

# TÜRKİYE JEOTERMAL KAYNAK POTANSİYELİ

**E. Didem KORKMAZ BAŞEL**  
**Ümran SERPEN**  
**Abdurrahman SATMAN**

## ÖZET

Türkiye’de MTA kayıtlarına göre ülke genelinde 277 alanda jeotermal oluşum olduğu bilinmektedir. İstanbul Teknik Üniversitesi, ülkedeki jeotermal kaynakların büyüklüğünü ve buralardan elde edilebilecek güç üretim potansiyellerini belirlemek amacıyla Türkiye’nin jeotermal kaynaklarının değerlendirilmesi konusunda bir çalışma yürütmektedir.

İlk aşama olarak, MTA tarafından yayınlanan 2 adet jeotermal kaynak envanteri, literatürdeki mevcut sahalara hakkındaki verilerle birlikte bölümümüzde çalışılan çeşitli projelerin saha verileri kullanılarak tahmini görünür (tanımlanmış) kapasite hesabı yapılmıştır. Görünür kapasite; ölçülmüş debi ve üretilen akışkanın sıcaklık değerine dayalıdır. 20°C referans sıcaklığı için toplam jeotermal görünür kapasite yaklaşık 3700 MW<sub>t</sub> bulunmuştur. Bu konu hakkındaki ayrıntılı çalışma 2007 yılında yapılmıştır [1]. Bu çalışma sonrasında, bilinen ve yeni sahalarda yapılan araştırma-geliştirme etkinlikleri sonrasında gözlemlenen / ölçülen ek kapasitelerle birlikte jeotermal görünür kapasitenin 3700 MW<sub>t</sub>’den daha büyük olduğu tahmin edilmektedir.

İkinci aşamada ise elektrik üretimine uygun jeotermal sahalardan elde edilebilecek üretilebilir güç değerleri hacimsel rezerv hesabına göre tahmin edilmiştir. Bu amaçla 11 adet yüksek sıcaklıklı jeotermal sahanın mevcut jeolojik, jeokimyasal, jeofizik ve sondaj verileri değerlendirilerek Monte Carlo simülasyonu kullanılarak üretilebilir güçler hesaplanmıştır. Monte Carlo simülasyonu sonuçlarına göre %90 olasılıkla 11 sahadan üretilebilecek elektrik güç potansiyeli 632 MW<sub>e</sub> ve üretilebilecek ısı güç potansiyeli ise 15833 MW<sub>t</sub> olarak hesaplanmıştır. Kullanılan yöntem ve ayrıntılar kaynak [2]’de sunulmaktadır.

Üçüncü aşama olarak, doğrudan kullanıma uygun göreceli orta sıcaklıklı jeotermal sahalardan elde edilebilecek üretilebilir ısı güç potansiyelleri tahmin edilmiştir. Bu amaçla 19 adet jeotermal saha değerlendirilmiş ve elde edilen sonuçlar sunulmuştur. Elde edilen sonuçlar görünür kapasite, simülasyon sonuçları ve üretilebilir ısılar cinsinden bu bildiri tartışılmıştır.

Bunlara ek olarak, Türkiye’nin yer altı jeotermal sıcaklık dağılımını belirlemek amacıyla ek bir çalışma sürdürülmüştür. Mevcut ilksel bilgiler ışığında, 500 m derinlik için hesaplanmış sıcaklık dağılımı haritası sunulmaktadır. Son olarak da, Türkiye genelinde ölçülmüş sıcaklık gradyanı verilerine dayanan ısı içeriği sonuçları sunulmaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Jeotermal enerji potansiyeli, Türkiye.

## ABSTRACT

According to the statistical information of Mineral Research and Exploration Institute in Turkey (MTA), 277 areas are determined as the great resources having the geothermal formations in the country. Istanbul Technical University currently carries out a study as to the evaluation of the geothermal resources of Turkey in order to detect the potential electricity generation that may be derived from the geothermal resources in Turkey and the size of these geothermal resources.

As the first stage, 2 geothermal energy resource inventories published by MTA concluded the estimated capacity computation by making use of the field data obtained from various projects currently studied in our department along with the data of the current fields in the literature. The apparent capacity depends on the measured flow rate and the temperature value of the liquid generated. The total apparent capacity of geothermal was found out to be approximately 3700 MW<sub>t</sub> at reference temperature of 20°C. The study in more details about this issue was carried out in 2007 [1]. Following this study, it is estimated that the geothermal apparent capacity is bigger than 3700 MW<sub>t</sub> together with the additional capacities observed/measured after the research – development activities carried out in the existing and subsequent fields.

As the second stage, the producible electricity values, that may be derived from the geothermal areas which are suitable for electricity generation, has been estimated as per volumetric reserve calculation. To this end, the producible electricity values were calculated by means of using Monte Carlo simulation having evaluated the existing geological, geochemical, geophysical and boring data of 11 geothermal areas of high-temperature. According to the results of Monte Carlo simulation,, the producible electricity potential of 11 areas is calculated to be 632 MW<sub>e</sub> and the producible calorific electricity potential is calculated to be 15833 MW<sub>t</sub> with a probability of 90%. The method used and the details are given in resource [2].

In the third stage, the producible electricity potentials that may be derived from the geothermal areas of relatively medium-temperature that may be used directly are estimated. For that purpose, 19 geothermal areas were evaluated and the results obtained were put forward. The obtained results were discussed in this report in terms of the apparent capacity, simulation results and the producible temperature.

Besides these, an additional study was carried out in order to determine the underground geothermal temperature distribution in Turkey. In the light of the existing primary data, the chart of the temperature distribution calculated for 500 meters of depth is introduced. In conclusion, the results are suggested related to the heat content based on the gradient of the temperature measured around Turkey.

**Key Words:** Geothermal energy potential, Turkey.

## 1. GİRİŞ

Nüfus, endüstrileşme ve elektrik kullanımının her geçen gün artmasıyla Türkiye'nin enerji ve elektrik gereksinimi sırasıyla her yıl yaklaşık 4.5% ve 7.5% olarak büyümektedir. Türkiye'nin enerji tüketimi yaklaşık 106 milyon ton petrol eşdeğeri ve elektrik üretim kurulu kapasitesi ise yaklaşık 42 000 MW<sub>e</sub>'dir. Bu artışın büyük bir çoğunluğu ithal edilen ve enerji bağımlılığını arttıran daha fazla fosil yakıtların (özellikle petrol ve doğal gaz) piyasaya girmesinden kaynaklanmaktadır.

Yenilenebilir kaynak olarak jeotermal enerji, ülkenin yerli enerji potansiyelinin artmasına az da olsa bir olanak sağlamaktadır. Jeotermal kaynakların enerji arzını genişleteceği ve bilinen jeotermal kaynakların özelleştirilerek daha fazla katma değer sağlayacağı düşünülmektedir.

Türkiye'nin jeotermal kaynakları hidrotermal ve geliştirilmiş jeotermal sistemler (GJS=EGS "Engineered Geothermal Systems") olmak üzere iki sınıfa ayırabiliriz. Günümüzde ülkedeki tüm jeotermal arama ve geliştirme projeleri hidrotermal üzerine yoğunlaşmıştır.

Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyelinin belirlenmesi amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi'nde bir değerlendirme çalışması yürütülmektedir. Bu değerlendirme çalışmasında, mevcut ve ekonomik hidrotermal kaynaklar ile yer kabuğunda belli derinlik aralığında depolanmış ısı enerjisi (ısı içeriği) araştırılmaktadır.

Türkiye'deki geleneksel hidrotermal kaynaklar hem elektrik hem de doğrudan kullanım uygulamalarında kullanılmakta olup, her geçen gün bu uygulama sayısı artmaktadır. GJS ise

hidrotermal kaynakların ötesinde olan geliştirilmiş/planlanmış jeotermal sistemlerdir. Bu sistemlerden hem günümüz hem de gelecekteki teknolojiler kullanılarak ısı üretilmesi amaçlanmaktadır. GJS'in dünya üzerindeki uygulamaları şimdilik birkaç adet olmakla birlikte, uzun dönemde bu sistemlerden oldukça yüksek potansiyeller elde edileceğine inanılmaktadır.

Çalışmanın birinci aşamasında, jeotermal kaynaklar ayrıntılı incelenip, mevcut tüm saha ve kuyu verileri değerlendirilmiştir. Ülkedeki bütün jeotermal oluşum ve sahalara ait anlamlı veriler analiz edilerek tahmini görünür kapasiteler bulunmuştur [1]. İkinci aşamada, Monte Carlo tipi olasılık rezerv (potansiyel) tahmin yöntemi kullanılarak yüksek ve orta sıcaklıklı her bir sahadan üretilebilecek ısılar hem  $MW_t$  hem de  $MW_e$  cinsinden tahmin edilmiştir [2,3].

Çalışmanın üçüncü aşaması, Türkiye'nin yeraltında yüzeyden ilk 3 km derinlik içerisindeki jeotermal kaynak içeriğinin (hesaplanmış depolanmış ısı) tahmin edilmesidir. Petrol, doğal gaz veya jeotermal enerji arama veya üretimi için delinmiş en az 1 km derinlikteki kuyulardan elde edilmiş sıcaklık ölçümleri ile 100 -150 m derinliklerdeki daha sık kuyulardan elde edilen sıcaklıklar kullanılmışlardır. Bu aşamanın sonucu olarak jeotermal kaynak ve hidrotermal potansiyeller bazı varsayımlar yapılarak tahmin edilmiştir. Çalışmada yapılan tahminlerdeki belirsizlik bilinmekte olup asıl sıkıntı, kullanılan veri sayısının sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Bu çalışmayla jeotermal kaynaklar değerlendirilerek, tahmini hidrotermal kaynak değer aralığı ve ısının tahmini üretilebilir kısmı belirlenmeye çalışılmıştır. Veri kalitesinin artırılması ve tahminlerde kullanılan yöntemlerin geliştirilmesi devam etmektedir. Ayrıca yer altı sıcaklık dağılımı haritası oluşturmak bu aşamanın bir diğer amacıdır.

Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar bu bildiriye sunulup tartışılmaktadır.

## 2. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

### 2.1. Yer Altı Sıcaklık Dağılımı Haritası

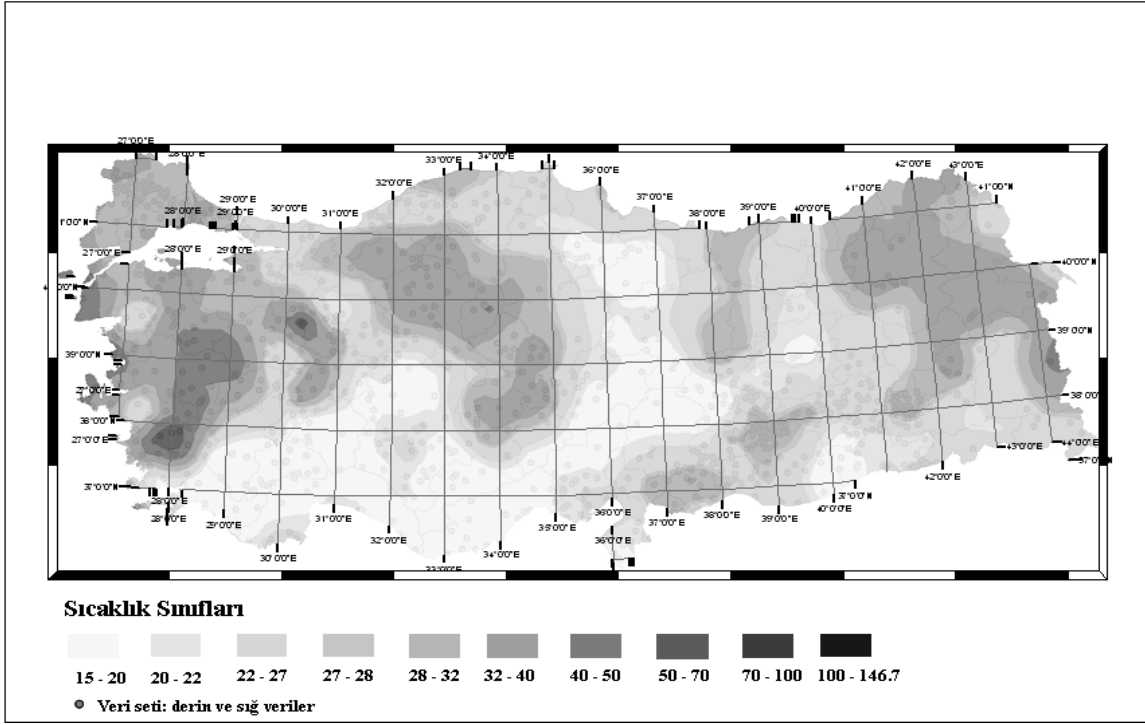
Şekil 1, 500 m derinlikteki yer altı sıcaklıklarını göstermektedir. Şekilden rahatlıkla anlaşılacağı gibi ülkenin batı bölgesi diğer bölgelere göre daha yüksek sıcaklıklar sergilemektedir [4]. Bu fark, kayaç sıcaklıklarının bölgesel olarak değişiklik göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Şekil 1'de gösterilen haritayı oluşturmak için iki ayrı veri seti kullanılmıştır:

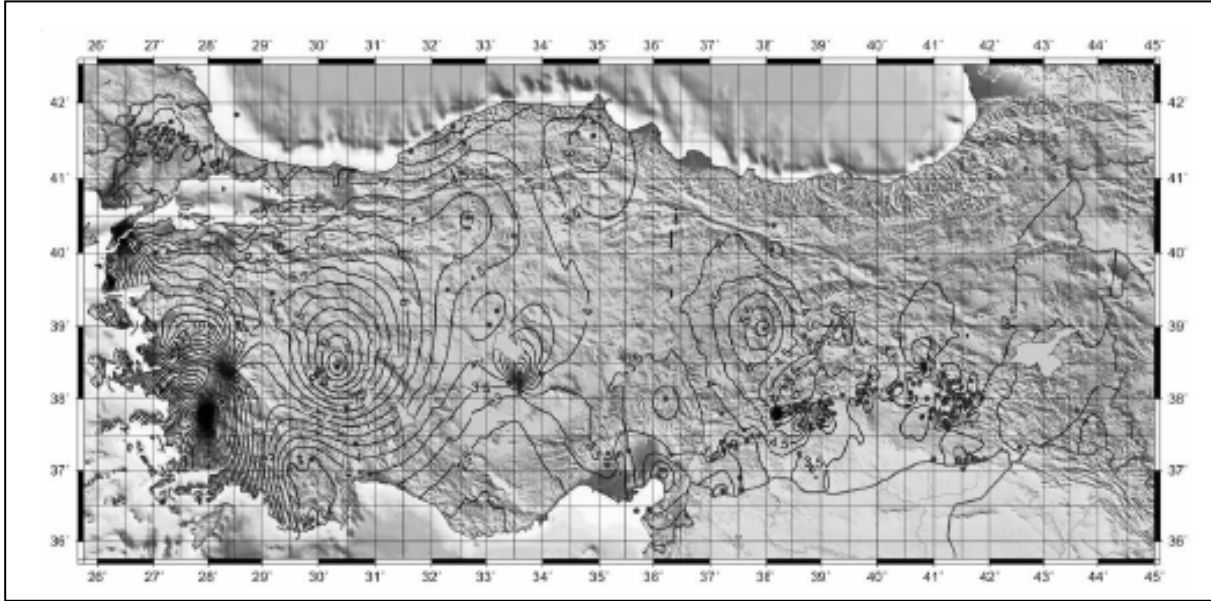
Set 1) Mıhçakan vd., [5] 'nin sıcaklık gradyanı haritası elde etmek için kullandıkları veriler.

Set 2) İlkışık vd., [6] 'nin Türkiye'nin ısı akısı haritasını geliştirebilmek için kullandığı veriler.

Mıhçakan vd., [5]'nin yapmış olduğu çalışmadan derlenen ve daha çok Trakya ve Güneydoğu Anadolu'ya ait en az 1 km derinlikten yapılan sondajlardan elde edilen sıcaklık gradyanı değerlerinin 500 m derinliğe interpolasyonu ile elde edilen 241 adet ve yine İlkışık vd., [6]'nin ısı akısı çalışmasında



Şekil 1. Türkiye'nin 500 m Derinliğindeki Sıcaklık Dağılımı Haritası [4].



Şekil 2. Sıcaklık Gradyanı Haritası [5].

kullandıkları 100-150 m derinlikteki siğ kuyularının elde edilen sıcaklık gradyanlarının 500 m derinliğe extrapolasyonu ile elde edilen 543 adet sıcaklık verisi kullanılarak Şekil 1 oluşturulmuştur.

Dikkat edilirse, oluşturulan haritanın eldeki var olan veri setlerine bağlı olduğu, bilinen ve görece olarak daha yüksek sıcaklıklara sahip bölgelerin henüz resmedilmediği görülmektedir.

## 2.2. Depolanmış Isıl Enerji

Belirlenen bir alan ve derinlik içerisindeki depolanmış ısı enerjisi (jeotermal temel kaynak), farklı sıcaklık sınıf aralıklarına göre tahmin edilmektedir. Jeotermal temel kaynak; ilk 3 km derinlikteki ve 15°C sıcaklıktan yüksek kayaç ve akışkanın içerdiği toplam ısı olarak tanımlanmaktadır. Kayaç ve akışkan ısının birlikte düşünüldüğü hidrotermal sistemler için yer kabuğu içinde sınırlayıcı derinlik olarak 3 km kabul edilmektedir. Sınırlayıcı derinlik olan 3 km, günümüzdeki mevcut ekonomik koşullarda geçerli sınırlayıcı derinlik olmasından kaynaklanmaktadır.

Bu amaçla, Türkiye'nin ilk 3 km derinliğindeki depolanmış ısı enerjisi, Mıhçakan vd., [5]'nin oluşturdukları yer altı sıcaklık gradyanı dağılımı haritası yardımıyla hesaplanmıştır. Bu haritadaki gradyan konturlarının oluşturdukları alanlar planimetre kullanılarak hesaplanmıştır. Gradyan konturları, hem ilgilenilen alanın hesaplanarak belirlenmesini hem de ilgilenilen o derinlikteki sıcaklığın hesaplanmasında kullanılmıştır.

Tablo 1, ilk 3 km derinlik içerisinde depolanmış olan ısı enerjilerin sıcaklık gruplarına göre dağılımını göstermektedir. Depolanmış ısılar dört ayrı sıcaklık grubuna ayrılmıştır. Kullanılan sıcaklık grupları aşağıdaki gibidir.

Grup 1:  $T < 100^{\circ}\text{C}$ , Grup 2:  $100 < T < 150^{\circ}\text{C}$ , Grup 3:  $150 < T < 250^{\circ}\text{C}$ , Grup 4:  $T > 250^{\circ}\text{C}$ .

Kayacın hacimsel ısı kapasitesi sıcaklık, gözeneklilik, su içeriği ve de litolojiye bağımlı olmakla beraber hesaplamalarda  $2.5 \text{ J}/(\text{cm}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$  değeri ortalama değer olarak varsayılmaktadır. Belirlenmiş bir sıcaklık sınıfı için kaynağın içerdiği ısı denklem 1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Q = AHC_v(T - 15) \quad (1)$$

Burada; A: kaynağın alanı ( $\text{km}^2$ ), D: kaynağın derinlik aralığı (km),  $C_v$ : hacimsel ısı kapasitesi ( $\text{J}/(\text{km}^3 \cdot ^{\circ}\text{C})$ ), ve T: kaynağın ortalama sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ), 15: ortalama atmosfer sıcaklığı olarak bilinen referans sıcaklığı olarak ifade edilmektedir.

Jeotermal temel kaynak ile ilgili çeşitli çalışma sonuçlarının gösterildiği Tablo 1'de, Türkiye için toplam jeotermal temel kaynak değerinin  $\pm 1 \times 10^{23}$  J standart sapma ile ortalama  $3 \times 10^{23}$  J olduğu tahmin edilmektedir.

Akışkan içermeyen ve iletimin etken olduğu sıcak kuru kayaç veya son yıllarda kullanılan teknolojiyle geliştirilmiş (destekli) jeotermal sistemler (GJS) için derinlik sınırı 10 km olarak alınmaktadır [7].

GJS uygulamaları için 3 -10 km derinlik aralığındaki ısı kaynağı incelenmiştir. Yer yüzeyinden 4.5, 6.5 ve 10 km derinliklerdeki depolanmış ısı enerjisi, gradyan haritası kullanılarak hesaplanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de gösterilmektedir.

**Tablo 1.** Türkiye'nin İlk 3 km Derinliğinde Depolanmış Isıl Enerji Miktarı ( $10^{23}$  J)

Yapılan Çalışmalar	Sıcaklık Grupları, °C				Toplam Depolanmış Isıl Enerji
	Grup 1 (T<100)	Grup 2 (100<T<150)	Grup 3 (150<T<250)	Grup 4 (T>250)	
EPRI, 1978	1.9	0.84	0.23	0.014	3.1
Serpen, 1996	1.6	0.93	0.32	--	2.9
Serpen-Mihçakan, 1999	0.71 (T<100)	1.1 (100<T<180)	0.15 (180<T<250)	--	2.0
Satman, 2007	1.8	1.2	0.63	0.0069	3.7
Başel, vd. 2008	1.7	1.3	0.64	0.302	3.96
Depolanmış Isıl Enerji Aralığı: 2.9 - 3.96					

**Tablo 2.** Türkiye'nin Farklı Derinliklerinde Depolanmış Isıl Enerji Miktarı ( $10^{23}$  J)

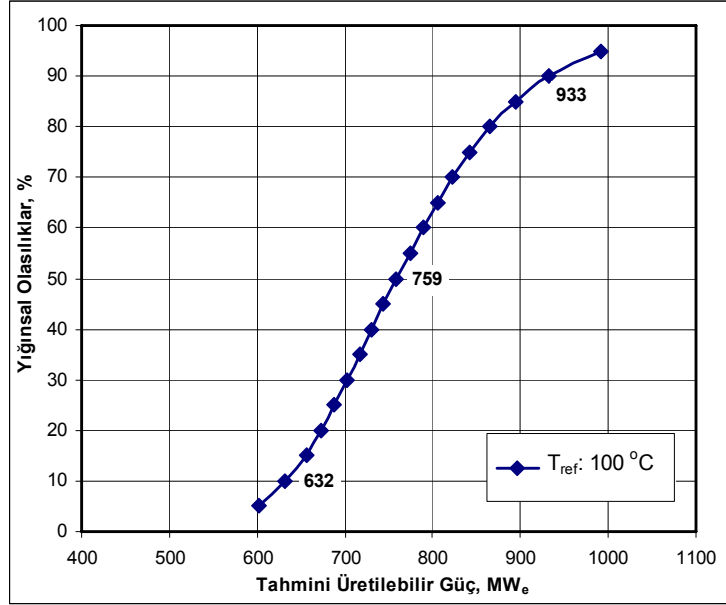
Derinlik, km	Sıcaklık Grupları, °C				Toplam Depolanmış Isıl Enerji
	Grup 1 (T<100)	Grup 2 (100<T<150)	Grup 3 (150<T<250)	Grup 4 (T>250)	
3	1.72	1.30	0.64	0.302	3.96
4.5	1.77	2.49	3.06	1.59	8.91
6.5	1.77	4.15	7.40	6.68	20
10	1.77	4.15	8.81	30.2	45

### 2.3. Üretilir Isıl Güç Çalışması

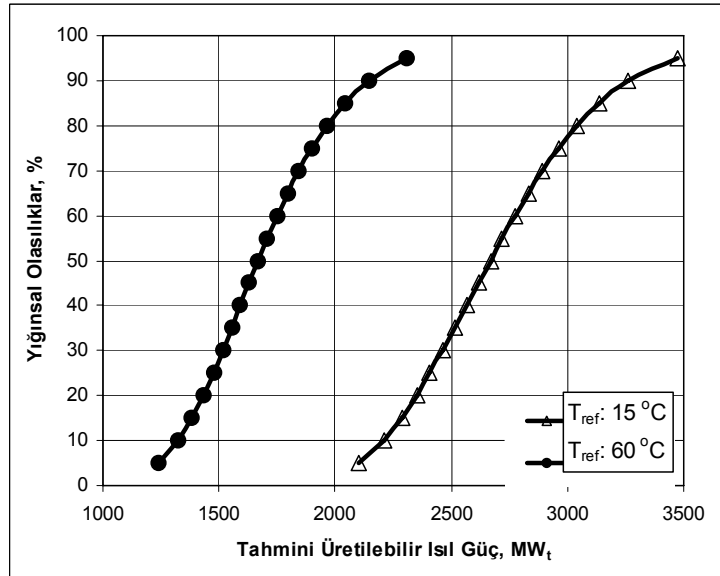
Rezerv gelişimi ve üretimi değerlerine etki eden parametrelerdeki belirsizliğe bir yaklaşım sağlamak amacıyla olasılık yöntemleri kullanılmaktadır. Monte Carlo simülasyon tekniğinde, her bir değişken için değer aralıkları belirlenerek dağılımlar oluşturulmakta ve bu dağılımlardan her bir değişken için olasılıklar hesaplanmaktadır. Bu teknik kullanılarak, değişkenlerin değerlerinin tayin edilmesinde ilk olarak rastgele bir sayı üretilmekte ve daha sonra tanımlanmış olasılık dağılımları kullanılarak değişkenlerin değeri tayin edilmekte ve en sonunda üretilen değerler kullanılarak depolanmış ısı miktarı hesaplanmaktadır. Üretilir ısı hesabı (elektrik  $MW_e$  / ısı  $MW_t$ ) için bu işlemler, en iyi temsili olasılık dağılımı üretilinceye kadar tekrarlanmaktadır. Her bir değişkenin tanımlanmasında farklı dağılım tiplerinin kullanılması mümkün olabildiği gibi, bu çalışmada olduğu gibi üçgen ve düzgün dağılımlar da kullanılmaktadır. Monte Carlo simülasyonundan elde edilen sonuçlar, belirli bir değer oluşum sayısını gösteren histogram ve yığınsal dağılım fonksiyonları (YDF) cinsinden ifade edilmektedir. Yığınsal olasılık dağılımdaki orta değer (medyan) P50 değerini göstermektedir. P10, P50 ya da P90 terimleri ise sırasıyla, 10., 50. ve 90. yüzdelerdeki eşit veya küçük değerleri ifade etmektedir [8,9]. Tek bir saha yerine birden fazla saha ile çalışılırken ve tüm bu sahalardan elde edilecek toplam üretim güç değeri belirlenirken, her bir sahanın simülasyon sonucundan elde edilen ortalama ve standart sapma değerleri log normal dağılımlar olarak ifade edilerek toplanmıştır. Elde edilen toplam, 10000 kere simüle edilmiş ve sonuç yığınsal dağılım fonksiyonu şeklinde ifade edilmiştir.

İlk olarak elektrik üretimine uygun yüksek sıcaklıklı 11 jeotermal saha değerlendirilmiştir. Bu sahalardan üretililecek hem elektrik hem de ısı güçler, Monte Carlo olasılık yaklaşımı kullanılarak tahmin edilmiştir. Elektrik üretimi hesaplamalarında, sahaların ömürleri 30 yıl ve referans sıcaklıkları  $100^\circ\text{C}$  olarak varsayılmıştır. 11 sahadan üretililebilir elektrik gücü değerlerini gösteren yığınsal dağılım fonksiyonlarındaki P10, P50 ve P90 değerleri sırasıyla 632, 759 ve 933  $MW_e$ 'dir (Şekil 3). Referans sıcaklığının  $15^\circ\text{C}$  olması durumunda 11 sahadan elde edilecek ısı güç değerlerinin yığınsal dağılım fonksiyonundaki P10, P50 ve P90 değerleri ise sırasıyla 15 833, 19 642 ve 26 104  $MW_t$  olarak hesaplanmıştır.

Monte Carlo simülasyonu yaklaşımı ayrıca, merkezi ısıtma sistemine uygun düşük ve orta sıcaklıklı 19 jeotermal sahanın üretilebilir ısıl potansiyellerinin tahmininde kullanılmıştır [3]. Tahminlerde merkezi ısıtma sistemlerinin proje ömrü 30 yıl, referans sıcaklığı ise 15°C ve 60°C olarak varsayılmıştır. Tahmin sonuçları Şekil 4'de yığınsal dağılım fonksiyonu cinsinden ifade edilmektedir. Düşük ve orta sıcaklıklı 19 jeotermal sahadan referans sıcaklığının 15°C olması durumu için üretilebilir ısıl potansiyelin P10, P50 ve P90 değerleri sırasıyla, 2212, 2669 ve 3261 MW<sub>t</sub>'dir. Referans sıcaklığının 60 °C olması durumu için ise üretilebilir ısıl potansiyelin P10, P50 ve P90 değerleri sırasıyla, 1321, 1668 ve 2144 MW<sub>t</sub>'dir.



**Şekil 3.** Elektrik Üretimine Uygun 11 Jeotermal Sahanın Yığınsal Olasılık Dağılımları (Referans Sıcaklığı:100 °C).

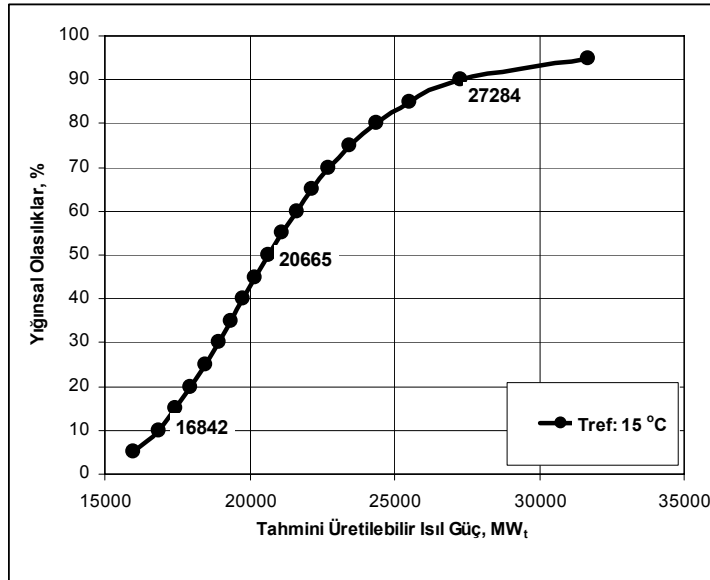


**Şekil 4.** Merkezi Isıtma Sistemine Uygun 19 Jeotermal Sahanın Yığınsal Olasılık Dağılımları (Referans Sıcaklıkları: 15 °C ve 60 °C).

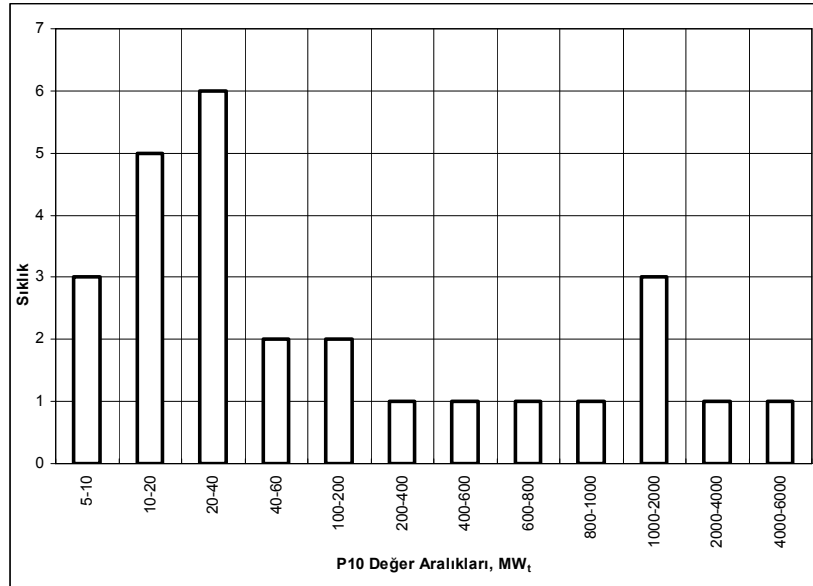
Çalışma kapsamında şimdiye kadar 27 jeotermal saha değerlendirilmiş olup, referans sıcaklığının 15°C olarak varsayılması durumunda, bu sahalardan elde edilebilecek üretilebilir ısıl güçler

hesaplanmıştır. 27 saha için P10, P50 ve P90 değerleri sırasıyla, 16842, 20665 ve 27284 MW<sub>t</sub> olarak hesaplanmış ve yığılmsal dağılım fonksiyonu ise Şekil 5'te gösterilmektedir.

Şekil 6, değerlendirilmesi yapılmış 27 sahanın referans sıcaklığının 15°C olması durumu için sıklık-P10 değerlerini göstermektedir. Türkiye genelinde 277 jeotermal oluşumun 205 tanesinin bir başka ifade ile %74'ünün görünür mevcut kapasite değerleri 5 MW<sub>t</sub> ve altındadır (Tablo 3). 5 MW<sub>t</sub>'lik kapasite değeri çok küçük olduğundan oluşturulan sıklık grafiğinde (Şekil 8) bu oluşumlar değerlendirme dışı bırakılmıştır.



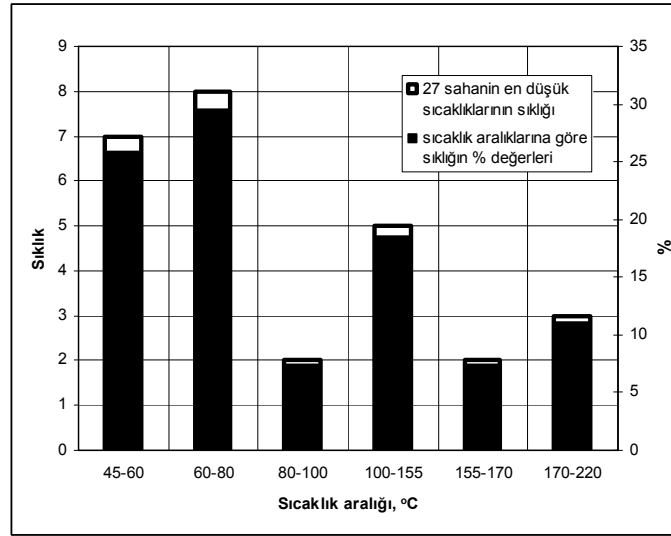
Şekil 5. Merkezi Isıtma Sistemine Uygun 27 Jeotermal Sahanın Yığılmsal Olasılık Dağılımları (Referans Sıcaklığı: 15°C).



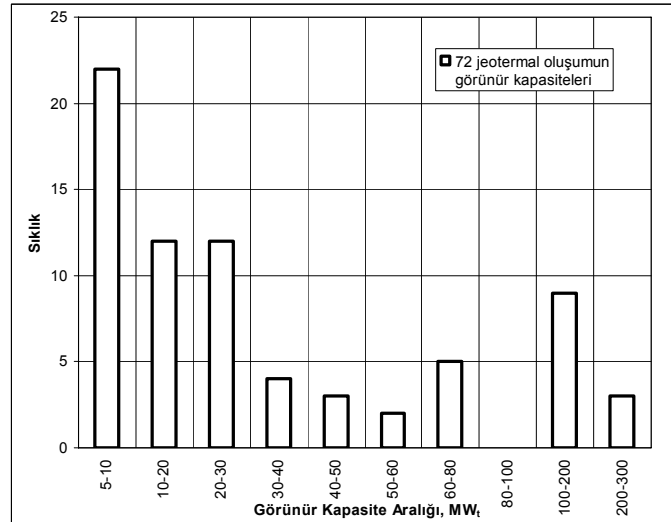
Şekil 6. 27 Jeotermal Sahanın Sıklık-P10 Değerleri (Referans Sıcaklığı: 15°C).

Şekil 7'de 27 jeotermal sahanın simülasyonları sırasında kullanılan en düşük sıcaklık değerlerine göre sıklıkları ve aynı zamanda bunların yüzdece ifadesi gösterilmektedir.





Şekil 7. 27 Jeotermal Sahanın Sıklık-Sıcaklık Aralığı Değerleri.



Şekil 8. 72 Jeotermal Oluşumun Sıklık-Görünür Kapasite Değerleri (Referans Sıcaklığı: 15 °C).

Tablo 3. 277 Jeotermal Oluşumun Görünür Kapasite Aralık Değerlerine Göre Yüzdeleri (Referans Sıcaklığı: 15 °C).

Görünür Kapasite Aralığı, MW <sub>t</sub>	Jeotermal Oluşum Yüzdesi
0-5	74
5-10	8
10-20	5
20-30	4
30-40	1
40-50	1
50-60	1
60-80	2
80-100	0
100-200	3
200-300	1

Satman vd., [1] 2007 yılında yapmış oldukları Türkiye için tanımlanmış jeotermal kapasite çalışmasında, ülkedeki tüm jeotermal oluşumların debi değerleri ve buralardan üretilen akışkanların ortalama sıcaklıkları dikkate alınmıştır. Referans sıcaklığının 15°C ve 20°C olması durumu için sırasıyla tanımlanmış jeotermal enerji kapasitesi 3850 MW<sub>t</sub> ve 3700 MW<sub>t</sub> olarak hesaplanmıştır. Dikkat edilecek olursa Satman vd., [1] 'nin yapmış olduğu çalışma ile Monte Carlo simülasyonu yönteminden elde edilen sonuçlar farklıdır. Monte Carlo simülasyonu yöntemi ile jeotermal potansiyel hesaplanırken, Satman vd., [1]'nin çalışması ülkedeki jeotermal (mevcut) görünür kapasiteyi yansıtmaktadır.

Monte Carlo simülasyon yöntemi kullanılarak elde edilen tanımlanmış üretilebilir ısı potansiyel değerleri, toplam üretilebilir hidrotermal ısı potansiyelinin tanımlanmış olan kısmını temsil etmekte olup, 10, 50 ve 90'lık yüzdellikler cinsinden sırasıyla, %23, %19 ve %14'dir.

Toplam ulaşılabilir ısı potansiyel ile tanımlanmış ısı potansiyel arasındaki fark olan keşfedilmemiş ulaşılabilir hidrotermal kaynak potansiyeli konusunda en kolay yapılabilecek yaklaşımlardan birisi Stefansson[10] tarafından sunulmaktadır. Stefansson'a göre İzlanda ve ABD'deki koşullar düşünüldüğünde jeotermal kaynağın toplam potansiyeli, tanımlanmış potansiyelin 5-10 katı daha büyük olabilmektedir. Genelde, keşfedilmemiş kaynakların sayısının keşfedilmiş kaynaklardan daha fazla olduğu kabul edilmektedir. Stefansson'un varsayımı göz önünde bulundurulduğunda, Türkiye için ulaşılabilir hidrotermal kaynak potansiyeli, 3700 MW<sub>t</sub>'lik tanımlanmış potansiyel için en az 19000 MW<sub>t</sub> ve en çok 37000 MW<sub>t</sub> kadardır [7].

Yeraltındaki herhangi bir jeotermal kaynağın hidrotermal kısmının tahmini kolay olmayıp, belirsizlikler içermektedir. Hidrotermal kaynak ya da toplam jeotermal kaynağın ne kadarının üretilebileceğinin kestirimi de oldukça önemlidir.

Depolanmış ısı enerjinin üretilebilir kısmı bir başka değişle üretim faktörü en önemli parametrelerden birisidir. Bu önemli parametre değeri için MIT [11], geliştirilmiş jeotermal sistemler için %2-%20 aralığını önerirken, Sanyal vd., [12] ABD'nin hidrotermal sistemleri için ise ortalama değer %11 olacak şekilde %3-%17 aralığını önermektedir. ABD'deki üretilebilir enerji tahminleri için MIT geliştirilmiş jeotermal sistemler için proje ömrünü 30 yıl ve terk etme sıcaklığını ise kayacın ilk sıcaklığının 10°C altında olacağı şeklinde rapor etmiştir.

## SONUÇLAR

Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1. Türkiye'nin yüzeyden ilk 3 km derinliğinin içerdiği jeotermal kaynak potansiyeli,  $3\pm 1 \times 10^{23}$  J olarak tahmin edilmiştir.
2. Türkiye'nin yüzeyden ilk 10 km derinliğinin içerdiği jeotermal kaynak potansiyeli,  $4.5 \times 10^{24}$  J olarak tahmin edilmiştir.
3. 277 jeotermal oluşumun %74'nin görünür mevcut kapasitesi 5 MW<sub>t</sub> ve altındadır.
4. Monte Carlo simülasyonu kullanılarak 27 saha incelenmiş ve bu sahaların P10, P50 ve P90 ısı enerji değerleri (MW<sub>t</sub>), referans sıcaklığının 15°C olması durumu için sırasıyla 16842, 20665 ve 27284 olacak şekilde bulunmuştur.
5. Mevcut veriler kullanılarak 500 m derinlik için sıcaklık dağılımı haritası oluşturulmuştur.
6. Referans sıcaklığının 15°C olması durumunda tanımlanmış sahaların toplam jeotermal kapasitesi (görünür kapasite) 3850 MW<sub>t</sub> olarak hesaplanmıştır [1]. 2007 yılında yapılan kapasite çalışma sonrasında geçen 2 yıl içerisinde, bilinen ve yeni sahalarda yapılan araştırma-geliştirme etkinlikleri sonrasında gözlemlenen/ölçülen ek kapasitelerle birlikte jeotermal görünür kapasitenin 3850 MW<sub>t</sub>'den daha büyük olduğu tahmin edilmektedir.

Çalışmalarımızda, yapılan tahminlerdeki belirsizliklerin farkındayız. Ancak bizi asıl kısıtlayan, kullanılan veri sayısının sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır. Jeotermal kaynakları değerlendirerek, tahmini hidrotermal kaynak değer aralığını ve ısının tahmini üretilebilir kısmını belirledik. Veri kalitemizi

ve tahminlerde kullandığımız yöntemleri geliştirme çabalarımız devam etmektedir. Jeotermal kapasite ve potansiyel belirlemede, yeni, düzenlenmiş ve güncellenmiş veriler kullanılarak daha iyi ve doğru tahminlere ulaşılması mümkündür.

## KAYNAKLAR

- [1] SATMAN, A., SERPEN, U., ve KORKMAZ BAŞEL, E.D., "An Update on Geothermal Energy Potential of Turkey," Proceedings 32<sup>th</sup> Stanford Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, USA, 22-24 Ocak 2007.
- [2] SERPEN, U., KORKMAZ BAŞEL, E.D. ve SATMAN, A., "Power Generation Potentials of Major Geothermal Fields in Turkey," 33<sup>th</sup> Stanford Workshop on Geothermal Reservoir Engineering, Stanford University, USA, 28-30 Ocak, 2008.
- [3] KORKMAZ BAŞEL, E. D., SERPEN, U., SATMAN, A., "Geothermal Potentials Of The Fields Utilized For District Heating Systems in Turkey," New Zealand Geothermal Workshop ve NZGA Seminar, sayfa: 277-282, 11-13 Kasım 2008.
- [4] KORKMAZ BAŞEL, E. D., ÇAKIN, K., SATMAN, A., "Türkiye'nin Yer altı Sıcaklık Haritası ve Tahmini Isı İçeriği", VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, İstanbul sayfa: 635-643, 17-19 Aralık 2008.
- [5] MIHÇAKAN, M., ONUR, M., ERÇELEBİ, S.G., OKAY, A., YILMAZER, M., "Türkiye Yer altı Sıcaklık Gradyanı Dağılımının Derin Kuyu Sıcaklıkları ve Variogram Analizi Kullanılarak Haritalanması", Tübitak Projesi No: YDABÇAG-100Y040, Kasım, 2006.
- [6] İLKIŞIK, O. M., Kişisel görüşme, 2008.
- [7] SATMAN, A., "Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli, Teskon 2007, VIII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 25-28 October, 2007 İzmir.
- [8] CAPEN, E. C., "Probabilistic Reserves! Here At Last", SPE Reservoir Evaluation & Engineering, Ekim 2001.
- [9] ONUR, M., Kişisel görüşme, 2009.
- [10] STEFANSSON, V., "World Geothermal Assessment," World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 Nisan 2005.
- [11] MIT (Massachusetts Institute of Technology) Report (Edited by Tester, J.W.), "The Future of Geothermal Energy", 2006.
- [12] SANYAL, S.K., KLEIN, C.W., LOVEKIN, J.W. ve HENNEBERGER, R.C., "National Assessment of US Geothermal Resources-A Perspective," Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 28, 29 Ağustos-1 Eylül, 2004.
- [13] SERPEN, U., "Türkiye'nin Jeotermal Kaynakları," Yayınlanmamış Rapor, İstanbul Teknik Üniversitesi, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 1996.
- [14] SERPEN, U., MIHÇAKAN, M. (1999), "Heat Flow and Related Geothermal Potential of Turkey," Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 23, 17- 20 Ekim, 1999.
- [15] EPRI, "Geothermal Energy Prospect For The Next 50 Years", EPRI ER-611-SR, Palo Alto, Ca, 1978.

## ÖZGEÇMİŞ

### E. Didem KORKMAZ BAŞEL

1977 yılı İstanbul doğumludur. Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği'nde lisans derecesini 2001 yılında, yüksek lisans derecesini 2004 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden (İTÜ) almıştır. 2005 yılında araştırma görevlisi olarak göreve başladığı İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'nde halen "Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli" konulu doktora çalışmasına devam etmektedir.

**Ümran SERPEN**

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'nden mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarda çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından itibaren İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de Öğr. Gör. Dr. olarak çalışmaktadır.

**Abdurrahman SATMAN**

İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümü'nden Y. Mühendis olarak mezun olduktan sonra gittiği A.B.D.'deki Stanford Üniversitesi'nde Petrol Mühendisliği Bölümü'nden MS ve Doktora unvanlarını aldı. Daha sonra Stanford Üniversitesi'nde Asistan Profesör olarak çalıştıktan sonra 1980 yılında İTÜ Petrol Mühendisliği Bölümünde çalışmaya başladı. 1985-1987 arasında Suudi Arabistan'da KFUPM-Research Institute'te çalıştı. 2005-2009 yılları arasında İTÜ Enerji Enstitüsü Müdürlüğü yapmıştır. Halen İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'nde görev yapmaktadır. İlgili alanları arasında petrol, doğal gaz ve jeotermal mühendisliği ve üretim ve rezervuarla ilgili konular yer almaktadır.