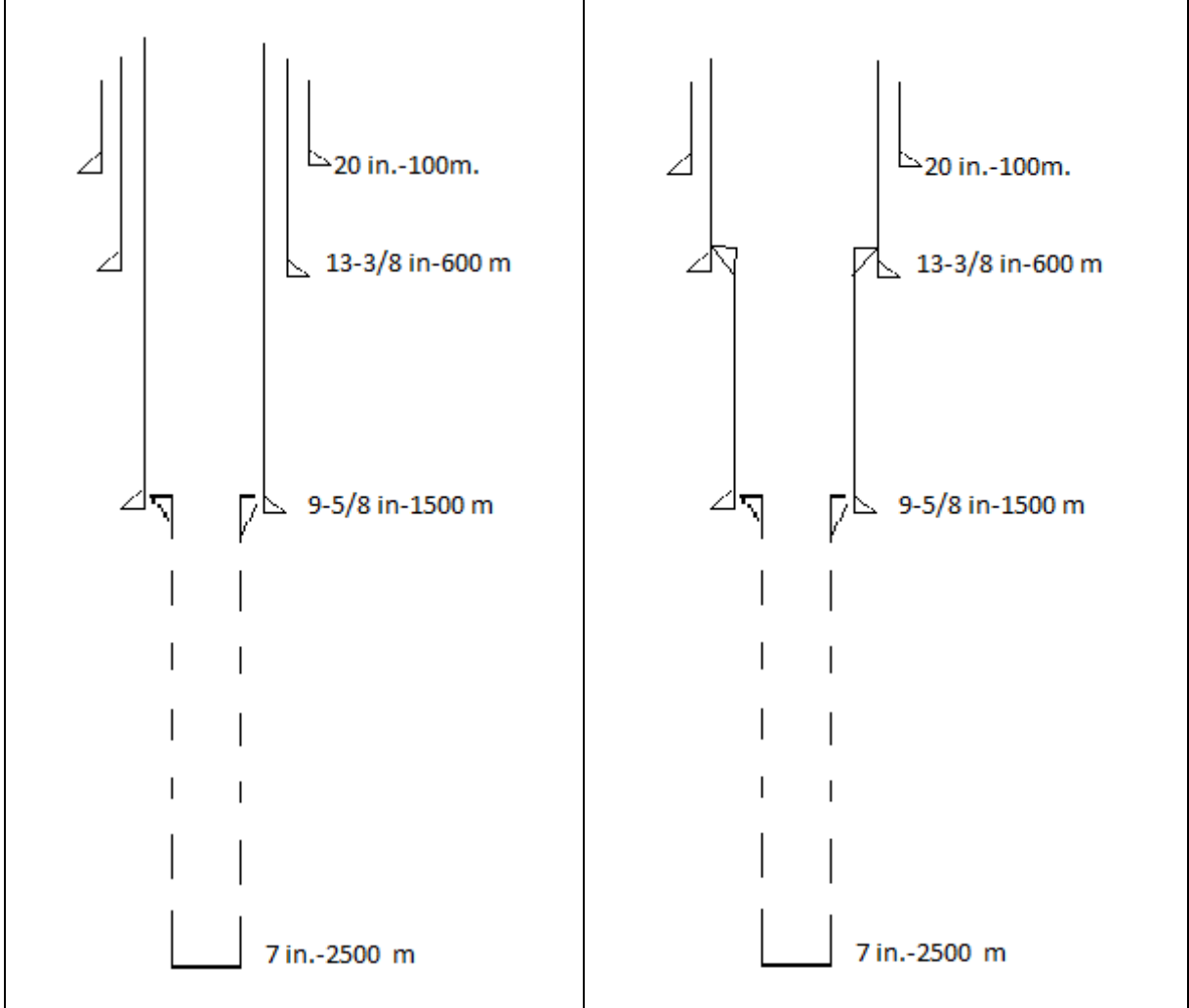
2006 yılında, Türkiye’nin ilk özel sektör JES’i devreye girmiştir. Dora-I JES, binary tipte olup, 2001 yılında elektrik piyasasının serbestleşmesiyle, Elektrik üretiminde TEK’in ve imtiyazlı bazı şirketlerin dışında özel sektörün de yatırımlara teşvik edilmeye başladığı bir dönemde projelendirilmeye başlanmıştır. 2007 yılında kabul edilen “Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu”[1], 2011 yılında çıkartılan “Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun”[2] ile jeotermal enerjiden üretilen elektrik için 10 yıl süre ile 10.5 \$cent /kWh lik bir fiyat ve alım garantisi devlet tarafından verilmiştir. Bu destek ve garanti edilen alım fiyatı sayesinde jeotermal kaynaklı elektrik üretim projelerinin finansmanı daha da kolaylaşmıştır. Yine bu kanunla jeotermal santrallerde kullanılan türbin, jeneratör, güç elektroniği, vakum pompaları veya kompresörlerin yerli üretim olması durumunda ilave olarak 0.7–1.7 \$cent/kWh daha teşvik uygulaması yapılmaktadır. Piyasada 2017 yılı için gerçekleşen ortalama fiyat 10.7 \$cent/kWh’dir.

2018 yılı sonu itibari ile ülkemizde 64 adet kurulu JES’in toplam kapasitesi 1347 MW’a ulaşmıştır. Bu kapasiteye erişmek için yaklaşık 900 kuyu ve 1.9 milyon metre sondaj yapılmıştır. Aşağıda detayları sunulan çalışmada, elektrik üretim lisansına hak kazanmış ve üretim yapmaya başlamış firmaların sondaj ve JES bilgileri değerlendirilmiştir. Arama amaçlı kazılan veya en az bir JES işletmeye başlamamış firmaların kazdığı kuyular dikkate alınmamıştır.

2. SONDAJ ÇALIŞMALARI

Ülkemizde, jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi niyeti ile delinen kuyu sayısı ve toplam metrajı bulmak için bu çalışma kapsamında, üretim yapan 29 şirket ile bir anket çalışması yapılmış ve ankete yanıt veren 27 firmanın delindiği kuyu sayısı 732 ve toplam metrajı 1,475,000 m’dir. Yanıt alınamayan firmaların üretim güçleri dikkate alındığında, toplam kuyu sayısının 900 ve sondaj miktarının 1,900,000 m olduğu tahmin edilmektedir. Delinmiş en derin kuyu GP2, 4500 m derinliğindedir. Kuyu Aydın-Koçarlı civarında Borusan tarafından delinmiştir. Delinen en sıcak kuyu ise 3S Kale tarafından Niğde-Bozköy Sivrihisar-3 kuyusudur. Bu kuyuda 3830 m derinlikte 295°C sıcaklık ölçülmüştür. Belirtilen 2 kuyuda yukarıda açıklanan nedenlerle sondaj envanterine dahil edilmemiştir. Envantere dahil edilen kuyuların tamamı, keşfedilmiş sahalarda yapılan geliştirme sondajlarıdır. Kuyuların %95’den fazlası B Menderes ve Gediz grabenlerinde delinmiş ve kalanı ise Tuzla-Çanakkale ve Afyon’dadır.

Delinen kuyular, çoğunlukla 11 inç 2M veya 3M vana ile tamamlanmış olup, üretim boruları 9-5/8 inç veya 13-3/8 inç'dir. Son zamanlarda 13-3/8 inç boruların pompalı üretimde kullanılabilmesi için, 9-5/8 inç boruların, 13-3/8 inç boru içine asılarak çimentolanması sık uygulanan bir yöntemdir. Tipik kuyu çapları Şekil 1'de verilmektedir. Rezervuar zonu genellikle 8-1/2 inç çapta delinmekte ve kuyular 7 inç filtreli borular asılarak tamamlanmaktadır.



Şekil 1. Türkiye'de yaygın olarak kullanılan tipik koruma borusu çapları ve uygulama şekli.

3. JEOTERMAL KAYNAKLARIN ELEKTRİK ÜRETİMİ AÇISINDAN KALİTESİ

Çift çevrim santralleri, (binary santraller) düşük sıcaklıkta buharlaşabilen akışkanları türbinlere göndererek elektrik üretimine olanak sağladıkları için oldukça düşük kaynak sıcaklıklarında (70-80°C) elektrik üretimi yapılabilir hale gelmiştir. Ancak, düşük sıcaklıktaki jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi mümkün olsa bile, kaynak sıcaklığı azaldıkça birim elektrik üretimi başına düşen sıcak su miktarı artacağı için, bu suların üretimi, santrale transferi, reenjeksiyonu için kullanılacak elektrik miktarı da artacaktır. Bazı koşullarda, elektrik üretimi mümkün olsa bile, iç tüketimi karşılamaya yetmeyebilir. Bununla birlikte düşük sıcaklığa sahip kaynakların çift çevrim santrallerde verimleri de düşmektedir. MIT tarafından yayınlanan bir çalışmada, çift çevrim santrallerin elektrik/termal enerji oranları istatistiksel olarak incelenmiş ve kaynak sıcaklığı ile çift çevrim santral verimleri arasında doğrusal bir ilişki tanımlanmıştır [3]. Buna göre 100°C sıcaklıktaki bir kaynağın termal enerjiden elektrik

enerjisine dönüşüm oranı 0.07 iken; 200°C için 0.17 civarındadır. Dış hava sıcaklığı da üretimi etkileyen bir başka teknik sınır olmaktadır. Bu sınırlamaların dışında finansal etkiler (faiz, kredi ödeme süreleri, teşvik ve tarife) de ticari üretimde, kaynak sıcaklığına göre inilebilecek alt sınırı belirlemektedir. Bugün Avrupa’da kendi iç tüketimleri kadar dahi üretim yapamayan, çok yüksek maliyetli jeotermal santraller ticari olarak çalıştırılabilmektedir. Buradaki amaç teknolojik gelişmeleri ve alternatif kaynaklardan enerji üretimini desteklemektir. Önemli ölçüde başarılar da sağlanmıştır.

Kuşkusuz, jeotermal kaynakların elektrik üretimi açısından en önemli fiziksel özelliği sıcaklığıdır. Sıcaklığı esas alan bir çok sınıflama literatürde yer almaktadır [4,5,6,7]. Bu çalışmalar kaynakları düşük, orta ve yüksek entalpili olarak sınıflamaktadır. Sanyal [8] ise elektrik üretimini esas alan bir sınıflama yapmış ve 100°C’ye kadar olan kaynakları elektrik üretimine uygun olmayan olarak kabul etmiştir. Burada suyun atmosfer basıncındaki kaynama sıcaklığını referans olarak almıştır. Sonraki sıcaklık aralıklarını da Tablo-1’de gösterildiği üzere 5 kategoriye ayırmıştır. Tablo-1’de Sanyal[7]’in önerdiği sınıflamaya göre ülkemizde kurulu bulunan 64 JES’in kaynak sıcaklığına göre hangi sınıfa girdiği görülebilir.

Tablo 1. Kaynak sıcaklığına göre jeotermal kaynakların elektrik üretimi için derecelendirilmesi [8].

Kaynak Sıcaklığı,(°C)	Sınıflama	Ünite Sayısı	Türkiye, Kurulu Güç,MW-%
50-100	Elektrik üretimine uygun değil		-
100-150	Çok düşük	5	23.9 - 2
150-180	Düşük	35	579.0 – 43
180-230	Orta	15	315.3 - 23
230-300	Yüksek	9	429.3 – 32
>300	Çok yüksek		-

Ülkemizde, 2018 yılı itibari ile jeotermal kaynaklardan elektrik üretimi için kurulmuş 64 adet ünite bulunmaktadır. Burada ünite ile bağımsız olarak elektrik üretebilme kapasitesine sahip, proje bütünlüğü olan santraller sayılmıştır. Örneğin bir buhar türbini ve 2 çift çevrim santralden oluşan bileşik santraller 1 ünite kabul edilmiştir.

Türkiye’deki kurulu güçlerin kaynak sıcaklığı sınıflamasına göre değerlendirildiğinde; Germencik (Gürmat) ve Kızıldere(Zorlu) sahalarındaki buhar ve bileşik (buhar+çift çevrim) santrallerinden 5 ünite 340.1 MW kurulu güce sahiptir. İlave olarak, Sanko JES-1 (15 MW), Maspo ALA-1 (10 MW), Baklacı JES (19.4MW) olmak üzere toplam 8 ünite ile 429.3 MW kurulu güç, kaynak sıcaklığına göre yüksek sınıflamasına giren jeotermal rezervuarlardan beslenmektedir. Bunların toplam kurulu güce oranı %32’dir.

Düşük ve orta derecede kaynak sıcaklığına sahip santraller 50 ünite, 894 MW kurulu güç ile toplam kurulu gücün %66’sına sahiptir.

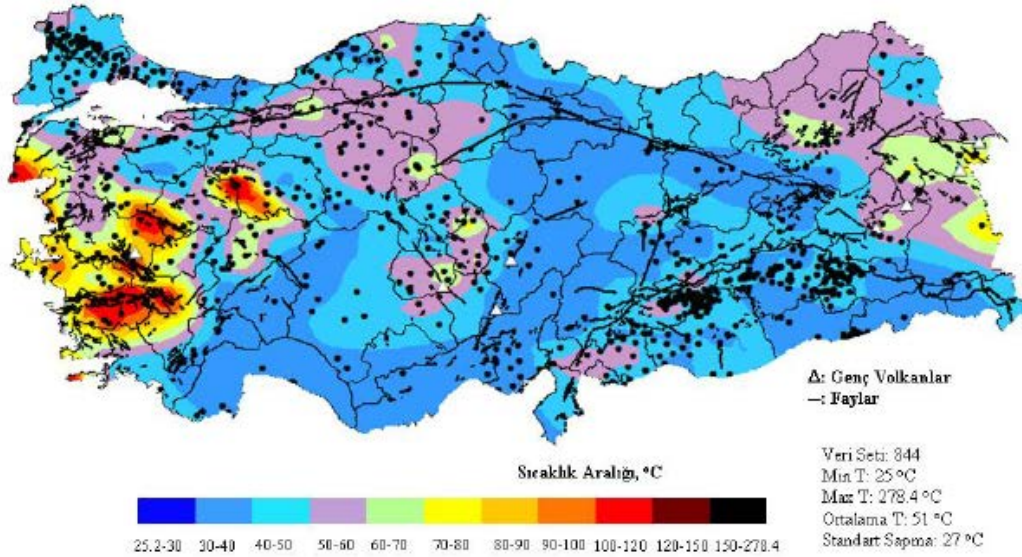
Kaynak sıcaklığına göre çok düşük sınıfında jeotermal kaynağa sahip santraller, isim, kapasite ve kaynak sıcaklığına göre şöyledir: Tosunlar JES-1, 3.8 MW-105°C; Gerali JES, 2.52 MW-120°C, AFJES, 2.76 MW-125°C; MTN Babadere JES 6.9 MW- 134°C. Çok düşük kaynak sıcaklığına sahip, santral sınıfına giren bir başka santral ise, 145°C sıcaklık ile çalışan 6.85 MW gücünde, Kızıldere - Sarayköy’de kurulu Bereket Enerji Santralidir. Bu santral Kızıldere-I buhar santralının seperatör sonrası sıcak suyu ile işletilmek üzere kurulmuş ve “bottoming binary” olarak adlandırılan türde bir santraldir. Bu grupta toplamda 23.9 MW kurulu güce sahip 5 santral çok düşük kaynak sıcaklığı sınıfında kalmaktadır. Bunların toplam kurulu güce oranı %2’dir.

3. JEOTERMAL KAYNAKLARI KONTROL EDEN JEOLJİK ORTAM

Türkiye’de halen yoğun bir şekilde işletmeye maruz kalmış jeotermal sahalar Aydın, Manisa, Denizli, Çanakkale-Tuzla ve Afyon’da bulunmaktadır. İşletilen kaynakların ortak özelliği Batı Anadolu’da yer alan ve kabaca DB uzanımlı grabenler içinde yer almasıdır. Afyon’da işletilen sahada KB-GD uzanımlı bir grabenin kuzey kanadında yer almaktadır. Bu sahalar da ısı kaynağı, kabuk inceliği nedeniyle astenosferin yeryüzüne yaklaşmasıdır. Çevrede yer alan genellikle orta yükseklikteki dağlık bölgelerden süzülen meteorik sular, basınç farkı ile derinlere süzülüp, ısınarak yükselir. Akışkan hareketi faylar tarafından kontrol edilir. Temelde Paleozoik yaşlı metamorfik kayalar (mermer, şist, kalkışist, mikaşist) yer alırken, bunların üzerinde daha genç tortul birimler yer almaktadır. Metamorfik temele kadar inip, ısınan ve yoğunluğu azalan sular yükselmekte, kırık ve çatlaklar boyunca hareket etmekte ve bazen de yeryüzüne ulaşmaktadır. Bu tür taşınım baskın (convection-dominated) sahalarda, ısı akışkanla birlikte taşınır ve yükselirken karşılaştıkları fay ve çatlaklar içerisinde depolanır.

Jeotermal rezervuarlar fayların kontrolünde ve çatlak baskın ortamlarda gelişmektedir. Matriksi oluşturan kayaların gözenekliliği ve geçirgenliği ihmal edilebilecek kadar düşük olduğu için, rezervuar hacmi ve akışkan hareketi çatlak geçirgenliğinin kontrolündedir.

Metamorfik temelde yer alan mermer gibi, kırılğan kayalar tektonik gerilmelere maruz kaldığında şistlere oranla çok daha fazla parçalanmakta, çatlak hacmi ve çatlak geçirgenliği arttığı için daha uygun depolama hacimleri oluşturmaktadır. Ayrıca karbonatlı kayalar, HCl ile geliştirmeye uygun olduklarından yüksek üretkenliğe sahip kuyuların delinmesine olanak sağlamaktadır. Benzer bir ortamda yer almalarına rağmen, örneğin şistleri kesen fay ve kırıkların geçirgenlikleri daha düşük ve kuyuların üretkenlikleri de daha düşük olmaktadır.

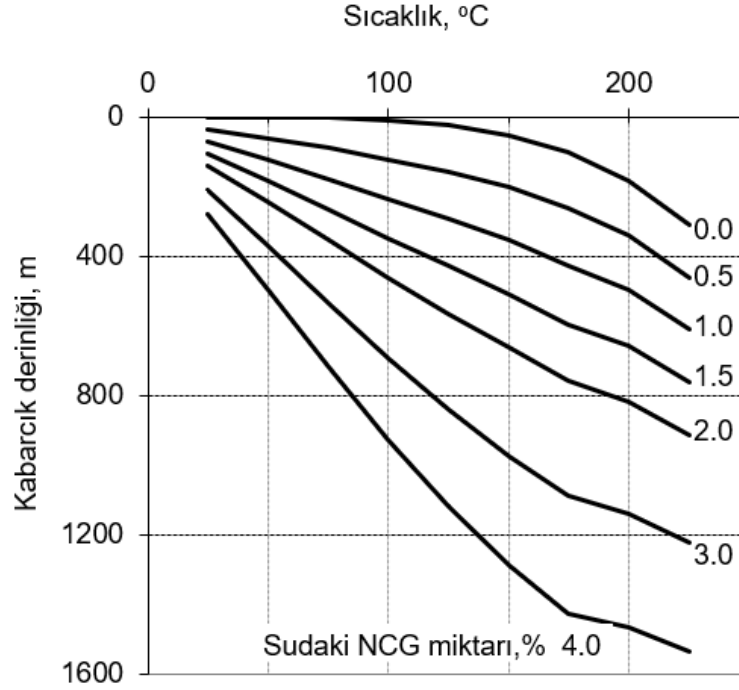


Şekil 2. Türkiye'nin 1000 m derinliğindeki sıcaklık dağılımı haritası [9].

Arama çalışmalarında, graben faylarına yakın ve onları kesen faylar hedef zonları oluşturmaktadır. Ülkemizde elektrik üretiminde kullanılan tüm sahalar, 2006 yılı ve öncesinde MTA tarafından keşfedilmiş sahalardır. Bu açıdan bakıldığında, son 10 yılda kazılan 1000'e yakın kuyunun tamamı bilinen ve başarı oranı yüksek Büyük Menderes, Gediz ve Tuzla grabenleri içerisinde yapılmıştır (Şekil 2). Arama ve yeni keşif olarak, heyecan verici tek keşif Niğde-Bozköy yakınlarında kazılan Sivrihisar-3 kuyusudur. Batı Anadolu grabenleri dışında, Orta Anadolu volkanik sahaları içinde yer alan bu sahalar, geliştirilirse, Türkiye’de yeni bir dalgaın başlangıcı olabilir.

4. AKIŞKAN ÜRETİM YÖNTEMİ

Kuyularda üretim çoğunlukla kendi akışı (artezyen) iledir. Türkiye’de halen işletilmekte olan jeotermal sahaların tamamında rezervuar basıncı normal hidrostatik basıncın altındadır. Bu durumda özellikle orta ve düşük sıcaklık aralığında kendiliğinden üretim şansı hemen hemen yoktur. Ancak, Türkiye’deki kuyular üretim yapabilmektedir. Çünkü, karbonatlı birimlerden geçen veya buralarda yataklanan jeotermal sular içinde çözünen CO₂, çözülmüş gaz olarak akışkan içerisinde bulunur. Kuyuda yükselen akışkan üzerindeki su sütunu Şekil 3’den belirlenebilecek derinliğe yükseldiğinde, sıvı içerisindeki gaz kabarcıkları açığa çıkar ve kuyudaki akışkan sütunun basıncı azalır. Böylece rezervuardan kuyuya doğru akış başlar ve üretim sağlanır.



Şekil 3. NCG'nin kabarcık noktası derinliğine etkisi[10].

Ancak, jeotermal su ile birlikte üretilen NCG reenjeksiyon öncesi atmosfere salındığından, basılan sulardaki NCG miktarı rezervuardaki NCG'den düşük kalmakta ve üretilen sulardaki NCG miktarı zamanla azalmaya başlamaktadır. Rezervuardaki NCG azalma hızı, rezervuar hacmi, üretim enjeksiyon kuyuları arasındaki açıklık ve enjeksiyon miktarı ile ilişkilidir. NCG azalması kabarcık basıncını düşüreceği için, kuyuların üretkenlikleri hızla azalacaktır. Ancak, yüksek sıcaklıktaki kuyularda su buharı kısmi basıncı yüksek olacağı için, yüksek sıcaklıklı kuyular bu bakımdan daha uzun süre kendiliğinden üretim yapabilecektir. Kuyuların üretimlerinin azalması, yapay üretim yöntemleri ile üretimin artırılmasını gerektirir. Pompalar (dalgiç (ESP) ve milli (LSP)) ve gazla kaldırma bu aşamada gündeme gelmektedir.

Ülkemizde işletilen jeotermal sahaların bazıları başlangıçtan itibaren pompalı üretim ile beslenmiştir. Tuzla Çanakkale'deki Babadere JES, 2015 yılında iki pompalı kuyu ile üretime başlamıştır. Pompalar sayesinde santrale basılan sıcak su NCG ayrışma basıncının üzerinde tutulduğu için, santralin NCG emisyonu yoktur. Diğer yandan herhangi bir kabuklaşma inhibitörü de kullanılmamaktadır. Babadere JES, LSP pompalar ile devreye alınmış, ancak 6 ay sonra ağır korozyon sorunları nedeniyle pompalar ESP ile değiştirilmiş ve korozyon inhibitörü kullanılmaya başlanmıştır.

Greeneco firmasına ait 4x12.8 MW çift çevrim jeotermal santral LSP ve ESP pompalar ile aynı yöredeki 13.77 MW kapasiteli Buharkent JES'de ESP ile üretilerek işletilmeye başlamıştır. Başlangıçta kendiliğinden akan kuyulara sahip bazı işletmeler ise, NCG azalması nedeniyle düşen üretimlerini sahadaki bazı kuyulara pompa indirerek artırmaktadır. Görünüşe göre, önümüzdeki dönemde pompa veya yapay üretim yöntemleri ile üretim giderek artacaktır.

Pompalı üretimde LSP'ler sınırlı derinlik (maksimum 400 m) ve ESP'ler ise yüksek sıcaklık sınırlaması (180 °C) nedeniyle uygulama alanlarını sınırlamaktadır. Gazla kaldırma ve ESP'lerdeki olası gelişmeler, kuyuların üretimlerini artıracaktır.

Pompalı üretimin bir diğer dezavantajlı yanı sıra, verimlerin düşük olması ve yüksek elektrik tüketimleridir. Halen 30 kadar kuyuda LSP ve ESP pompalar kullanılmaktadır. Birçok firma pompa denemeleri gerçekleştirmekte ve üretim kayıplarını pompalar ile tamamlamaya çalışmaktadır.

5. ELEKTRİK ÜRETİMİ

Yukarıda da belirtildiği üzere Türkiye'de kurulu ünite sayısı 64'dür. Kurulu jeotermal santrallerin türleri ve soğutma sistemleri Tablo 2'de verilmektedir. Hava soğutmalı santraller, yaz aylarındaki düşük üretimleri nedeniyle sadece hava sıcaklığına bağlı olarak, %40'a ulaşan üretim kayıplarına neden olmaktadır. Ancak, bazı hava soğutmalı JES'lerde ise tasarım sıcaklığının altında, %20'lere ulaşan fazla üretim yapılabildiği bilinmektedir. Son kurulan hava soğutmalı binary JES'lerde üretici firmaların hava tasarım sıcaklığının altındaki değerler için santralleri %8 fazla üretimle sınırladığı görülmektedir. Firmalar bu sınırlama nedenini net olarak açıklamamakla birlikte, daha küçük jeneratör ve türbin seçmek, daha düşük kapasiteli ısı değiştirici ve kondenser yaparak maliyetlerini düşürmek olduğu sanılmaktadır.

Tablo 2. Kurulu jeotermal santral türleri ve soğutma sistemleri.

Santral türü	Ünite sayısı
Tek buharlaştırılmalı (single flash)	1
Çift buharlaştırılmalı (double flash)	2
Bileşik Çevrim (combined cycle)	3
Çift Çevrim (Binary)	58
Hava Soğutma	52
Su Soğutma	12

Bu santrallerden 2017 yılı boyunca elektrik üretimine hak kazanmış (kabulleri 2016 yılı ve öncesinde yapılmış) toplam 818 MW kurulu güce sahip 40 santral karşılaştırılmıştır. Tablo 3' incelendiğinde 818 MW kurulu güce sahip 40 ünitenin yıllık net üretimleri, 4.5 milyar kWh olup, 525 MW net üretim gücüne karşılık gelmektedir. Yani, net üretimin lisans güçlerine oranı %64'dür. Santraller yıllık üretimlerini, projeleri ile birlikte Enerji Bakanlığına taahhüt etmektedir. Bu değer, brüt üretimden iç tüketim çıkartılarak ve hava sıcaklığına göre düzeltme yapılarak, santralin yıl boyunca çalışacağı süre dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Ülke çapında "net/taahhüt edilen" oranı %69'dur. Bu santrallerin ortalama yaşlarının 3 yıl civarında olduğu dikkate alınırsa, %31 civarında bir güç kaybının henüz ilk yıllarda gerçekleştiği görülmektedir. Sektör ortalamasının altında üretim yapan santrallerden MTN Babadere santrali 2017 yılında korozyon nedeniyle çalışmamıştır. Diğer santrallerin ana sorunu ise kaynak yetersizliğidir. Saha kapasitesinin üzerinde tesis kurulması, NCG azalımı nedeniyle kuyuların üretkenliklerinin azalması, ısı değiştiricilerde kabuklaşma, komşu sahalar ile etkileşim, kondenserlerdeki yetersizlikler, pompa ve santral arızaları üretim azalmasının başlıca nedenleridir. Kurulu güce göre üretim kuyu sayısı oranlandığında, 1-9 MW/kuyu değeri bulunmakla birlikte, yüksek değer elde edilen sahalardaki net/kurulu güç oranı, 0,50'nin altındadır. Bu da saha kapasitesine göre santral büyüklüklerinin fazla seçilmesinden kaynaklanmaktadır. Sektörde, "net/taahhüt" oranı %80 ve üzerinde üretim kapasitesine ulaşmış (Tablo 3) JES'lerde kuyuların brüt üretimi 4-6 MW arasında değişmektedir. Tablo 3, EPDK (Enerji Piyasası Düzenleme Kurulu)'nun yayınladığı 2019 yılı YEKDEM (Yenilenebilir Enerji Kaynakları Destekleme Mekanizması) listesinden uyarlandığı için ve Kızıldere-I ve Dora-I JES'ler YEKDEM dışında kaldıklarından, bu santralleri içermemektedir.

JES'ler entegre yatırımlarla birlikte de kurulabilmektedir. Dora-I santrali 10 yıl süre ile NCG emisyonunu, santralin hemen yanına kurulan Linde Gas CO₂ fabrikasına vermiştir. Dora-II halen NCG emisyonunu Habaş AŞ'ye vermektedir. Kızıldere sahasında, Linde Gaz Kızıldere santrallerinin NCG emisyonunu almaktadır. Dora-II 40 dönüm serayı ısıtmakta, ek istihdam ve tarımsal üretime katkıda bulunmaktadır. 2.76 MW kurulu güçteki AFJES, 15,000 konut eşdeğeri ısıtma yapan AFJET'e entegredir.

Tablo 3. 2017 yılı boyunca tam kapasite üretime hak kazanan JES'lerin üretimleri.

Sıra	Lisans Sahibi Tüzel Kişi	Tesis Adı	Kurulu Güç		2017 Gerçek.	Net/Taahhüd	Net	Net/Lisans
			MW	kWh				
1	MENDERES GEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.	Dora III	34	220,000,000	270,830,540	1.23	31.35	0.92
2	GÜRMAT ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.	Galip Hoca	47.4	312,497,280	338,635,000	1.08	39.19	0.83
3	MENDERES GEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.	Dora IV	17	125,000,000	130,796,810	1.05	15.14	0.89
4	ZORLU DOĞAL ELEKTRİK ÜRETİMİ A.Ş.	Kızıldere II	80	535,000,000	531,751,422	0.99	61.55	0.77
5	MAREN MARAŞ ELEKTRİK ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.	Mehmethan	24.8	198,400,000	175,097,510	0.88	20.27	0.82
6	MENDERES GEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.	Dora-II	9.5	84,367,962	71,005,000	0.84	8.22	0.87
7	TÜRKERLER JEOTERMAL ENERJİ ARAMA VE ÜRETİM A.Ş.	Türkerler 1	24	177,840,000	127,759,250	0.72	14.79	0.62
8	MAREN MARAŞ ELEKTRİK ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.	Deniz	24	186,000,000	133,384,230	0.72	15.44	0.64
9	TUZLA JEOTERMAL ENERJİ A.Ş.	Tuzla	7.5	63,000,000	44,507,674	0.71	5.15	0.69
10	ZORLU JEOTERMAL ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİMİ A.Ş.	Alaşehir	45	300,000,000	207,926,015	0.69	24.07	0.53
11	GÜRMAT ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.	Efeler	114.9	1,298,400,000	899,832,000	0.69	104.15	0.91
12	TÜRKERLER JEOTERMAL ENERJİ ARAMA VE ÜRETİM A.Ş.	Türkerler 2	24	177,840,000	122,684,580	0.69	14.20	0.59
13	MAREN MARAŞ ELEKTRİK ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.	Kerem	24	192,000,000	131,932,827	0.69	15.27	0.64
14	KARYEK KARADENİZ ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Umurlu 2	12	96,000,000	65,339,634	0.68	7.56	0.63
15	KARYEK KARADENİZ ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Umurlu 1	12	96,000,000	63,930,115	0.67	7.40	0.62
16	MAREN MARAŞ ELEKTRİK ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET A.Ş.	Maren	44	350,000,000	221,524,480	0.63	25.64	0.58
17	GREENECO ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Greeneco 1/2	25.6	204,800,000	127,040,500	0.62	14.70	0.57
18	ENERJEO KEMALİYE ENERJİ ÜRETİM A.Ş.	Kemaliye	24.9	199,200,000	118,822,930	0.60	13.75	0.55
19	ÇELİKLER PAMUKÖREN JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Pamukören 3	22.51	180,080,000	99,857,210	0.55	11.56	0.51
20	AKÇA ENERJİ ÜRETİM OTOPRODÜKTÖR GRUBU ANONİM ŞİRKETİ	Tosunlar 1	3.807	30,456,000	16,569,230	0.54	1.92	0.50
21	BEŞTEPELER ENERJİ ÜRETİM TİC. A.Ş.	Kubilay	24	180,000,000	94,092,420	0.52	10.89	0.45
22	KEN KİPAŞ ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.	Ken JES 1	24	186,000,000	95,030,055	0.51	11.00	0.46
23	GÜMÜŞKÖY JEOTERMAL ENERJİ ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Gümüšköy	13.2	104,068,000	51,630,769	0.50	5.98	0.45
24	ÇELİKLER JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Pamukören 1	67.53	540,240,000	265,689,990	0.49	30.75	0.46
25	ÇELİKLER PAMUKÖREN JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ	Pamukören 2	22.51	180,080,000	78,724,120	0.44	9.11	0.40
26	ÇELİKLER SULTANHİSAR JEOTERMAL ELEKTRİK ÜRETİM ANONİM ŞİRKETİ.	Sultanhisar-1	13.8	114,843,600	23,815,535	0.21	2.76	0.20
27	KEN KİPAŞ ELEKTRİK ÜRETİM A.Ş.	Ken 3	24.8	198,400,000	36,132,527	0.18	4.18	0.17
28	MTN ENERJİ ELEKTRİK ÜRETİM SANAYİ VE TİCARET ANONİM ŞİRKETİ	MTN	8	58,800,000	0	0.00	0.00	0.00

Ülkemizde kurulu olan JES'lerin reenjeksiyon sıcaklıkları binary santraller için 70-90°C arasındadır. Daha yüksek kaynak sıcaklığına sahip Bileşik çevrim santrallerinde enjeksiyon sıcaklığı 110-130°C arasındadır. Reenjeksiyon sıcaklığının tespit edilmesinde silika çökeltme sıcaklığı sınır değeri belirlemektedir.

NCG emisyonları, JES'lerin devreye girdiği ilk zamanlarda %1.1-3.5 arasında değişirken, birkaç yıl çalışma sonrası 2/3 oranında azaldığı saptanmıştır. Örneğin Salavatlı-Aydın jeotermal sahasında 12 yıl önce işletilmeye başlanan kuyularda CO₂ oranı %1.2'den %0.4 değerine; Germencik sahasında %1.5 değerinden %0.5 değerine düşmüştür; düşümün önemli bir kısmı kuyuların üretime alınmasını takip eden 2-3 yıl içerisinde gerçekleşmiştir. Saha genişletilmeye devam edildiğinde, yeni kazılan kuyularda NCG azalması daha da hızlı bazen ilk bir yılda, %60 kadar azalma ölçülmektedir.

6. JEOTERMAL ENERJİ ve ÇEVRE

Jeotermal enerji yatırımlarının çok kısa sürede gerçekleşmesi ve bu arada sondajlar sırasında meydana gelen bazı kazalar, bazı JES'lerin sürekli olarak çevreye sıcak su bırakması, jeotermal enerjinin halk tarafından kabul edilebilirliğini azaltmıştır. Özellikle su soğutmalı santrallerden havaya salınan su buharının havadaki nemi artırarak üzüm ve incir tarımı yapılan alanlarda mantar hastalıklarının arttığı iddiaları yaygındır. Jeotermal kuyuların yakınlarında yer alan bazı soğuk su kuyularında tuzluluk artışı veya jeotermal sularla karışım olduğuna dair çalışmalar da vardır. Bazı ciddi iddiaların yanı sıra, abartı ve önyargılı tepkiler de vardır. Bazı JES'lerin ÇED raporlarına itiraz edilerek iptal edildikleri de bilinmektedir.

Oysa, jeotermal kaynaklar “buldukları yere özgü” (site-spesifik) olup, buldukları yerde değerlendirilmelerinin dışında diğer bir seçenek bu kaynakların kullanılmamasıdır. Bu açıdan bakıldığında ÇED'lerin iptal gerekçelerinden biri olan “alternatif yer seçimi” gerekçesi yersiz kalmaktadır. Çünkü ruhsat sahibi, kaynağı bulduğu yerde ve ruhsat sahası sınırları içinde değerlendirmek durumundadır.

Öte yandan, yasalar yenilenebilir kaynaklardan elektrik üretimini kollayıcı düzenlemeler de içermektedir: *Orman ve Hazinesinin özel mülkiyetinde ya da Devletin hüküm ve tasarrufu altında bulunan her türlü taşınmaz, yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik üretimine ilişkin projeler için Çevre ve Orman Bakanlığı veya Maliye Bakanlığı tarafından yatırımcıya tahsis edilebilme, izin ve*

kira bedellerinde yatırım dönemi boyunca %50 indirim uygulanmakta, orman arazilerinde ORKÖY ve Ağaçlandırma Özel Ödenek Gelirleri alınmamaktadır (5346/8) [11]. Yasalar, İmar alanları içerisinde yenilenebilir enerji kaynaklarını ve yatırımcısını koruyan düzenlemeler de içermektedir. Buna göre; Kamu ve Hazine arazileri üzerinde Yenilenebilir enerji kaynaklarının kaynakların kullanımını ve verimliliğini etkileyici imar planları düzenlenemez (5346/4) [11]. Jeotermal kaynakların korunması için imar planlarının yeniden düzenlenmesi gerekir. Koruma alanı etüt raporları, MTA'nın görüşü alınarak, idare tarafından onaylanır. Arazi kullanımı ve yapılaşma ile ilgili kaynak koruma alanları etüdünde öngörülen kısıtlama ve koşullar, imar planlarında esas alınır. Kaynak koruma alanlarında alınacak tedbirlere ilişkin genel ilkeler yönetmelikle belirlenir. (5686/14-2) [1].

Kanunlar jeotermal tesisleri koruyucu, teşvik edici hususlar içermekle beraber denetimleri konusunda yeterli bir mekanizma geliştirmemişlerdir. Örneğin, JES'lerin etrafına yeraltı su kalitesi ve hava kalitesini sürekli ölçebilecek istasyonlar kurulabilir. NCG emisyonlarını ölçmek, bunların çevreye etkilerini gözlemek mümkündür. Daha az toprak kullanımı ve daha kısa boru hatları için projelere buldukları bölgelere özgü sınırlamalar getirilebilir. Eğer çevrede nem ve su buharından etkilenen tarım yapılıyor ise, su soğutma yerine hava soğutmalı JES'lerin yapımı önerilebilir.

Binary JES'ler NCG emisyonlarının enjekte edilmesi halinde, herhangi bir gaz ya da sıvı atığı olmayan santrallerdir. Üretim ve reenjeksiyon kuyularının yeraltı suları ile ilişkisi, iyi bir koruma borusu tasarımı ve çimentolama ile kesilebilir. Yukarıda da bahsedildiği üzere, jeotermal rezervuarların basıncı normal hidrostatik basıncın altında olduğundan, üretim kuyularından tatlı yüzey sularına bir sızıntı olması çok düşük bir olasılıktır. Bu noktada asıl risk reenjeksiyon kuyularından kaynaklanabilir ki, bunlarda reenjeksiyon basınçlarının sınırlandırılması ve reenjeksiyon kuyuları yakınlarında delinecek sığ gözlem kuyularından sıcaklık, tuzluluk ve seviye ölçümleri ile izlenebilir.

SONUÇ

Jeotermal kaynaklar ve yenilenebilir enerji kaynaklarına verilen teşvikler ve 2001 yılından itibaren elektrik piyasasındaki serbestleşme jeotermal kaynaklarda da hızlı ve ciddi miktarda yatırıma neden olmuş ve dünyadaki son 10 yılda yapılan yeni yatırımların yarısı Türkiye'de gerçekleştirilmiştir. 1983 yılında kurulan Kızıldere-I JES'i takiben 2006 yılında 7.95 MW gücünde Türkiye'nin ilk özel sektör JES'i Dora-I işletmeye girmiş ve 12 yıl içinde 64 ünite ile 1347 MW kurulu güce erişilmiştir.

Bu dönem içerisinde 900'den fazla kuyu delinmiş ve 1.9 milyon metre sondaj yapılmıştır. Delinen kuyuların neredeyse tamamı, daha önce keşfedilmiş ve MTA tarafından işletme hakları devredilmiş orta ve yüksek sıcaklıklı sahalar ile, yine bu sahaların çeperlerinde yer alan düşük sıcaklıklı kaynaklara yapılmıştır. Belirtilen dönem içerisinde keşfedilmiş olan sahalar geliştirilmiş, ancak yeni bir keşif yapılmamıştır. Niğde-Bozköy'de delinen Sivrihisar-3 kuyusu, kuru çıkmasına karşın, volkanik sahalar açısından önemli bir keşif olarak sayılmalıdır.

Kurulu santraller incelendiğinde çok büyük bir kısmının düşük ve orta dereceli sıcaklığa sahip sahalara kurulduğu görülmektedir. JES'lerin ortalama yaşı 3 civarında olmasına karşın, kurulu güçlerine göre ortalama %32 civarında düşük üretime sahiptirler. Saha kapasitesinin üzerinde kapasitede JES yapılması, NCG azalması ile kuyu üretimlerinin düşmesi, etkileşimler, ısı değiştiricilerde kabuklaşma ve yaz aylarında soğutma sistemlerindeki yetersizlik üretimdeki azalmanın esas nedenlerindedir.

Ülkemizin en verimli tarımsal arazilerinin graben havzalarında bulunduğu, üzüm, incir ve zeytin gibi çok değerli ürünlerin aynı zamanda en önemli jeotermal sahaların üzerinde yetiştiği de bir başka gerçektir. Diğer yandan tarımsal ürünlerin korunması kadar, yerli enerji kaynaklarının işletilmesi de bir başka gerçektir. Hem doğayı koruyacak hem de yeraltı kaynaklarımızı ekonomiye kazandıracak çözümler mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] Jeotermal Kaynaklar ve Doğal Mineralli Sular Kanunu", Kanun no. 5686, Resmi Gazete 26551, 13.6.2007, Ankara.
- [2] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarından Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanunda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun", Kanun no:6094, Resmi Gazete 27809, 08.01.2011.
- [3] MIT, 2006. Massachusetts Institute of Technology Report (Edited by Tester, J.W.). The Future of Geothermal Energy.
- [4] Muffler LPJ. Assessment of Geothermal resources of the UnitedStates – 1978. USGS; 1979. Circular 790: 163p.
- [5] Hochstein MP.Assessment and modelling of Geothermal reservoirs (small utilization schemes). Geothermics 1988;17(1):15–49.
- [6] Haenel R, Rybach L, StegenaL. Fundamentals of geothermics. In: HaenelR, Rybach L, Stegena LA, editors. Handbook of Terrestrial Heat Flow Density Determination. Dordrecht NL: Kluwer Academic;1988.p.9–57.
- [7] Benderitter Y,Cormy G. Possible approach to the Geothermal research and relative costestimate. In:Dickson MH,FanelliM, editors. SmallGeothermal esources. Rome, Italy: UNITAR/UNDP Centre for Small Energy Resources; 1990.p.61–71.
- [8] Sanyal SK. Classification of Geothermal systems – a possible scheme. In: Proceedings 30th Workshop on Geothermal reservoir engineering. Stanford, CA: Stanford University; January31–February 2,2005. SGP-TR-176.
- [9] KORKMAZ BAŞEL, E.D., "Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyelinin Araştırılması", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [10] AKSOY,N. Optimization of downhole pump setting depths in liquid-dominated geothermalsystems: A case study on the Balçova-Narlıdere field, Turkey. Geothermics 36, 436-458, 2007.
- [11] Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Elektrik Enerjisi Üretimi Amaçlı Kullanımına İlişkin Kanun, Kanun no 5346, Kabul tarihi 10.05.2005.

ÖZGEÇMİŞ

Niyazi AKSOY

1962 yılı Gümüşhane doğumludur. 1984 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Petrol Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 1984-1995 yılları arasında MTA Genel Müdürlüğü'nde jeotermal sondaj ve test mühendisi olarak çalıştı. 1995 yılında Dokuz Eylül Üniversitesine katıldı. Halen, DEÜ Torbalı Meslek Yüksekokulu Sondaj Teknikerliği Programı'nda öğretim üyesi ve DEÜ Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi (DEU-JENARUM) müdürlüğü görevini sürdürmektedir.