

# JEOTERMAL ENERJİ

## Türkiye İmalat Sanayii için kaçmakta olan bir fırsat mı?

Halim Gürgenci<sup>1</sup>

### 1. GİRİŞ

Elektrik sektörümüz içinde jeotermal enerjinin payı son on beş senede hızla arttı. Kurulu jeotermal kapasite 2002 de 15 MW iken [1], bu sene 1624 MWe oldu [2]. Toplam kurulu güç içinde jeotermal enerji payı %1,6'ya erişti. Bazı sayısal bazlı araştırmalar, gelecek on senede bu rakamın 3000 MW'a ulaşacağını öngörüyor [3]. Benzer ülkelerdeki geçmiş artış eğrilerinden hareket ederek bunu, olası bir üst sınır olarak görüyorum.

Bu artış hızı, gerek enerji güvenliği, gerek ödemeler dengesi açısından olumlu bir gelişme olarak görülebilir ama, toplam elektrik üretimi açısından bakınca jeotermal enerjinin katkısı bir ayrıntı olarak kalmaya devam ediyor. Halbuki geçen yıllarda daha değişik bir yol da izlenebilir ve bu göreceli jeotermal saha avantajı kullanılarak, Türkiye'de bir jeotermal ekipman sanayii geliştirilebilirdi.

Bugün dünyanın en önemli beş jeotermal enerji ülkesinden biri olmamız ile övünürken, aynı zamanda dünyanın önde gelen jeotermal ekipman üreten ve ihraç eden ülkelerinden birisi de olabilirdik.

Bu yazıyı şu soruya dikkati çekmek için yazdım: Acaba son yıllardaki jeotermal enerji kullanımındaki gelişmenin yarattığı yerli pazar olanaklarını Türkiye imalat sektörü yeterince değerlendirebildi mi? Jeotermal enerji ile üretilen elektrik alım fiyatlarındaki yerli içerik payları Türkiye için yeni ve rekabetçi bir sanayii sektörünün doğmasına hizmet edebildi mi? Sorunun cevabını ben vermeyeceğim, yazıyı okuduktan sonra siz verin.

### 2. ALET İŞLER EL ÖVÜNÜR

Yeraltında bir havzada toplanmış sıcak su ya da kuru buhardaki enerji jeotermal enerji diye adlandırılmaktadır.

<sup>1</sup> Emeritus Professor of Mechanical Engineering, The University of Queensland, Brisbane, Australia - [h.gurgenci@uq.edu.au](mailto:h.gurgenci@uq.edu.au)

Bu sıcak su enerjisini faydalı bir hale dönüştürmek için ilk önce havzanın yerini ve derinliğini saptamak, sonra kuyu kazarak havzaya ulaşmak ve gerekirse pompa yardımı ile suyu yüzeye çıkarmak gerekmektedir. Su yüzeye çıktıktan sonra, sıcaklığına bağlı olarak, doğrudan ısı olarak kullanılabilir ya da bir termal santral yolu ile elektriğe dönüştürülebilir. İlk aşama, yani havzanın bulunması, belirlenmesi, kuyu kazımı ve suyun yüzeye çıkartılması, gaz ve petrol sektöründe geliştirilmiş teknolojiler kullanılarak yapılıyor. Türkiye bu konuda bilgi ve hizmet üretebilir ve üretiyor da. Fakat, salt jeotermal pazara hizmet ederek, bu konuda rekabetçi bir imalat sektörü oluşturmamız zor. Makina mühendislerini esas ilgilendiren konu da zaten su yüzeye çıktıktan sonra ne yapılacağı olduğu için, işin orasına yoğunlaşacaktır.

## 2.1 Isıtma

Bildiğim kadarı ile, Türkiye’de ilk jeotermal enerji uygulaması bina ısıtması olarak İzmir’de MTA tarafından başlatıldı. Yeraltı suyundaki ısıyı eşanjörle alıp bina ve başka alanları ısıtmada kullanmanın temel prensipleri basit olmasına rağmen, uygulamada, özellikle suyun kimyasına bağlı olarak, dikkat edilmesi gereken noktalar bulunmaktadır. Kuyu içinde ve eşanjör içinde kabuklaşmayı engellemek, su içindeki çoğu çevreye zararlı gazların atmosfere salınımını önlemek, ve nihayet ısı dağıtımında kayıpları en aza indirmek, bunlardan bazılarıdır.

Gerek ısıtma gerek elektrik üretimi için yeraltı suyundaki ısıyı başka bir akışkana transfer ederken kullanılan ekipmanlar, Şekil 1’de göreceğiniz, ya kabuk ve borulu

eşanjörleri ya da plaka eşanjörlerdir. Türkiye’de bunları ve benzerlerini üreten ve ihraç edebilen yetkin firmalar var. Bu yüzden jeotermal ısıtma sektörü ile ilgili bir imalat sorunu ya da bence kaçan bir fırsat yoktur. Bu yüzden hemen elektrik üretimi konusuna geçeceğim.

## 2.2 Elektrik üretimi

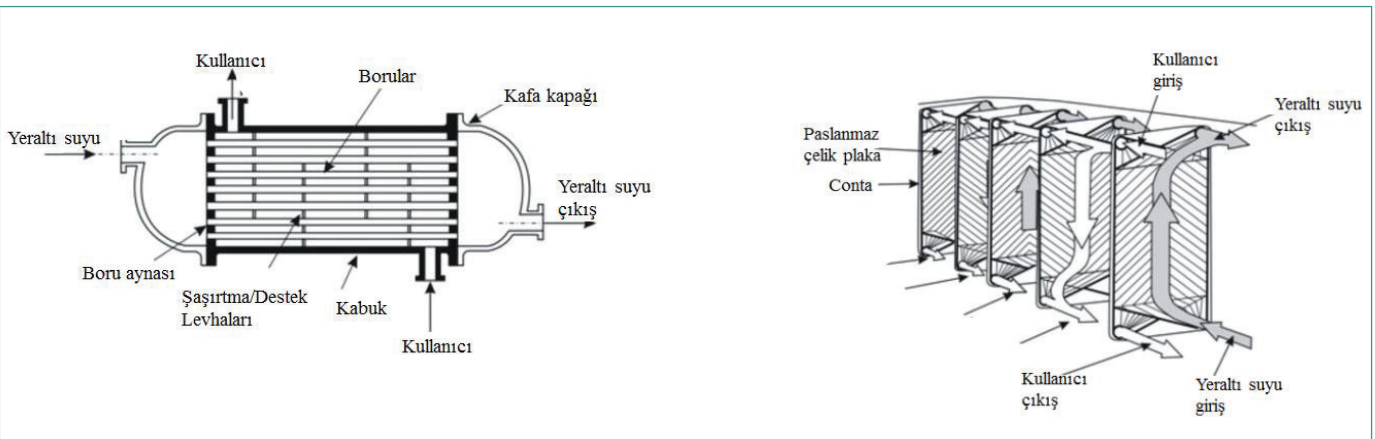
Türkiye’deki havzalar hemen hemen tamamen sıcak su havzalarıdır. Bu havzalardan elde edilen jeotermal akışkandaki ısıyı elektriğe dönüştürmenin iki yolu var: Buharlaştırmalı (“flash”); ya da ikili (“binary”) çevrim.

İkili çevrim, şu nedenlerle tercih ediliyor:

- (a) Termodinamik olarak daha verimli olduğu için;
- (b) Düşük entalpili havzalarda buharlaştırmalı sistem mümkün olmadığı için; ve
- (c) Jeotermal akışkan içindeki gazların atmosfere salınımını engellemek için.

İkili çevrimin bu avantajlarına rağmen, buharlaştırmalı sistemler bazen daha ucuz oldukları için tercih edilebiliyor. Bazen de yeraltı suyu sıcaklığı, mevcut ikili çevrim akışkanları için çok yüksek olabiliyor, o zaman da verimli bir seçenek olmamasına karşın buhar tercih ediliyor.

Jeotermal akışkan içindeki yoğuşmayan gazlar, Türkiye’nin CO<sub>2</sub> zengini jeotermal havzaları için önemli bir ayrıntı. Şekil 2’de görüldüğü gibi, Türkiye’deki bazı jeotermal havzaların sularının içindeki yoğuşmayan gazlar eğer bir buharlaşma tankından atmosfere salınırsa, sera gazı salımları kömür yakmaktan fazla olabiliyor.



Şekil 1. Jeotermal Enerji Sektöründe Yaygın Olarak Kullanılan İki Tip Isı Eşanjörü

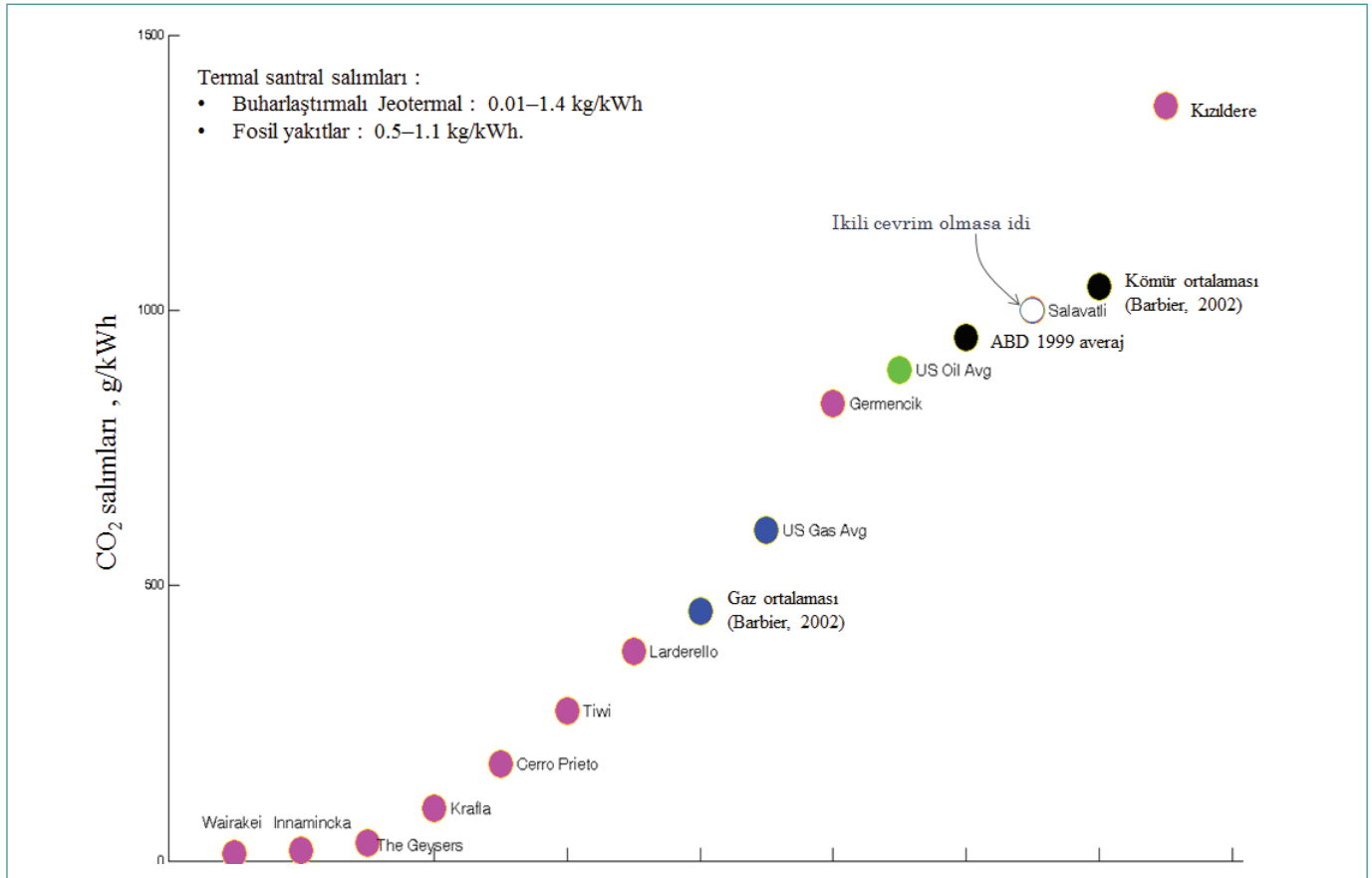
### 3. İKİLİ ÇEVİRİM

İkili çevrim santrallerinin Türkiye için daha uygun bir seçenek olması, Türk imalat sektörü için bir fırsattır; çünkü ikili çevrim santral ekipmanları konusunda dünya pazarını kapatmış önder firmalar yok. Birbiri ile rekabet eden markalar var ve yeni imalatçılar için piyasaya girmenin önündeki engeller daha az. Bu saptamayı yaptıktan sonra, ikili çevrim santrallerini biraz daha yakından inceleyelim.

Şekil 3'teki ikili çevrim grafiği, standart buhar çevrimine benzemektedir fakat çevrim akışkanı buhar değildir. Hem buhar çevrimlerinden ayırdetmek için hem de ilk kullanılan çevrim akışkanlarının petrol kökenli olması nedeni ile bu çevrimlere, Organik Rankin Çevrimi ve kullanılan akışkanlara da Organik akışkanlar denir. Günümüzdeki yaygın organik akışkan tercihleri arasında isopentan, isobutane ve R245FA akışkanları sayılabilir. Ön ısıtıcı, buharlaştırıcı ve kızdırıcı, Şekil 3'e atıfla, 2 ve 6 noktaları arasında jeotermal akışkandaki ısıyı termal çevrim akışkanına transfer ederken, termal çevrim sıvısı önce

ısınır, sonra kaynayıp buharlaşır ve en sonunda kızgın buhar haline gelir. Bazı sistemlerde yeğlendiği gibi çevrim akışkanı, kızdırıcı kullanmadan doymuş buhar olarak da türbine gönderilebilir. Ön ısıtıcı, buharlaştırıcı ve kızdırıcı elemanlar genellikle Şekil 1'de görülen iki ısı eşanjör türü arasından seçilir. Her iki eşanjörü de değişik uygulamalar için ve değişik kapasiteler için Türkiye'de hem iç hem dış pazarlar için üreten çok yetkin firmalar olduğunu, emnim okur benden daha iyi bilir.

Şekil 3'te soğutma kulesi diye isimlendirilen eleman, çevrim akışkanının yoğunlaştırıldığı ısı eşanjörlerini ve bu eşanjörlerin bir dış etkenle (hava ya da su) soğutulmasını içerir. İklim değişikliği ve diğer nedenlerle tatlı su kaynakları azaldığı için hava soğutması giderek yaygınlaşıyor. Havayı, eşanjörde soğutulacak çevrim ısısının aktığı tüplerin üzerinden geçirmek için, ya pervane ya da büyük santrallarda olduğu gibi doğal çekim ("natural draft") kullanılır. Jeotermal santrallarda birim elektrik üretimi başına düşen atık ısı miktarı nispeten fazla olduğu için, pervaneli hava soğutma kulelerinin işletme masrafları fazla



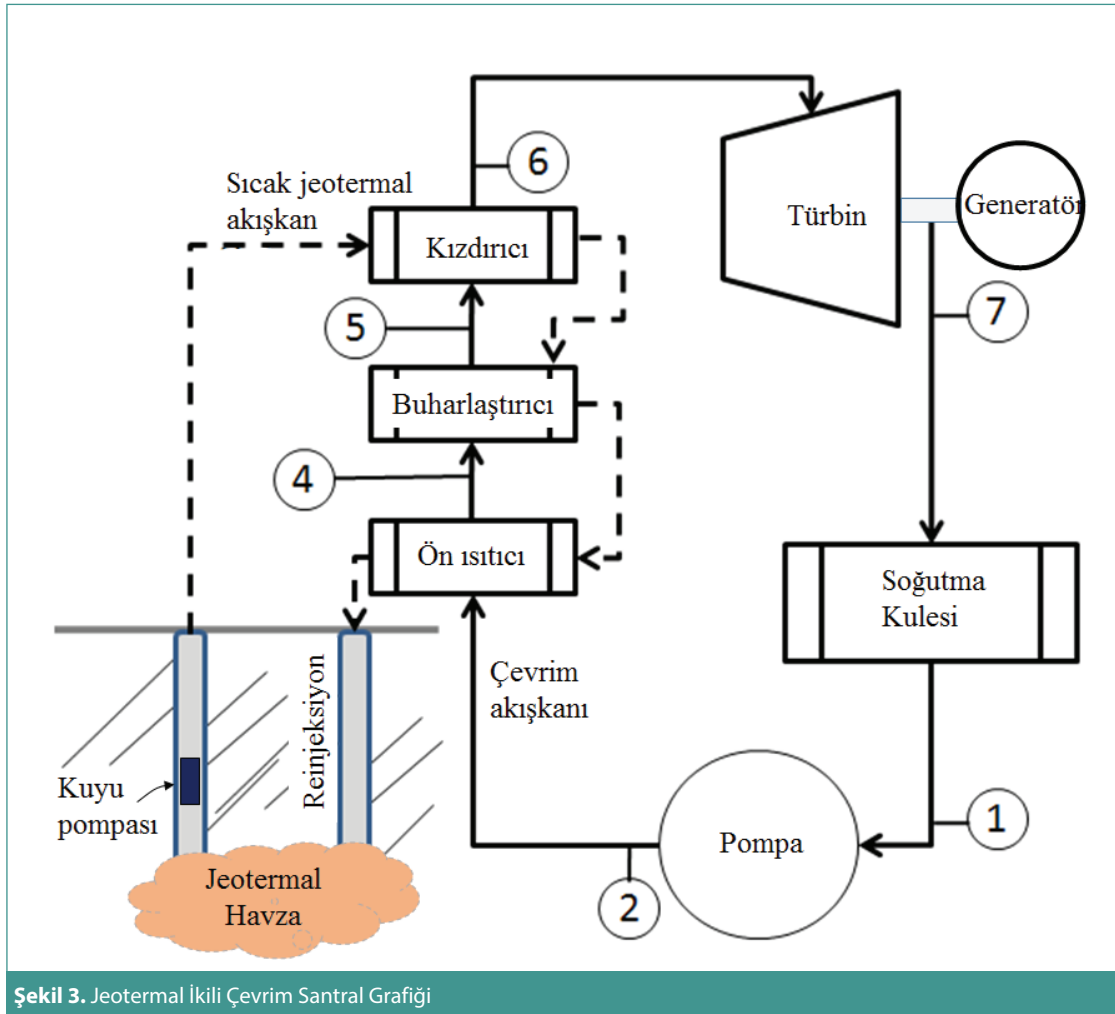
Şekil 2. CO<sub>2</sub> Salımı Açısından Bazı Jeotermal Santrallar ve Fosil Yakıt Santralları

olur. Bu yüzden, doğal çekimli soğutma kuleleri tercih edilmelidir; ancak, jeotermal santraller gibi küçük ölçekli santrallarda doğal çekimli kulelerin tasarım ve inşasında bazı ayrıntılara dikkat etmek gerekir. Biz bu konuyu incelemek ve küçük ölçekli santraller için de doğal çekim teknolojisinin işlevini kanıtlamak için Avustralya'da 20-m yüksekliğinde bir test kulesi kurmuştuk ve çıkan sonuçlar üzerine çeşitli yayınlar yaptık. Türkiye'de de Boğaziçi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nde bu konuda özgün çalışmalar olduğunu biliyorum. Her durumda, soğutma sistemleri, tüm aksamaları ile Türkiye imalat sanayinin yetkinliği içerisindeki üretim kalemleridir.

Şekil 3'teki diğer elemanlardan, akışkan pompası, Türkiye'de zaten şu anda ekipman ve bina klima sistemleri için kullanılan soğutucu sıvı pompaları ile aynıdır. Bu konuda bir tedarik sıkıntısı olacağını sanmıyorum. Aynı şekilde, jeneratör için de durum benzerdir. Türbin şaftındaki mekanik gücün elektriğe dönüştürülmesi, her

termal sistemde aynıdır ve bunların, bugün Türkiye'de jeneratör üreten firmalar için problemsiz bir üretim kalemi olacağını sanırım.

Geriye kalıyor türbin. Türbin, çevrimin en önemli elemanıdır; zira türbin verimliliği bütün çevrim verimliliğini etkiler. İkili çevrim santrallerinde genellikle tercih edilen radyal türbindir. Türkiye'de bildiğim kadarı ile yerli tasarımı bir radyal türbin üretilmiyor. Jeotermal enerji kanundaki yerli içerik teşviklerinden yararlanmak için kurulmuş yabancı firma şubeleri olduğunu biliyorum ama bu şubelerde özgün tasarım yapıldığına ve üretilen türbinlerin ihracat hakkı olduğuna dair bilgim yok. Türkiye imalat sektöründeki firmaların bu konuya neden el atmadıklarını bilmiyorum. Aslında jeotermal türbin üretimi, bütünü ile Türkiye imalat sanayinin yetkinlik alanları içindedir. Tasarım konusunda bazı bilgi eksiklikleri olsa da, bunların telafisi zor değildir. İyi bir araştırma ekibi ile işbirliği halinde bu sorun çözülebilir. Avustralya'da benim ekibim-

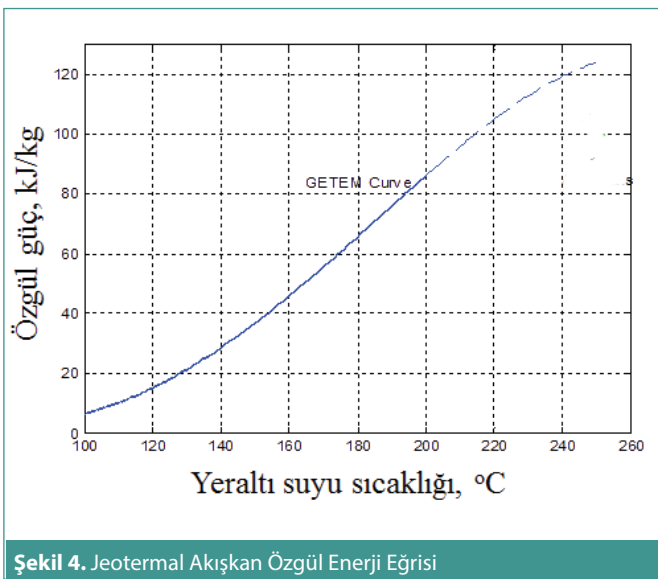


Şekil 3. Jeotermal İkili Çevrim Santral Grafiği

le 10 seneyi aşkındır, süperkritik CO<sub>2</sub> türbinler üzerinde çalışıyoruz [4]; fakat Türkiye'deki girişimcilerin gelip bizle temasa geçmelerine gerek yok. Türkiye'de bu konuda dünya çapında araştırma yapan üniversiteler olduğunu biliyorum. Bunlardan bir tanesi de Boğaziçi Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'dür [5].

Son olarak, sistem entegrasyonu, ki bunun en önemli yanlarından birinin doğru havza için doğru akışkan ve doğru türbin seçmek ve optimum kızgınlık oranını saptamak olduğunu düşünüyorum, ayrı bir uzmanlık konusudur. Bunun ayrıntılarına girmek bu yazının hacmini aşar. Bu işin bir imalatçı olarak pazarı nedir, getirisi götürüsü nedir diye kabataslak irdelemeler yapmak isteyenler için, özetle, Şekil 4'te, santral düzgün tasarlandığı takdirde, belli bir havzadan jeotermal akışkan debisine göre ne kadar güç üretilebileceğini kestirmeye yarayan bir grafik görülmektedir. Bu eğriyi, ABD Enerji Bakanlığı'na ait olan jeotermal teknoloji yazılımı GETEM'i kullanarak ve biraz da kendi deneyimlerimi ekleyerek ben çizdim. Bu şekile bakarak, mesela Afyonkarahisar'da debisi 200 kg/s olan 140 oC sıcaklıkta akışkan üreten bir jeotermal havzadan, uygun teknoloji kullanıldığı takdirde üretilebilecek olan elektrik gücünü  $200 \times 29 = 5800$  kW olarak hesaplanabilir.

Belirtmiş olduğum gibi, bu eğriyi sunmamın amacı, okurlara, Türkiye'de geriye kalan jeotermal havzalardan ne kadar elektrik üretilebileceği, yani ne büyüklükte santral ekipmanı gerekeceği, pazarın büyüklüğü konusunda kaba saptamalar yapmalarını sağlayacak bir araç sun-



Şekil 4. Jeotermal Akışkan Özgül Enerji Eğrisi

maktır. Sadece Türkiye ile kısıtlı kalmayıp, özellikle Afrika başta olmak üzere, jeotermal zenginliklere sahip fakat bu zenginliklerin henüz ya hiç ya da çok değerlendirilmediği ülkelere de (mesela Etyopya, Kenya, Endonezya) bakmak düşünülebilir.

## 4. SONUÇ

Türkiye, mevcut ve erişmesi nispeten kolay olan jeotermal havzalarını kullanarak, dünya jeotermal ülkeleri arasında yer almayı başardı. Fakat, jeotermal elektrik üretiminin toplam elektrik piyasası içindeki konumu çok küçük bir oranı geçemedi. Buna rağmen, belki jeotermal enerji kullanımında yaşanan bu on sene zarfında, yeni güçlü bir ihracatçı imalat sektörü geliştirilebilirdi. Bugüne kadar bu oldu mu olmadı mı, buna siz karar verin.

## KAYNAKÇA

1. **Zaim, A., Çavşı, H.** 2018. "Türkiye'deki Jeotermal Enerji Santrallerinin Durumu". Mühendis ve Makina, cilt 59, sayı 691, s. 45-58.
2. **Yılmaz, A.** 2021. Enerji Atlası. <https://www.enerjiatlası.com/jeotermal/> (son olarak 29 Ekim 2021 tarihinde bakıldı)
3. **Güllü, M., Kartal, Z.** 2021. "Türkiye'nin yenilenebilir enerji kaynaklarının 2030 yılına kadar tahmini". 19 Mayıs Sosyal Bilimler Dergisi Cilt 2, Sayı 2.
4. **Lee, S., & Gurgenci, H.** 2020. "A comparison of three methodological approaches for meanline design of supercritical CO<sub>2</sub> radial inflow turbines". Energy Conversion and Management, 206.
5. **Anlaş, G., Bedir, H., Bekiloğlu, H.E.** 2019. "Multi-objective Optimization of ORC Parameters and Selection of Working Fluid Using Preliminary Radial Inflow Turbine Design", Energy Conversion and Management, 183, 833-847, 2019.
6. **Barbier, E.** 2002. "Geothermal energy technology and current status: an overview". Renewable and Sustainable Energy Reviews, 6, 3-65 (Sekil 17).
7. **Li, X. X., Duniam, S., Gurgenci, H., Guan, Z. Q., ve Veeragavan, A.** 2017. "Full scale experimental study of a small natural draft dry cooling tower for concentrating solar thermal power plant". Applied Energy, 193, 15-27. doi:10.1016/j.apenergy.2017.02.032
8. TEİAŞ Santral Kurulu Güç Raporları, <https://www.teias.gov.tr/tr-TR/kurulu-guc-raporlari> (son olarak 29 Ekim 2021 tarihinde bakıldı)