

TÜRKİYE'DE JEOTERMAL-GÜNCEL BAKIŞ

Geothermal Energy- Current Outlook In Turkey

Abdurrahman SATMAN

ÖZET

Jeotermal kaynaklar elektrik üretiminde ve endüstriyel ısı işletmelerde ve mekan ısıtması-soğutması gibi projelerde ısı enerji olarak kullanılmaktadır. 2017 yılı içinde dünyada jeotermal kaynaklardan tahmini olarak 613 PJ (veya 170 TWst) ısı elde edilmiştir [1]. Bunun yaklaşık yarısı elektrik ve diğer yarısı doğrudan ısı projelerindedir. Çoğu elektrik projelerinde sadece elektrik üretimi gündeme gelirken, bazı projelerden elektrik üretimi ve ayrıca çeşitli ısı uygulamalar için enerji üretimi entegre olarak birlikte yapılmaktadır.

Jeotermal sektöründe uzun proje ömrü ve yeraltı kaynağının belirlenmesindeki yüksek risk dezavantajlar olarak yaşanırken, saha geliştirme riskinin azaltılmasına, çekici olmayan kaynakların maliyetlerini düşürmeye ve ayrıca potansiyel çevre sorunlarının azaltılmasına yönelik teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır.

Dünya'da mevcut toplam jeotermal elektrik kurulu güç kapasitesi Ekim 2018 itibariyle 14.4 GW_e'a ulaşmış durumdadır. Türkiye kapasite artışında en yüksek katkı sağlayan ülkelerin arasında yer almaktadır. Türkiye Kasım 2018 itibariyle kurulu gücünü 1347 MW_e'a ulaştırmış durumdadır ve bunun hemen hemen tamamı sektörde özelleştirmenin gündeme geldiği son 13 yıl içinde gerçekleşmiştir. Isıl enerji olarak doğrudan kullanım yapan projelerin kurulu gücü 2016 sonu itibariyle 3272 MW_t olup, halen tahminen 3400 MW_t civarındadır.

Türkiye jeotermal enerjide, potansiyeli itibariyle, şanslı ve zengin sayılabilecek bir ülkedir. Sektörde arama ve sondaj aşamalarından üretim, saha geliştirme ve rezervuar mühendisliğine yönelik geçiş süreci yaşanmaktadır. Uygun yasal altyapı düzeninin oluşturulmasıyla birlikte, gittikçe bilinçlenen ve deneyim kazanan sektör bir öğrenme süreci yaşamaktadır.

Elektrik üretiminde kullanılan jeotermal sahalarımızın tamamında rezervuar suyu çözünmüş karbondioksit (CO₂) içermektedir. Suyun CO₂ içeriği termodinamik özellikleri değiştirmektedir, üretim ve rezervuar mühendisliği yaklaşımlarında ve rezervuar modelleme çalışmalarında dikkate alınmalıdır. Türkiye'deki jeotermal elektrik santrallerinden atmosfere verilen yüksek CO₂ emisyonu önemli bir başka sorundur ve bu emisyonun azaltılmasına yönelik olarak emisyonun rezervuara enjeksiyonu gibi teknik yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanması gündemdedir.

Genel değerlendirme yapıldığında gözlemlenen sorunlar: (a) Sahalarda izleme, gözlem ve test eksiklikleri, (b) Deneyimli personel ve uzman eksikliği, (c) Aynı rezervuarı kullanan birden fazla işletmenin yarattığı sorunlar, (d) Enerji yetersizliği (basınç ve sıcaklık düşümü), ve (e) Denetim eksikliği olarak sıralanabilir.

Jeotermal enerjinin aranması, üretilmesi ve projelerin sürdürülebilir işletiminde sorunlar olması doğaldır, ancak bu yerli, yenilenebilir ve Türkiye'nin şanslı olarak bolca sahip olduğu enerji kaynağının işletilmesinde ve ilgili sorunların çözümünde sahaları işletenlerin, denetleyici kurumların, üniversitelerin ve jeotermal enerji politikasının ve stratejisinin koordineli çalışması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Jeotermal, Dünya'da ve Türkiye'de durum, Sektörde gelişmeler, Rezervuarlarda sürdürülebilirlik.

ABSTRACT

Geothermal resources provide electricity and thermal energy services (process heat, space heating and cooling). Total useful energy in 2017 was an estimated 613 PJ (or 170 TWh), with electricity and thermal output each providing approximately equal shares. However, estimates of thermal energy consumption (also known as “direct use”) are somewhat uncertain due to lack of data. Some geothermal plants produce both electricity and thermal output for various heat applications [1].

The geothermal industry remained constrained by various sector-specific challenges, such as long project lead-times and high resource risk, but technology innovation to address such challenges continues. The industry is focused on advancing technologies to reduce development risk and to cost-effectively tap geothermal resources in more locations, as well as to reduce the potential environmental consequences.

Technology innovation is addressing sector-specific challenges in the geothermal industry. The global total geothermal power capacity reached to around 14.4 GW at the end of October 2018. Turkey is endowed with vast geothermal resources up to about 250 °C reservoir temperature that are thus suitable for various utilization technologies. While government-sponsored research and exploration in Turkey began in the 1960's, particularly most of the commercial development of geothermal power has occurred in the last 13 years. This has led to installation of 1 347 MW of power plants (as of end of Nov. 2018), all in the western part of the country. In addition, Turkey is now one of the leading countries of the world in geothermal direct-use applications, having about 3 400 MW of direct-use installed capacity.

Turkish geothermal fluids are characterized by unusually high carbon dioxide (CO₂) content since carbonate rocks are commonly the dominant host rock type. Almost all of the reservoir waters in Turkey contain considerable amounts of dissolved carbon dioxide. The dissolved amount of CO₂ should be considered in reservoir modelling efforts.

Emissions mitigation technologies also continued to receive attention recently. While CO₂ emission rates from geothermal plants are generally small compared to fossil fuel plants, in some instances they can be significant and even exceed those of coal-fired power plants. The high CO₂ contents of the geothermal fluids result in very high CO₂ emissions from Turkish geothermal power plants. The recognition of very significant CO₂ emissions from Turkey's geothermal plants has prompted efforts to assess technical challenges and opportunities related to the capture and reinjection of those emissions.

Some notable deficiencies in the Turkish geothermal market, including: (a) a lack of experienced geothermal developers (with a few important exceptions), (b) a relatively tough system of licensing geothermal fields at the provincial and municipal level for exploration and development, (c) a tendency toward fragmentation of resource access (i.e., multiple license holders on the same resource, a natural consequence of the way resources are licensed by the provinces and municipalities), and (d) in some cases, over-valuation of geothermal resources that have been explored, drilled, and operated.

In this paper, the current status of the geothermal energy in World and Turkey is presented and the parameters that affect the sustainable operation of geothermal reservoirs in Turkey are discussed.

Key Words: Geothermal, Status in World and Turkey, Developments in sector, Reservoir sustainability.

1. GİRİŞ

Jeotermal enerji yerküre içindeki kayaç, sıvı su ve buharda tutulan ve yeryüzüne doğru doğal ısı akışı şeklindeki enerjidir. Ortalama ısı üretimi 87 mW/m² (karasal kabukta 65-80 mW/m², denizsel kabukta 100 mW/m²), yıllık küresel ısı akışı 44 TeraWatt (10¹² Watt), ortalama sıcaklık gradyanı 3 °C/100 m'dir.

Yeryüzüne gelen ısı, çekirdek ve mantodan ısı geçişi ile (%30) ve yerküre içindeki uranyum, toryum ve potasyumun radyoaktif izotoplarının bozunması sonucu (%70) oluşur. Uygun yerlerde iki şekilde kullanılmaktadır: (1) kuru buhar veya sıcak sudan ayrılan buharı kullanarak elektrik üretiminde, (2) ısıtma, banyo ve tarım amaçlı olarak ısının doğrudan kullanımıyla.

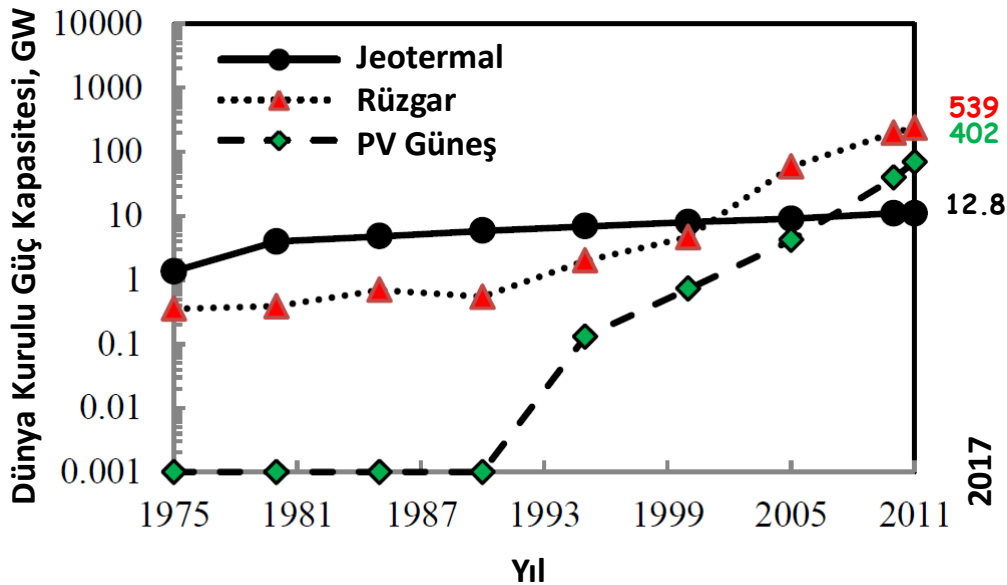
Kütle ve enerji üretiminin yapıldığı, jeotermal sistemin söz konusu üretimden dolayı doğrudan etkilenen ve sıcak olan kısmı jeotermal rezervuar olarak tanımlanır. Jeotermal rezervuarların ayırıcı özellikleri: (a) genellikle çatlaklı/kırıklı kayaç geçirgenliği hakimdir, (b) rezervuarın düşey konumda derinliği büyüktür, (c) rezervuarların bazıları örtü kayaç (başlık kayaç) bulundurmaz ve dolayısıyla yeryüzüne doğal (serbest) akış oluşur, (d) rezervuarı düşey olarak ve yanal olarak sınırlamak olası olmayabilir ve rezervuardaki sıcak akışkan rezervuarın çevresindeki daha soğuk akışkanla doğrudan temasta olabilir, (e) rezervuarda ısı ve kütle akışı/geçiş söz konusudur. Jeotermal rezervuarında önemli olan akışkandan çok ısının üretilmesidir.

Jeotermal kaynaklar elektrik üretiminde ve endüstriyel ısı işletmelerde ve mekan ısıtması-soğutması gibi projelerde ısı enerji olarak kullanılmaktadır. 2017 yılı içinde dünyada jeotermal kaynaklardan tahmini olarak 613 PJ (veya 170 TWst) ısı elde edilmiştir [1]. Bunun yaklaşık yarısı elektrik ve diğer yarısı doğrudan ısı projelerindedir. Çoğu elektrik projelerinde sadece elektrik üretimi gündeme gelirken, bazı projelerden elektrik üretimi ve ayrıca çeşitli ısı uygulamalar için enerji üretimi entegre olarak birlikte yapılmaktadır.

Jeotermal sektöründe uzun proje ömrü ve yeraltı kaynağının belirlenmesindeki yüksek risk dezavantajlar olarak yaşanırken, saha geliştirme riskinin azaltılmasına, çekici olmayan kaynakların maliyetlerini düşürmeye ve ayrıca potansiyel çevre sorunlarının azaltılmasına yönelik teknolojik gelişmeler yaşanmaktadır.

Dünya'da mevcut toplam jeotermal elektrik kurulu güç kapasitesi Ekim 2018 itibarıyla 14.4 GW'e ulaşmış durumdadır. Türkiye kapasite artışında en yüksek katkı sağlayan ülkelerin arasında yer almaktadır.

Jeotermal enerji rüzgar, güneş, ve biyokütle ile birlikte yenilenebilir enerji kaynakları olarak tanımlanmaktadır. Dünyada kaynakların kurulu güç gelişimi incelendiğinde yaklaşık 2000 yılına kadar en yüksek kurulu güce sahip olan jeotermal, daha sonraları rüzgar ve güneşin teknolojilerindeki ve üretim-kurulum maliyetindeki hızlı gelişmelerden dolayı rüzgar ve güneşe göre sıralamada önde olma avantajını yitirmiştir. Şekil 1 yenilenebilir enerji kaynaklarının kurulu güç gelişimini göstermektedir.



Şekil 1. Yenilenebilir enerji kaynaklarının dünya kurulu güç kapasitelerinin tarihsel gelişimi.

Diğer yenilenebilir kaynaklarla karşılaştırıldığında jeotermal enerjinin avantajları olarak yüksek kurulu güçte kurulabilmeleri, hava koşullarından bağımsız olarak 7/24/365 işletilebilmeleri ve uygun rezervuar ve işletim koşullarında elektrik/ısı üretim maliyetinde düşüklüğü gündeme gelirken, dezavantajlar olarak yüksek ilk yatırım maliyeti, uzun geliştirme/yapım süresi, yatırımın geri dönüş süresinin uzunluğu yanısıra belki de en önemlisi yeraltı kaynağının belirlenmesi/tanımlanmasındaki yüksek risktir.

2. TÜRKİYE’DE JEOTERMAL ENERJİNİN GELİŞİMİ

Türkiye’de 2016 yılı birincil enerji tüketimi 138 milyon toe (ton petrol eşdeğeri) olup jeotermal enerjinin (ısı+elektrik) payı %4.4’tür. Diğer taraftan birincil enerji üretimi söz konusu olduğunda ise yerli üretimin birincil enerji tüketimini karşılama oranı %24 olup yerli enerji üretiminin yaklaşık %15’i jeotermal (ısı+elektrik) enerjiyle karşılanırken, jeotermal enerji yerli kaynak büyüklüğü olarak kömür, hidroelektrik ve biyokütle+atıklarından sonra 4. sıradadır.

Türkiye’de jeotermal enerjinin gelişim tarihçesine bakıldığında ülkemizde jeotermal enerji araştırmalarının 1962 yılında MTA Genel Müdürlüğü tarafından başlatıldığı görülür. İlk araştırma kuyusu 1963 yılında Balçova İzmir’de delinmiş ve 40 m derinlikte 124 °C sıcaklığında akışkan üretilmiştir. 1968 yılında ülkemizde en yüksek sıcaklıklı sahalardan biri olan Kızıldere/Denizli jeotermal sahası keşfedilmiştir. İlk jeotermal ısıtma uygulaması 1964 yılında Park Otel’i’nin (Gönen/Balıkesir) ısıtılması ile gerçekleştirilmiştir. Bugüne kadar yapılan araştırmalarda kaydedilen en sıcak kuyu ise Nisan 2017’de 3S Kale Enerji Üretim Şirketi’ne ait Sivrihisar-3 arama kuyusu olup 3 816 m derinlikte 295 °C olarak ölçülmüştür. Aynı kuyu için kuyubaşı akış sıcaklığı 190 °C olarak kaydedilmiştir.

MTA Genel Müdürlüğü tarafından 1962 yılında başlanan jeotermal enerji arama çalışmalarında 2016’ya kadar toplam 1559 kuyu (MTA tarafından 596 kuyu) delinmiş ve 225 adet saha keşfedilmiştir. 2016 yılı itibarıyla ülkemizde 16 ilimizde 19 projede bölgesel (merkezi) konut ısıtması (~115 bin konut eşdeğeri) ve 24 sahada sera ısıtma ve termal tesislerde ısıtma ile (toplam 2 223 MW_t) ve 350 adet termal tesiste tedavi ve termal turizm amaçlı (1 005 MW_t) olmak üzere doğrudan kullanımda 3 272 MW_t kurulu kapasiteyle jeotermal enerjiden yararlanılmaktadır. 1960’larda hükümet destekli arama ve araştırma çalışmaları başlamasına rağmen, jeotermal elektrik ve doğrudan kullanım ticari etkinliklerin çoğu son 13 yıl içinde özel sektör katkısıyla gelişmiştir. Kasım 2018 itibarıyla, tamamı Batı Anadolu’da 1 347 MW_e kurulu güçte jeotermal santraller vardır. Ayrıca, 3 272 MW_t kurulu güçte doğrudan kullanım kapasitesiyle, Türkiye dünyanın lider ülkelerinden birisidir.

1347 MWe kurulu güce sahip jeotermal elektrik sektöründe ülkede en büyük güç 2017 yılı içinde devreye alınan Kızıldere-III’ün 99.5 MW_e’lik ilk ünitesi olan santraldır. 2018 yılı içinde devreye alınan ikinci ünitesiyle birlikte Kızıldere-III’ün toplam kurulu gücü 165 MW_e olmuş ve Türkiye’nin en büyük güçlü santral olarak çalışmaktadır.

Türkiye’de jeotermal kurulu güç kapasitesinin önemli kısmı (yaklaşık 1000 MW_e) 2013-2018 arasındaki son altı yıl içinde geliştirilmiştir. Türkiye jeotermal sektöründeki güçlü büyümenin nedeni devletin jeotermal elektrik üretimine verdiği 10.5 US cent/kW-st’lik destek ve yerli yenilenebilir enerji kaynaklarının geliştirilmesine yönelik politikasıdır. 2017 yılı içinde Türkiye’nin elektrik talebinin %2.1’i jeotermal elektrikten karşılanmış, 2018 yılı içinde ise jeotermal santrallardan yurtiçi elektrik talebinin %3’ünü karşılayan yaklaşık 8 milyar kW-st elektrik üretimi gerçekleşmiştir. Halen mevcutlara ek olarak yaklaşık 700 MW_e kapasiteli santral projeleri yapım aşamasında ve geliştirilme/planlama sürecindedir.

Türkiye’de bilinen büyük jeotermal kaynaklar Batı Anadolu’da faylı zonlarda yeralan ve Doğu-Batı uzanımlı grabenlerdedir (Büyük ve Küçük Menderes, Gediz, Simav, Bergama, Edremit). Fayların grabenleri kestiği yerlerdeki metamorfik formasyonlarda oluşan yüksek geçirgenlik, jeotermal sistemlerin gelişmesi için uygun ortam yaratır. Türkiye’de bilinen ve işletilen sahalarda, tektonik olarak aktif ve kabuğun ince olduğu bölgelerdeki taşınım sistemleridir. Isı taşınımının etken olduğu jeotermal sistemler, jeolojik faylanma ve kıvrımlanmanın aktif olduğu, bölgesel ısı akışının normalden yüksek olduğu yerlerde görülür. Doğu Anadolu bölgesinde sönmüş volkanik sistemlerin varlığı bilinmekle

beraber, bugüne kadar yapılan araştırmalar sonucunda henüz ekonomik olarak işletilebilir bir saha bulunamamıştır.

Dünya ve Türkiye için jeotermal elektrik kurulu güç karşılaştırmalı olarak Şekil 2’de verilmektedir. Şekil 2’de görüldüğü gibi Kasım 2018 itibariyle dünya jeotermal elektrik kurulu gücünün %9’u Türkiye’dedir ve kurulu jeotermal gücün toplam kurulu elektrik gücündeki payı dünyada % 0.21 iken Türkiye’de % 1.6’dır. Diğer yenilenebilir enerji kaynaklarıyla karşılaştırıldığında, 2017 sonu itibariyle, elektrik kurulu gücünün Türkiye/Dünya oranı rüzgar için %1.2, güneş PV için %0.8 ve jeotermal için %8.3 (2018 Kasım için %9) olarak gerçekleşmiştir. Söz konusu karşılaştırma, Türkiye’de elektrikte jeotermalin diğer yenilenebilir kaynaklara göre çok daha yaygın olarak kullanıldığını ve önemini açıkça göstermektedir.

Türkiye'nin Dünya Jeotermal Kurulu Gücündeki Payı				
	Yıllar	Türkiye	Dünya	Türkiye/Dünya, %
Kurulu Jeotermal Elektrik Gücü, MW _e	2000	17.8	7972	0.2
	2005	17.8	8933	0.2
	2006	25	9 000	0.3
	2010	99	10 715	0.9
	2018 Kasım	1 347	14 432	9.0

Türkiye ve Dünya Toplam Elektrik Kurulu Gücü				
	Yıllar	Türkiye	Dünya	Türkiye/Dünya, %
Toplam Elektrik Kurulu Gücü, MW _e	2006	39 000	4 344 000	0.9
	2017 sonu	~80 bin	~6 900 000	1.2

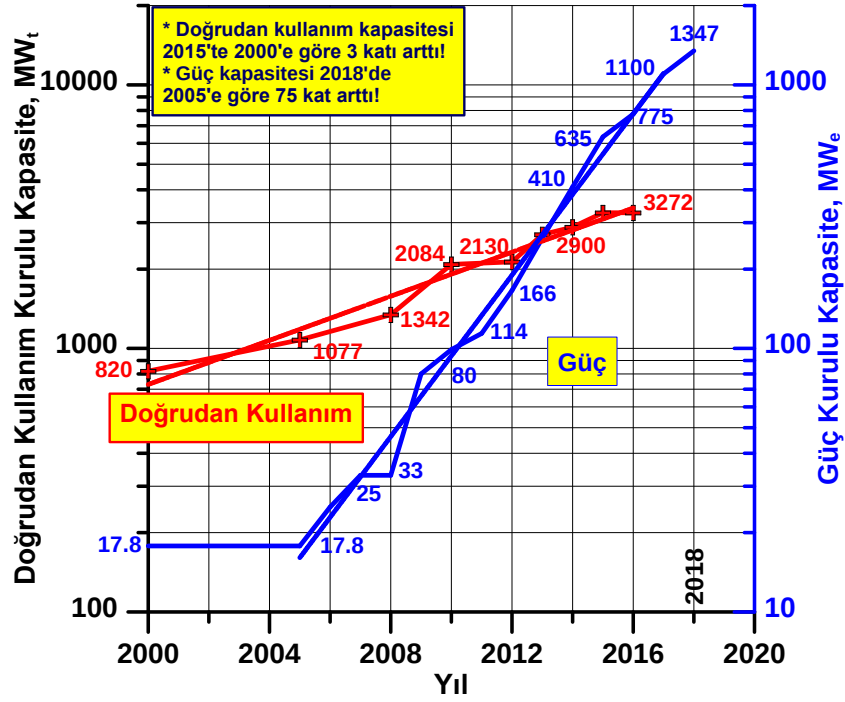
Kurulu Jeotermal Gücün Toplam Kurulu Elektrik Gücündeki Payı, %		
	Türkiye	Dünya
2006	0.06	0.21
2010	0.20	0.21
2018 Ekim	1.6	0.21

Şekil 2. Dünya ve Türkiye için jeotermal elektrik kurulu güç karşılaştırması.

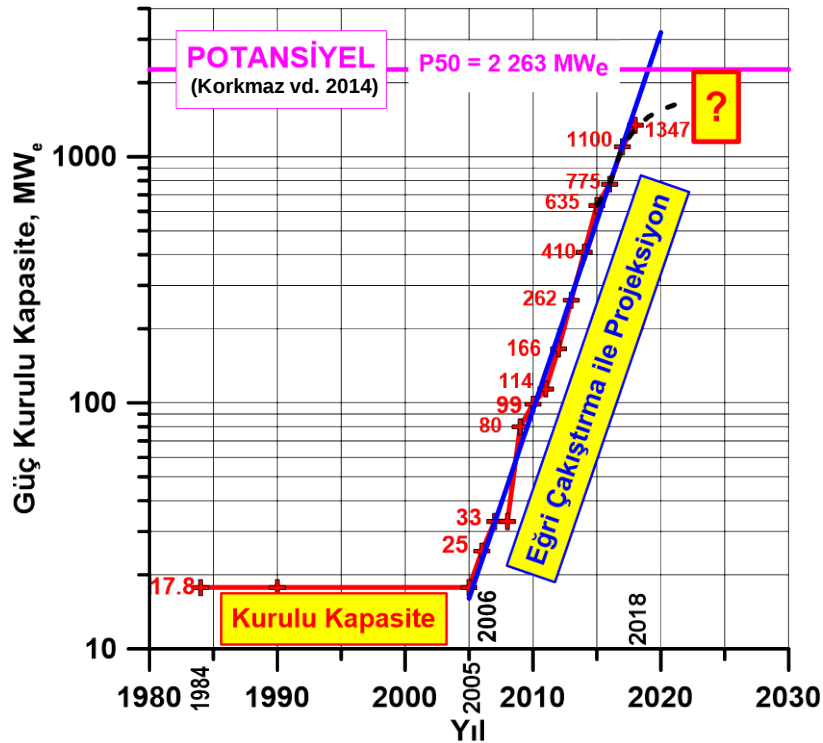
Jeotermal enerji elektrik üretiminde ve ısı olarak doğrudan kullanılmaktadır. Türkiye’de doğrudan kullanım ve güç (elektrik üretim) kapasitelerindeki gelişme yarı-logaritmik bir grafik olarak Şekil 3’te gösterilmektedir. Doğrudan kullanım ve elektrik kurulu güç verileri kesikli çizgi ile gösterilen eğri karşılaştırma ile analiz edildiğinde hem doğrudan kullanım kurulu kapasitesinin ve hem de güç kurulu kapasitesinin yıllar içinde yaklaşık olarak logaritmik artış gösterdiği anlaşılmaktadır.

Şekil 3’te görüldüğü gibi, elektrik kurulu güç kapasitesindeki artış doğrudan kullanım kurulu güç kapasitesi artışına göre çok daha hızlı gerçekleşmiştir. Sektör içinde en çok sorgulanan ve yanıtı merakla beklenen soru, elektrikteki kurulu güç artışının ne kadar süre daha devam edeceğidir. Türkiye’de jeotermal elektrik güç potansiyeli tahmini konusunda Korkmaz vd. [2] tarafından yapılan Türkiye’de jeotermal potansiyel belirleme çalışması bazı ipuçları vermekte ve yol gösterici olmaktadır.

Korkmaz vd. tarafından yapılan çalışmada, 2013 yılına kadar bilinen tanımlanmış tüm jeotermal saha verileri kullanılarak yapılan Monte Carlo simülasyon modellemesinde jeotermal elektrik kurulu güç potansiyel değeri %50 olasılıkla 2263 MW olarak tahmin edilmişti. Şekil 4’te elektrik kurulu güç kapasitesinin gelişiminde beklenti potansiyel ile birlikte gösterilmektedir.



Şekil 3. Türkiye’de doğrudan kullanım ve güç kapasitelerindeki gelişme.



Şekil 4. Elektrik kurulu kapasitesinin gelişiminde beklenti.

Şekil 3 ve 4'te gösterilen yıllık kurulu güçte artış verileri incelendiğinde 2018 yılı içinde yıllık artış hızının 2006-2017 yılları arasındaki döneme göre daha düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla geleceğe yönelik beklenti tahmininde 2006-2017 dönemindeki logaritmik gelişmenin hızının kesildiği ve gelecek yıllarda logaritmik gelişmenin sürmeyeceği yorumu yapılabilir. Eğer 2018 ve 2019

döneminde 2006-2017 dönemindeki gelişme hızı olsa idi Şekil 4'te görüldüğü gibi 2019 sonunda potansiyel değer olan 2263 MW'lık bir kapasiteye ulaşılmış olabilirdi. 2020 yılı içinde yaklaşık 1600 MW kapasite iyi bir beklenti ve daha gerçekçi bir tahmini değer olabilir. Halen kurulmakta ve planlanmakta olan projelerle kapasitenin yaklaşık 1900 MW_e'a ulaşılacağı ifade edilmektedir.

2020 yılı öncesindeki 2 yıllık dönem içinde kurulu güç kapasitesi artış eğiliminin önceki dönemlere göre azalması ise Türkiye'de jeotermal sektörde yaşananlarla ve ülkenin gerçekleriyle birlikte değerlendirildiğinde anlaşılabilir. 2018 içinde yaşanan ve halen devam etmekte eden olumsuz ekonomik ortam, 2020 yılı içinde jeotermal elektriğe uygulanan teşviğin hükümet tarafından yeniden değerlendirilmesi faktörü, ülkemizde bilinen tüm büyük ölçekli jeotermal sistemlerin günümüzde elektrik üretiminde kullanılıyor olması ve sektörde yeni saha arama-sondaj-geliştirme işlemlerinin yavaşlaması daha yavaş büyüme beklentisi için gerçekçi nedenler olarak sıralanabilir.

Türkiye'de jeotermal enerjide kullanılan mevcut kapasite ve potansiyel değerlendirmesi özet olarak Şekil 5'te gösterilmektedir.

Türkiye'de Jeotermal Enerji: Kapasite ve Potansiyel (Kasım 2018)

Doğrudan Kullanım Kurulu Kapasitesi (2016 Sonu)	3 272 MW_t
Elektrik Kurulu Kapasite	1 347 MW_e (~26 bin MW_t)
Kullanılan Toplam Jeotermal Kapasite	~ 29 bin MW_t
Elektrik Potansiyeli (38 saha, T>100 °C, T_{ref}:100 °C) (Korkmaz vd., 2014)	(P50) 2 263 MW_e
Isıl Potansiyel (97 saha, T<100 °C, T_{ref}:15 °C) (Korkmaz vd., 2014)	(P50) 7 700 MW_t
Toplam Isıl Potansiyel (135 Saha) (Korkmaz vd., 2014)	(P50) 50 400 MW_t

	Kurulu Kapasite-Potansiyel Oranı, %
Doğrudan Kullanım	42 (97 Saha, T<100 °C)
Elektrik	60 (38 Saha, T>100 °C)
Toplam Isı	58 (135 Saha)

Yukarıdaki sonuçlar mevcut tanımlanmış hidrotermal sahalar içindir. Yeraltı ısı pompaları ve EGS teknolojilerinin kullanılması ve keşfedilmemiş sahaların katkılarıyla kapasite ve potansiyel daha yüksek olacaktır.

Şekil 5. Türkiye'de jeotermal enerjide kullanılan mevcut kapasite ve potansiyel.

Doğrudan kullanım kapasitesi olarak 2016 verisi olan 3272 MW_t, ve elektrik kurulu güç kapasitesi olarak Kasım 2018 verisi olan 1347 MW_e kullanıldığında, ve ayrıca Türkiye'deki elektrik üretiminde kullanılan sahalar için üretilen 20 MW_t ısıdan yaklaşık 1 MW_e elektrik dönüşümü gerçekleştiği varsayılırsa, 2018 içinde tüm jeotermal sahalardan elde edilen ısı enerjisi yaklaşık 29 bin MW_t olarak tahmin edilmektedir. Korkmaz vd. (2014) çalışmasında bulunan tüm sahaların jeotermal enerjide ısı potansiyeli olan 50.4 bin MW_t ile karşılaştırıldığında ısı olarak potansiyelin %58'inin kapasite olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Benzer olarak doğrudan kullanımda potansiyelin %42'sinin ve elektrik üretiminde ise potansiyelin %60'ının halen mevcut durumda kullanıldığı belirgindir.

2. TÜRKİYE’DE JEOTERMAL SAHALARIN İŞLETİLMESİNDE GÖZLEMLER VE SORUNLAR

Türkiye jeotermal enerjide, potansiyeli itibarıyla, şanslı ve zengin sayılabilecek bir ülkedir. Özel kuruluşların sektöre girişiyle son yıllarda hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Elektrik üretimi kurulu güç kapasitesi dünyada önder olabilecek bir hızda gelişmekte ve büyümektedir.

Sektörde; bilinen/tanımlanmış jeotermal sahalarda arama ve sondaj çalışmaları ve etkinlikleri azalırken üretim ve saha geliştirmeye yönelik geçiş süreci yaşanmakta, üretim ve rezervuar performanslarının modellenmesi çalışmaları yaygınlaşmakta, projelerin sürdürülebilir olmasına yönelik bilinçlenme artmaktadır. Uygun yasal altyapı düzeninin oluşturulmasıyla birlikte, gittikçe bilinçlenen ve deneyim kazanan sektör bir öğrenme süreci yaşamaktadır.

Sürdürülebilir jeotermal proje yürütülürken dikkat edilmesi ve hedeflenmesi gerekenler; proje süresince uygun bir kurulu kapasite seçimi, bu kapasitenin çalışması için gerekli sıcaklık, basınç ve debi koşullarının sürekli olarak sağlanması ve bu arada çevreye gereken özenin gösterilmesidir.

Jeotermal projeler atmosfer ve çevre koşulları gözetildiğinde çekicidir. Uygun yerleşimlerde ekonomik enerji kaynağı olurlar. Diğer büyük enerji kaynaklarına ek bir enerji kaynağı özelliği taşır. Arama, geliştirme ve işletme maliyetleri ise ekonomisindeki zorluklardır.

2.1. Türkiye’deki Jeotermal Sahaların Genel Özellikleri

Türkiye’de bilinen jeotermal sistemlerde rezervuar kayacı genelde kırıklı/çatlaklı karbonatlardır. Karbonatlı formasyonlardaki rezervuarların en önemli ve belirgin karakteristiği rezervuardaki suyun yüksek oranda çözünmüş karbondioksit içermesidir. Rezervuar suyu içinde çözünmüş CO₂ oranı ise genelde derinliğe (dolayısıyla basınca) ve sıcaklığa bağlı olarak değişir. Sahalarımızda son yıllarda yaklaşık 4000 m derinliğe kadar kuyular delinmekte ve bu kuyularda ölçülen CO₂ oranı kütsel olarak %10 kadar yüksek olabilmektedir.

Jeotermal sahalarda reenjeksiyon uygulaması yaygın olarak yapılmaktadır. Sürdürülebilir saha işleminin olmazsa olmaz koşullarından olan reenjeksiyonun yaygınlaşmış olması Türkiye’de bilinçli saha işletiminin en iyi göstergelerinden birisidir. Birçok sahada üretilen suyun % 60-80 oranında kısmi rezervuara (geldiği yere) başarıyla enjekte edilmektedir.

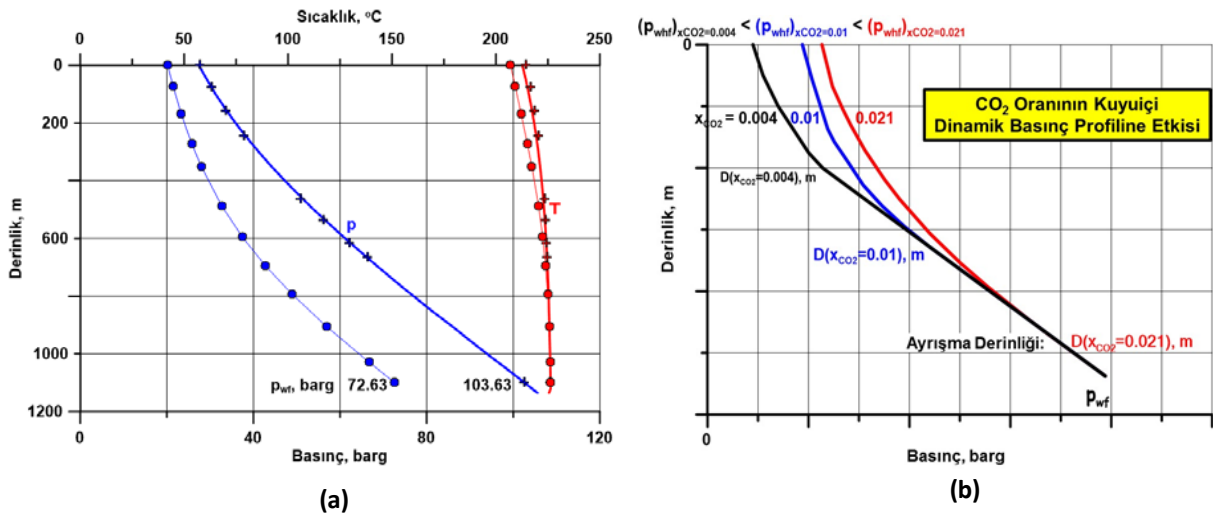
Karbon dioksit içermeyen veya düşük oranda içeren suların reenjeksiyonunun olumlu yanı rezervuar basıncının korunmasıdır. Ancak olumsuz yanı ise, enjekte edilen suyun üretim kuyularının dibinde orijinal rezervuar suyuyla karışması sonrasında suyun CO₂ oranı düşer ve söz konusu CO₂ oranı düşük karışımın üretilmesi ise kuyubaşında basınç ve sıcaklıkta azalmaya ve kuyubaşı üretim performansının düşmesine neden olur. Ayrıca, suyun CO₂ içermesi durumunda bir başka olumsuzlukta kuyu içinde ve hatta rezervuar içinde kalsit çökmesi oluşmasıdır. Kimyasal inhibitör kullanımı bu sorunun çözümünde en uygun yaklaşım olarak ve yaygın bir şekilde sahalarda uygulanmaktadır.

İşletilmekte olan tüm jeotermal rezervuarlar basıncı suyun buhar basıncından çok daha yüksek olan sıkıştırılmış (compressed) su içermektedir. Genelde üretim kuyularından pompasız üretim yapılmakla beraber, basıncı yetersiz kalan bazı rezervuarlarda pompa ile üretim uygulamaları da son zamanlarda gündeme gelmiştir.

Jeotermal sahalarımızın hemen hemen tamamında rezervuar suyunun çözünmüş karbon dioksit (CO₂) içerdiği yukarıda belirtilmişti. Su-CO₂ karışımlarının termodinamiği su termodinamiğinden çok farklıdır. Suyun içinde CO₂ oranının artışı, CO₂’in yüksek kısmi basıncından dolayı, suyun iki fazlı (sıvı su + CO₂ gazı) akışa başladığı ayrışma basıncını yükseltir ve uygun koşullarda rezervuar içinde de iki-faza dönüşüm yaşanır. İki-fazlı akış ise olumlu ve olumsuz etkiler yaratır, söz konusu etkilerin rezervuar modelleme çalışmalarında dikkate alınması gerekir [3]. Sahalardaki sondaj, üretim ve rezervuar mühendisliği çalışmalarında CO₂ etkisi kesinlikle dikkate alınmalıdır. Sahalarda halen yaşanmakta olan sorunlardan birisi olan reenjeksiyon suyuyla karışmış üretilen suyun içerdiği CO₂’in azalımı sorunu ve bunun kuyubaşı basıncı ve sıcaklığı üzerindeki olası olumsuz etkileri dikkatle

incelenmeli ve değerlendirilmelidir. Sorunun çözümüne yönelik olarak yeni üretim kuyularının devreye alınması, reenjeksiyon ve üretim kuyularının yerlerinin yeniden düzenlenmesi, reenjeksiyon ve üretim debilerinin değiştirilmesi vb. etkinlikler dikkatle planlanmalıdır.

Rezervuarlarda basınç düşümü nedeniyle kuyuların üretim performansları olumsuz etkilenir ve kuyubaşı basınç ve sıcaklıkları azalır. Benzer etki, reenjekte edilen suyun üretim kuyusuna varması sonrasında oluşan CO_2 oranı düşük suyun üretilmesi durumunda da yaşanır. Şekil 6'da kuyudibi (rezervuar) basınç düşümünün kuyuiçi basınç ve sıcaklık profillerine etkisi (rezervuar basıncında 30 bar düşme durumu) ve üretilen su içinde çözünmüş CO_2 oranının kuyuiçi basınç profiline etkisi (CO_2 oranının %2.1'den %0.4'e düşmesi durumu) gösterilmektedir. Reenjeksiyonun olumlu etkisi rezervuar basıncının korunması ve rezervuardan ek ısı üretimi olarak gerçekleşirken, olumsuz etkisi ise üretilen suların CO_2 oranını düşürmesinden dolayı kuyubaşı akış basıncının azalması olarak gündeme gelmektedir. Bu da doğal olarak kuyubaşı üretim performansını olumsuz etkilemektedir.

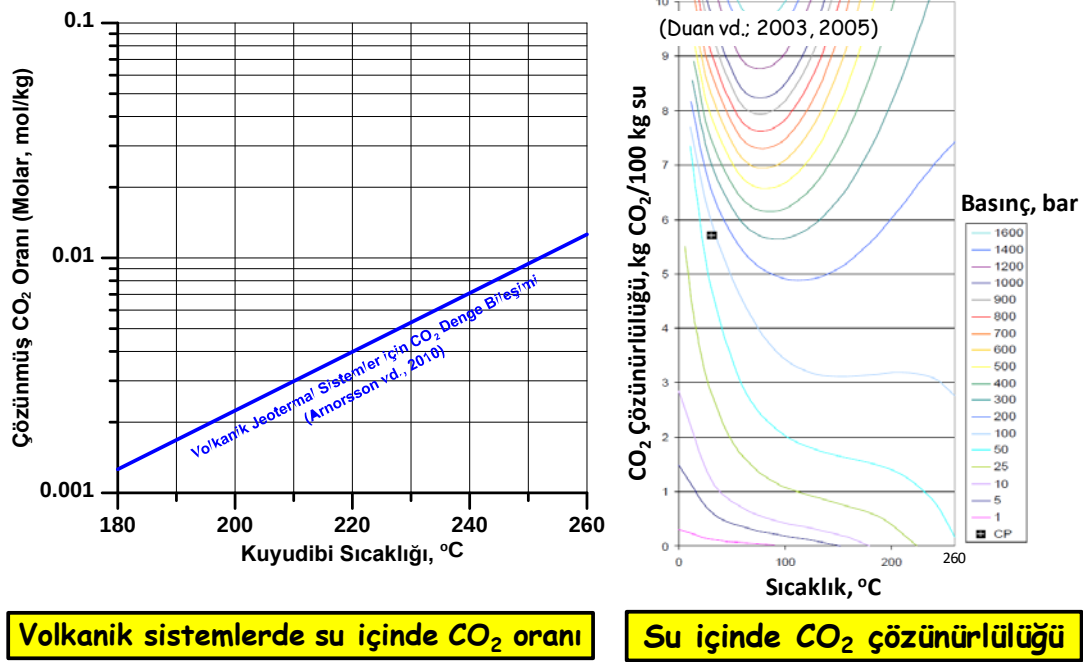


Şekil 6. (a) Kuyudibi basınç düşümünün kuyuiçi basınç ve sıcaklık profillerine etkisi (rezervuar basıncında 30 bar düşme durumu), (b) Üretilen su içinde çözünmüş CO_2 oranının kuyuiçi basınç profiline etkisi (CO_2 oranının %2.1'den %0.4'e düşmesi durumu).

Türkiye'deki jeotermal elektrik santrallerinden atmosfere verilen yüksek CO_2 emisyonu önemli bir başka sorundur ve bu emisyonun azaltılmasına yönelik olarak emisyonun rezervuara enjeksiyonu gibi teknik yöntemlerin geliştirilmesi ve uygulanması gündemdedir.

Üretilen su içinde CO_2 oranının ve dolayısıyla emisyonun yüksekliği jeotermal rezervuarların karbonatlı formasyonlarda olmasından kaynaklanmaktadır.

Şekil 7'de volkanik kökenli jeotermal rezervuarlardaki ve tipik karbonatlı formasyonlardaki jeotermal sular için CO_2 çözünürlüğü grafikleri verilmektedir. CO_2 oranı, sıcaklığa ve özellikle basınca bağlı olarak, karbonatlı rezervuarlarda volkanik sistemlerdekilere göre 2-10 katı yüksek olabilir. Dolayısıyla Türkiye'de jeotermal santrallardan CO_2 emisyonun yüksek olması jeotermal formasyonun yapısından kaynaklanmaktadır ve şaşırtıcı değildir. Üretilen su içinde reenjekte edilen suyun karışmasından ve CO_2 oranının düşmesinden dolayı, emisyon oranının zamanla azalması da doğal ve beklenen bir sonuçtur.



Şekil 7. Volkanik sistemlerde [9] ve karbonatlı sistemlerde [13, 14] üretilen su içinde çözünmüş CO₂ oranları.

Türkiye’de jeotermal sahaların ihale yöntemindeki yaklaşımdan dolayı maalesef başta Kızıldere, Germencik ve Alaşehir sahaları olmak üzere birçok rezervuar birden fazla lisans sahibi tarafından işletilmektedir [8]. Her ne kadar, bu tür işletmeciler aynı rezervuarı işleten diğer ruhsat sahibi işletmelerden rahatsızlıklarını dile getirmektelerse de, rezervuarın çoklu işletmelerde korunması ve sürdürülebilir işletilmesi konusunda henüz yeteri kadar bilinçlenme olduğunu söylemek mümkün değildir.

2.2. Türkiye’deki Jeotermal Projelerin İşletilmesindeki Sorunlar

Türkiye’de jeotermal projelerin yürütülmesinde gözlenen genel riskler ve sorunlar aşağıda sıralanmaktadır:

- Sahalarda izleme, gözlem ve test eksiklikleri
- Deneyimli personel ve uzman eksikliği
- Aynı rezervuarı kullanan birden fazla işletmenin yarattığı sorunlar
- Enerji yetersizliği (basınç ve sıcaklık düşümü)
- Denetim eksikliği.

Özellikle yakın gelecekte aynı kaynakta birden çok lisans sahibinin bulunmasından kaynaklanan sorunların gündeme gelmesi beklenmektedir. Türkiye’de jeotermal lisanslar genelde küçük ölçeklidir. Bir kaynak alanında birden fazla lisans sahibi vardır ve bu nedenle aynı kaynağı işleten komşuların jeotermal geliştirme programlarında üretim ve girişimden kaynaklanan riskler oluşur. “İşletmede öncelikte” belirsizlik vardır. Ayrıca, lisans alanları arama ve geliştirmeye uygun olmayan şekillerde (geometrik, jeolojik,...) olabilir.

Rezervuarların işletiminde gözlenen teknik riskler ve engeller ise düşük kuyu üretilebilirliği, kalsiyum-karbonat çökmesi (kabuklaşması), yüksek yoğunlaşmaz-gaz (CO₂) derişimleri, bor içeriği, teknoloji transferi, donanım seçimi ve uzman personel eksikliği olarak sıralanabilir.

Türkiye’de genelde jeotermal elektrik üretimi, mermer ve kireçtaşı gibi kalkerli formasyonlardan üretimle gerçekleştirilmektedir. Bu tür formasyonlardaki akışkanlar zengin HCO₃⁻ iyonları içermekte,

ve içinde çözünmüş CO_2 bulundurmaktadır. Bunların varlığı, iki potansiyel soruna neden olmaktadır. Birinci sorun, bir yoğuşamaz gaz olan CO_2 'in sera etkisini artıracak şekilde atmosfere salınmasıdır. Buna rağmen, jeotermal hala diğer fosil yakıtlı santrallardan daha düşük emisyonu sahiptir. Jeotermal işletmelerde CO_2 'in atmosfere salınımını engelleyen (tutulma, depolama veya enjeksiyonu için) Türkiye'de bilinen bir yönetmelik uygulaması yoktur.

İkinci sorun, üretilen sıvıdan ayrılan CO_2 'in oluşturduğu kalsiyum-karbonat (kalsit) kabuklaşmasıdır. Sıvı içinde HCO_3^- derişimi artarken, rezervuarda, kuyu içinde ve yüzey donanımlarında kalsit kabuklaşması potansiyeli artar. Yoğuşamaz gaz etkisi ve kabuklaşmanın önlenmesi ise donanım ve bakım-onarım maliyetlerini arttırır. Kalsit kabuklaşması akışkan üretimini ve dolayısıyla santrallardan elektrik üretimini olumsuz etkiler. Sorunu çözmek için kimyasal kabuklaşma engelleyiciler (scale inhibitors) kullanılır.

Jeotermal projelerin işletilmesinde oluşabilir çevre sorunlarının dikkate alınmasında yarar vardır. Önemli jeotermal santralların bulunduğu illerde, özellikle Aydın ve Manisa'da, jeotermal etkinliklerin ve santralların yaşam ve tarım alanlarına zarar verdiği konusunda şikayetler vardır. Santrallardan olan gaz emisyonlarının ve saha dışına verilen atık akışkanların yaşama ve tarıma zarar verdiğini iddia eden araştırmalar mevcuttur. Aydın'ın en önemli tarım ürünü olan incirde rekolt ve kalite kaybı yaşandığı iddia edilmektedir. Jeotermal etkinliklerin (kuyu delme, kuyu testleri vb.) yeraltı su kaynaklarına zarar vermeden yapılmasına özen göstermek gerekmektedir. Sorunların çözümünde, doğal olarak, sahaları işletenlerin, denetleyici kurumların ve jeotermal enerji politikasının ve stratejisinin sorumlulukları vardır.

Sahaları işleten şirketler ise, saha dışına akışkan verilmesinde mevcut yönetmelik sınırlamalarından ve olası çevre sorunlarından dolayı, uzun süreli kuyu testlerinin yapılması sürecinde sorunlar yaşandığı konusunda rahatsızlık duymaktadırlar.

3. İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ'NDE JEOTERMAL ARAŞTIRMALAR

Jeotermal enerji sektörü arama, sondaj, üretim, işletme ve tüketiciye ulaştırma aşamalarından oluşan jeotermal enerji etkinlikleri doğal olarak çok disiplinli araştırma ve değerlendirmeleri kapsayan bir sektör halindedir. Özellikle yeraltında bir enerji kaynağının değerlendirilmesi, gerektirdiği yatırımlar ve taşıdığı risklerden dolayı yer bilimleri, mühendislik ve sosyal bilimlerden birçok araştırmacının/elemanın çalıştığı bir sektördür.

Jeotermal endüstrisinin kendine ait özellikleri vardır. Örneğin doğalgazı yakıt olarak kullanan enerji santrallarında enerji kaynağı olan doğalgaz üretildiği yerden santrala taşınırken, bir jeotermal santral ise, türbine giren akışkanın uzaklara taşınmasına gerek kalmadan, jeotermal kaynağın bulunduğu yerde inşa edilir. Doğalgaz yakıtlı santral işleten şirketten farklı olarak, jeotermal santral işleten şirketin, saha arama-geliştirme ve işletme etkinliklerinde bulunsun veya bulunmasın, santralin verimli işletilmesi için yeraltındaki rezervuarın değerlendirilmesi ve yönetimi tekniklerinde bilgi sahibi olması gerekir.

Rezervuarın değerlendirilmesi ve yönetimi işinde santral güç potansiyeline yönelik olarak rezervuar karakteristiklerinin dikkate alınması büyük önem taşımaktadır. Rezervuar karakteristiği verileri ve bilgisi çeşitli mühendislik ve bilim disiplinlerinden toplanır. Gerekli veriler ve bilgiler temel olarak ısı ve akışkan rezervlerinin tahmini, üretim ve rezervuar performansı, kuyu üretim özelliği vb. tekniklerin ve uygun yöntemlerin kullanılmasını gerektirir.

Özellikle arama ve keşif aşamalarında jeolojik, jeofiziksel ve jeokimyasal veriler, kuyu-logları, karot analizleri ve kuyu testleri verileri yeraltındaki rezervin ilk tahmininde kullanılır. Eğer rezervuar işletim için uygun bulunursa, özellikle yatırımlarından dolayı petrol ve doğalgaz mühendisliği disiplini bilgilerinden ve mühendislerinden yararlanarak, rezervuarın geliştirilmesi ve işletilmesi için plan yapılır ve buna bağlı olarak ekonomik ve çevresel etki çalışmaları gerçekleştirilir. Gerçekleştirilen ilk değerlendirmeye ek olarak yeni yerbilimi çalışmalarının, kuyu testlerinin ve sondajların yapılması

konusunda ipuçları verir, ve daha ayrıntılı rezervuar çalışmalarına yolaçar. Sahada reenjeksiyon uygulamaların başlatılmasıyla üretim-reenjeksiyon programları oluşturulur. Herşeyin olumlu olması durumunda santralin gücünün artırılmasına yönelik olarak saha geliştirme işlemleri gündeme gelir. Her yeni üretim-reenjeksiyon verisi ve yeni delinen kuyulara ait veriler devreye alındığında modelleme çalışmalarıyla rezervuarın üretim performansının değerlendirilmesi ve modeli güncellenir. Bu tür işlemlerinin tekrarlanmasından dolayı saha işletmeyi dinamik bir süreç olarak algılamak ve ona göre davranmak gerekir.

Jeotermal saha işletimi kapsamında temel konular olarak, arama, sondaj, formasyon değerlendirme, üretim, rezervuar mühendisliği çalışmaları ve araştırmaları yapılmaktadır. Üretim süreci içinde akışkanın rezervuardan gelip kuyu içine akışı ve kuyudibinden kuyubaşına akışı gözönüne alındığında rezervuar işletiminde rezervuar mühendisliği ve kuyucu mühendisliği konularının ağırlıklı olarak iki belirleyici konu olarak gündeme gelmesi doğal olmaktadır. Rezervuar mühendisliğinde rezervuarların üretim performansları, reenjeksiyonun etkileri, termodinamik davranışlar, rezervuar modellenmesi çalışmaları, kuyucu mühendisliğinde ise sondaj, formasyon değerlendirme, kuyu basınç testleri, statik-dinamik basınç-sıcaklık profili testleri ve kuyubaşı üretim testleri konuları ağırlıklı olarak incelenmektedir.

Türkiye’de jeotermal sektör içinde çok sayıda dernek, birlik, merkez vb. adı altında birim bulunmakta ve sektörün değişik alanlarında faaliyetler yürütülürken, genelde üniversitelerde jeotermal mühendisliği konularında (yerbilimleri, sondaj, üretim-rezervuar mühendisliği) araştırmalar yapılmaktadır. Tarihsel olarak incelendiğinde Türkiye’de ilk üniversite araştırmalarının İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ) ve Orta Doğu Teknik Üniversitesi’nde ve özelde petrol ve doğalgaz mühendisliği bölümlerince gerçekleştirildiği görülmektedir.

İTÜ’de jeotermal enerjinin ilk gündeme geldiği dönem, Kızıldere sahasının keşfedildiği 1960’lı yılların sonudur. Öğrencilerin Kızıldere sahasında staj yapmaları ise bölümün jeotermal enerjiyle tanışmasına neden olmuştur. 1980’li yılların başından itibaren ise bilimsel çalışmaların yapılmaya başlandığı bir döneme girilmiştir [12]. 1984 yılında Kızıldere sahasında ilk jeotermal santralin kurulmasıyla birlikte üretim verilerinin elde edilmesi ve değerlendirilmeye başlanması ve saha işletimi sırasında kuyu içinde kalsit çökmesi gibi sorunların gündeme gelmesinden itibaren jeotermal araştırmalar ivme kazanmıştır. Kalsit çökmesinin modellenmesi ve üretilen su içinde çözünmüş CO₂’in varlığı, termodinamiği ve rezervuar üretim performansına etkisi ve rezervuar modellenmesi konuları incelenmiştir [3-6].

2000’li yılların başında jeotermal enerjinin doğrudan kullanımda Türkiye’deki en büyük proje olan İzmir Balçova-Narlidere bölgesel konut ısıtma projesine enerji sağlayan jeotermal rezervuarın rezervuar ve üretim değerlendirme çalışması İTÜ tarafından gerçekleştirildi. Benzer bir çalışma Afyon Ömer-Gecek jeotermal sahası için yapıldı. Bu çalışmalar, elektrik santrallerinin bulunduğu yüksek sıcaklıklı sahalara göre daha düşük sıcaklıkta olan jeotermal sahaların üretim ve rezervuar davranışları ve kuyucu davranışlarına yönelik bilgi birikimini ve deneyimini İTÜ’ye kazandırdı. Bu tür projeler üniversitelerde mühendis ve uzman yetişmesine yarar sağlarken, kamuda ve sektör içinde çalışmalar yapan kurumlara örnek çalışmalar olarak yönlendirici oldu. İller Bankası gibi kurumlar için jeotermal enerji ile ilgili şartnamaların hazırlanmasıyla ve yönetmeliklerin hazırlanmasıyla katkıda bulunuldu. Ayrıca Petrol Mühendisleri Odası, TESKON vb. birimler/kurumlar tarafından organize edilen eğitim kursları ve seminerler yapıldı.

2005’ten itibaren hükümetin jeotermal enerjiye verdiği destek ve daha önceleri MTA’nın sahiplendiği jeotermal sahaların özel sektöre devri süreci başladıktan sonra, Türkiye’deki üniversitelerde jeotermal araştırmalar hızlandı. Özel sektörde uzmana ve uzmanlığa olan gereksinim Türkiye’de üniversitelerin jeotermal enerjiye daha fazla girmelerine ve araştırma yapmalarına neden oldu. Sahalarda jeotermal santrallerin hızla kurulması sürecinde işletilen sahalardan elde edilen yeni üretim verilerinin analizleri, sahaların farklı performans göstermeleri, reenjeksiyon uygulamalarının yaygınlaşması ve aynı rezervuarda birden fazla işletmecinin bulunması gibi nedenlerle rezervuarların davranışına ve kuyucu mühendisliğine yönelik çalışmalara olan gereksinimle araştırmalar önem kazanmaya başladı [7-8]. Birçok jeotermal santralin devreye girmesi sonrasında Türkiye’de jeotermal enerji potansiyelinin varlığı konusu tartışılmaya başlandı. Türkiye’de jeotermal enerji potansiyeli olarak ilgili bakanlıklarda ve sektörde mevcut derneklerde/kurumlarda 31 500 MW’lık bir potansiyel olduğu dile getiriliyordu. Bu

konuyu bilimsel olarak araştırmak üzere ve Türkiye’de jeotermal enerji potansiyelinin tahminine yönelik bir çalışma İTÜ’de başlatıldı. Korkmaz vd. tarafından gerçekleştirilen çalışma [2] bu konuda yapılmış ilk bilimsel çalışmadır. Potansiyel çalışmasında 2013 yılı sonuna kadar bilinen 135 sahadan elde edilen veriler kullanılmış, o zamana kadar tanımlanmış sahalar için elektrik üretim ve ısı üretim potansiyeli hakkında tahminler geliştirilmiştir. Doğal olarak, daha sonra keşfedilen veya bilinip geliştirilen sahalardan dolayı Korkmaz vd. tarafından verilen potansiyel değerlerinin değişmiş olması ve daha da artmış olması beklenir. Rezerv ve potansiyel değerleri statik/sabit değerler değildir, teknolojik ve ekonomik koşullardan etkilenirler. Dolayısıyla benzeri bir çalışmanın güncel verilerle tekrarlanması doğru olacaktır. Ancak yine de Korkmaz vd.’nin potansiyel çalışmasının Türkiye’de jeotermal potansiyel tahmini konusunda önemli bir adım olduğu yadsınamaz bir gerçektir.

Son yıllarda Türkiye’de jeotermal sektörde en gündemde olan konulardan birisi de santrallardan, dünyadaki örneklerinden daha yüksek, CO₂ emisyonu (salınımı) olup, ayrıca reenjekte edilen CO₂’suz suyun üretim kuyularına vardıktan sonra orijinal rezervuar suyu ile karışıp, CO₂ oranı azalmış karışımın üretilmesi, kuyubaşı basıncının ve sıcaklığının düşmesi ve kuyubaşı üretim performansının olumsuz etkilenmesi diğer önemli konulardır. CO₂ oranı düşük suyun üretilmesi ve rezervuarda basınç düşümü kuyubaşında benzer olumsuz etkiyi yaratmaktadır. İTÜ’de son zamanlarda yapılan araştırmalar bu konuların anlaşılmasına yönelik olarak sürmektedir [10, 11].

İTÜ’de jeotermal enerji araştırmaları Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü’nde ve İTÜ Enerji Enstitüsü bünyesinde yürütülmekte, lisans ve lisansüstü programlarda dersler verilmekte, lisans ve lisansüstü tez çalışmaları yapılmaktadır. Jeotermal mühendisliğiyle ilgili konular lisansüstü, özellikle doktora programı, tez çalışmaları konuları arasında 1990’lı yıllar sonrası dönemde önemli oranda artış göstermiştir. Bunun en belirgin nedeni Türkiye’de jeotermal sektördeki faaliyetlerin artışı olmuş, görevi sektörün ihtiyaç duyduğu jeotermal mühendis ve uzman eleman yetiştirmek olan İTÜ, buna duyarlı hareket ederek, jeotermal enerji araştırmalarına önemi eğitim-öğretim-araştırma faaliyetlerinde kapasitesi elverdiğince ağırlıklı olarak yervermiştir. İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü jeotermal mühendisliğinde bilimsel anlamda tanınmış, yaptığı araştırmalarla ve görev aldığı endüstriyel projelerle ulusal ve uluslararası düzeyde sektörün gelişmesine katkıda bulunan ve tanınan bir birim olma özelliğine yaklaşmanın haklı gururunu taşımaktadır.

Jeotermal enerjinin aranması, üretilmesi ve projelerin sürdürülebilir işletiminde sorunlar olması doğaldır. Ancak, bu yerli, yenilenebilir ve Türkiye’nin şanslı olarak bolca sahip olduğu enerji kaynağının işletilmesinde ve ilgili sorunların çözümünde sahaları işletenlerin, denetleyici kurumların ve jeotermal enerji politikasının ve stratejisinin üniversitelerle birlikte koordineli çalışması gerektiğine inanılmaktadır.

SONUÇ

Türkiye yenilenebilir enerji kaynaklarından olan jeotermal enerjide, potansiyeli itibariyle, şanslı ve zengin sayılabilecek bir ülkedir. Jeotermal enerji sektöründe özel kuruluşların sektöre girişiyle son yıllarda hızlı gelişmeler yaşanmaktadır. Jeotermalden elektrik üretimi kurulu kapasitesi dünyada önder olabilecek bir hızda gelişmekte ve büyümektedir.

Türkiye’de jeotermal enerji sektöründe, ağırlıklı olarak hidrotermal sahalardan enerji üretimi yöntemi kullanılmaktadır. Jeotermal enerjinin geleceğe yönelik politika ve stratejilerinde daha teknoloji yoğun kullanım yöntemleri olan, jeotermal ısı pompası, yeraltında ısı depolaması ve geliştirilmiş jeotermal sistemler (EGS) uygulamalarının Türkiye’de kullanımının teşviki gerekmektedir. Türkiye koşullarına uygun projelerin ve gerekli altyapı sağlayacak bilimsel ve teknolojik çalışmaların desteklenmesi ve uzun dönemli enerji politika ve stratejilerinde sözkonusu projelerin ve çalışmaların yer alması planlanmalıdır.

Tüm jeotermal sistemler, birçok ortak özellikler içermesine rağmen, her jeotermal sistem özeldir, ayrı birer canlı varlık gibi düşünülmelidir.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı'nın üniversiteler, diğer kamu kurumları ve işletici kurumlar için jeotermal sektörün geliştirilmesine yönelik desteğini artırmasında ve bunları biraraya getiren politika/stratejisi geliştirmesinde yarar görülmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] REN21, "Renewables 2018 Global Status Report", REN21 Secretariat, Paris, 2018.
- [2] KORKMAZ, E.D., SERPEN, U., SATMAN, A., "Geothermal Boom in Turkey: Growth in Identified Capacities and Potentials", Renewable Energy 68 (2014) 314-325.
- [3] SATMAN, A., "Solutions of Heat and Fluid Flow in Naturally Fractured Reservoirs: Part 1-Heat Flow Problems", SPE Production Engineering, Nov. 1988, 463-466.
- [4] ALKAN, H., SATMAN, A., "A New Lumped Parameter Model For Geothermal Reservoirs in the Presence of Carbon Dioxide", Geothermics, Oct./Nov. 1990, Vol. 19, No.5, 469-479.
- [5] SATMAN, A., UĞUR, Z., ONUR, M., "The Effect of Calcite Deposition on Geothermal Well Inflow Performance", Geothermics, June 1999, 4(1), 425-444.
- [6] SATMAN, A., UĞUR, Z., "Flashing Point Compressibility of Geothermal Fluids With Low CO₂ Content and its Use in Estimating Reservoir Volume", Geothermics, Vol:31/1, Jan. 2001, 29-44.
- [7] SARAK, H., ONUR, M., SATMAN, A., "A New Lumped Parameter Model for Low-Temperature Geothermal Fields and Their Applications", Geothermics, Vol. 34, 6, Dec. 2005, 728-755.
- [8] TÜREYEN, Ö.İ., SARAK, H., ALTUN, G., SATMAN, A., "A Modeling Analysis of Unitized Production: Understanding Sustainable Management of Single-Phase Geothermal Resources With Multiple Lease Owners", Geothermics 55 (2015), 159-170.
- [9] ARNORSSON, S., ANGCOY, E., BJARNASON, J.O., GIROUD, N., GUNNARSSON, I., KAASALAINEN, H., KARINGITHI, C., STEFANSSON, A., "Gas Chemistry of Volcanic Geothermal Systems", Proceedings World Geothermal Congress 2010, Bali, Indonesia, 25-29 April 2010.
- [10] HOSGÖR, F.B., TÜREYEN, Ö.İ., SATMAN, A., "Keeping Inventory of Carbon Dioxide in Liquid Dominated Geothermal Reservoirs", Geothermics 64 (2016) 55-60.
- [11] SATMAN, A., TÜREYEN, Ö.İ., "Geothermal Wellbore Heat Transmission: Stabilization Times for "Static" and "Transient" Wellbore Temperature Profiles", Geothermics 64 (2016) 482-489.
- [12] SATMAN, A., "Jeotermal Rezervuarlarına Soğuk Su Enjeksiyonu ile Enerji Üretiminin İncelenmesi ve Türkiye'de Uygulanabilirliği", Proje MAG-593, TÜBİTAK, Nisan 1984.
- [13] DUAN, Z., SUN, R., "An Improved Model Calculating CO₂ Solubility in Pure Water and Aqueous NaCl Solutions from 273 to 533 K and from 0 to 2000 bar", Chemical Geology, 193 (2003), 257-271.
- [14] DUAN, Z., SUN, R., ZHU, C., CHOU, I., "An Improved Model for the Calculation of CO₂ Solubility in Aqueous Solutions Containing Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Cl⁻, and SO₄²⁻", Marine Chemistry, 98 (2005), 131-139.

ÖZGEÇMİŞ

Abdurrahman SATMAN

İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümü'nden 1973'te Y. Mühendis olarak mezun olduktan sonra gittiği ABD'deki Stanford Üniversitesi Petrol Mühendisliği Bölümü'nden MS ve doktora ünvanlarını aldı. Daha sonra Stanford Üniversitesi'nde Assistant Professor olarak çalıştıktan sonra Temmuz 1980'de İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümü'nde çalışmaya başladı. 1985-1987 arasında Suudi Arabistan'da KFUPM Research Institute'te çalıştı. 37 yıl görev yaptığı İTÜ'den Ocak 2017 itibarıyla emekli oldu. İdari görevler olarak İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü bölüm başkanlığı ve İTÜ Enerji Enstitüsü müdürlüğü yaptı. İlgili alanları arasında petrol, doğal gaz ve jeotermal mühendisliğinin üretim ve rezervuar mühendisliği konuları bulunmaktadır. Halen İTÜ'de ve Djibouti Üniversitesi'nde dersler vermekte, sektörde eğitim kurslarında görev yapmakta ve özellikle jeotermal enerji konularında projelerde çalışmakta ve danışmanlık yapmaktadır.