

# TÜRKİYE’NİN TAHMİNİ YER ALTI SICAKLIK HARİTALARI

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

## ÖZET

Bazı bölgesel ısı akısı çalışmaları [1], Türkiye'nin Avrupa'da yüksek bir ısı akısı kuşağında yer aldığını göstermektedir. Bu motivasyonla, ülkenin yeraltı sıcaklık dağılımlarının tahmini, 500-m ve 1000-m derinliklerdeki olası ısı hücrelerinin araştırılması amacıyla ülke genelini ve bölgesel bazını göz önüne alan bu çalışma yapılmıştır. Tahmini yeraltı sıcaklık dağılımları eldeki verilerin görelisi olarak daha yoğun olduğu Kuzey Batı Anadolu ve Güney Doğu Anadolu bölgelerinin yanı sıra ayrıca ülke geneli için de oluşturulmuştur. Bu çalışmada ilk olarak jeotermal gradyan değerlerinin var olduğu yerler için sıcaklıklar 500 m ve 1000 m derinlikler için hesaplanmış, daha sonra kriging ve idw gibi jeostatistiksel yöntemler kullanılarak tahmini alansal sıcaklık dağılım haritaları oluşturulmuştur. Oluşturulan tüm sıcaklık haritalarında ArcGis yazılımı kullanılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Türkiye, Yeraltı sıcaklık haritası, Jeotermal gradyan, Kriging yöntemi, Jeostatistiksel yöntemler, ArcGis.

## ABSTRACT

Some regional [1] heat flow studies show that Turkey is located on a high heat flow zone of Europe. With the motivation of such a claim a country-wide subsurface-temperature prediction study is conducted to better understand the temperature distribution and the possible existence of heat-cells at 500-m and 1000-m depths in Turkey. The temperature distributions are emphasized not only for the Northwestern (Thrace) and the Southeastern parts of Turkey, where the data is dense, but for the whole country. Initially the temperatures at locations, for which the geothermal gradient values were available, are computed for both depths and are utilized to estimate the areal temperature distribution at the same depths by employing the geostatistical methods of kriging and IDW. The distribution maps are built using Arc GIS software.

**Key Words:** Turkey, Subsurface temperature map, Geothermal gradient, Kriging, Geostatistical methods, ArcGis.

## 1. GİRİŞ

Yeraltı sıcaklık ve gradyan dağılımlarının doğruya yakın bir şekilde tahmini ülkenin jeotermal enerjiden fayda sağlayabilmesi ve geleceğe yönelik enerji politikalarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Doğruya yakın en olası tahminin yapılabilmesi, eldeki verilerin nitelik, nicelik ve güvenilirliğine bağlıdır. Sıcaklık dağılımı tahmini işlemlerinde kullanılan gradyan değerleri oluşturulacak haritaları doğrudan etkilediğinden oldukça önemlidir [2].

## 2. TÜRKİYE YER ALTI SICAKLIK DAĞILIMI HARİTASI

Bu bölümde yeraltı sıcaklık dağılımının oluşturulmasında kullanılan veriler ve yöntemler açıklanmaktadır.

### 2.1. Veri Setleri ve Analizi

Yer altı sıcaklık dağılımı haritasını oluşturmak için iki çeşit veri seti kullanılmaktadır. Veri Seti I olarak adlandırılan; hem Mihçakan vd. [3] çalışmasından yararlanılarak oluşturulan gradyan değerlerini hem de yeni jeotermal kuyulardan elde edilen bilgilerin birleştirilerek oluşturulduğu bir settir. Daha çok Kuzey Batı Anadolu ve Güney Doğu Anadolu'ya ait 1000 m ve daha derinden yapılan sondajlardan elde edilen sıcaklık gradyanlarının doğrusal interpolasyon ve ekstrapolasyonu ile elde edilen sıcaklık değerleri veri seti olarak kullanılmıştır. Bu setteki toplam veri sayısı 427 adettir. Veriler genellikle iki bölgede (Kuzey Batı Anadolu ve Güney Doğu Anadolu) yığılma gösterdiklerinden heterojen bir dağılım sergiledikleri söylenebilir. Ancak verilerin 1000 m ve daha derinlerden oluşturulduğu düşünüldüğünde elde edilecek sıcaklıkların daha gerçekçi bir sonucu temsil edeceği kesindir.

Veri Seti II olarak adlandırılan set ise İlkışık [4]'ün veri çalışmasından derlenmiş 100-150 m derinlikteki sığ kuyuların sıcaklıklarından elde edilen gradyan değerlerinin 500 m derinliğe doğrusal ekstrapolasyonunun yapılması ile bulunan değerleri içermektedir. Veri Seti I'e göre göreceli olarak daha homojen olup, bu setteki toplam veri sayısı 418 adettir. Bu veri setinde daha fazla veri olmasına rağmen, eldeki verilerin sığ kuyulardan gelmesi ve yeraltı sularından etkilenmesi nedeni ile elde edilen sıcaklıkların gerçeği tam yansıtmayabileceği söylenebilir. Bu setteki verilerin sığ kuyulardan gelmesi, yeraltı suları ve yüzey-iklimsel etkilerden etkilenmiş olabilmesi nedeni ile elde edilen sıcaklıkların gerçeği tam yansıtmayabileceği söylenebilir. Ayrıca veri kayıtları sırasında yapılan ölçüm/kayıt hatalarının Veri Seti I'e göre daha fazla olabileceği de unutulmamalıdır.

Veri setleri kullanılarak hesaplanmış yer altı sıcaklık değerleri ArcGIS 9.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımının jeostatistiksel analiz modülü kullanılarak analiz edilmiş, variogram modelleri oluşturulmuştur. Verinin olmadığı noktalar için yapılan tahminler, çeşitli jeostatistiksel (IDW, Krigging) yöntemler kullanılarak yapılmış ve sıcaklık dağılımları haritalanmıştır. Kullanılan yöntemlerde bilinmeyen noktaların tahmininde hem mesafe hem de noktaların uzaysal düzeni (konumu) dikkate alınmış böylece yeraltı sıcaklık dağılımındaki hatalar olası en asgari düzeye indirgenmiştir [2].

### 2.2. Uygulanan Yöntemler

Enterpolasyon yöntemleri deterministik ve jeostatistiksel olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadırlar. Bütün yöntemler, birbirlerine yakın noktaların benzerlik göstereceği temeline dayanmaktadır. Deterministik yöntemlerde sadece matematiksel fonksiyonlar kullanılırken jeostatistiksel yöntemlerde matematiksel fonksiyonlarla birlikte istatistiksel bilgiler de birlikte kullanılarak yapılan tahminlerdeki belirsizlik de tayin edilmektedir. Bu çalışmada Ters Ağırlıklı Mesafe (idw) ve adi Krigging yöntemleri kullanılarak yeraltı sıcaklık dağılımı haritaları oluşturulmuştur [2].

#### 2.2.1. Ters Ağırlıklı Mesafe Yöntemi

Bu yöntem kendisini çevreleyen bilinen/ölçülmüş örnek noktalarındaki değerler yardımıyla ya da belirli bir matematiksel fonksiyona doğrudan bağlı deterministik bir enterpolasyon yöntemidir. Bu yöntem sayesinde bilinen örnek noktalara ait değerlerin yardımıyla örneklenmeyen noktalara ait değerler belirlenmektedir. Tahmini yapılacak noktadan uzaklaşan çeşitli diğer noktalar gözetilerek (değerlendirilmeye alınarak) ve mesafedeki artışa bağlı olarak bilinmeyen noktanın değeri hesap edilir. Tahmin edilen değerler, komşu civardaki noktaların uzaklığı ve büyüklüğünün bir fonksiyonu olup, mesafenin artması ile tahmini yapılacak nokta üzerindeki önem ve etki azalır [5]. Bu yöntemde verilerin genel dağılımı, eğilimi, anizotropi ve kümelenmesi gibi özellikler incelenmemektedir. Veriler sadece yerel olarak değerlendirilip, karşılaştırılması yapılmaktadır.

### 2.2.2. Kriging Yöntemi

Çevreleyen ölçülmüş değerlerden ağırlıkları oranında yararlanarak bilinmeyen noktalara ait ölçümleri kestirerek hesaplamak için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir. Ağırlıklar, ölçülen noktalar ile kestirilecek (tahmini yapılacak) olan noktalar arasındaki mesafeye dayalı olarak belirlenir ve tüm alan için bir ayarlama yapılır. Noktalar arasındaki uzaklıklar ve yönlerin oluşturduğu uzaysal ilişki dikkate alınarak (semivariogram ve kovaryans fonksiyonları oluşturularak) veri yüzeyindeki değişimine yönelik değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu yöntemde hem doğrudan ölçüm değerleri hem de istatistiksel yöntemlerden faydalanılarak otokorelasyon (ölçülen noktalar arasında oluşturulan istatistiksel ilişki) oluşturularak bunlara yönelik tahminler yapılmaktadır. Bir başka ifadeyle, kısaca uzaysal enterpolasyon (hem verilerin istatistiksel dağılımı hem de uzaydaki konumları dikkate alınmaktadır) yapılmaktadır. Bu yöntemde uzaysal ilişkiler kullanılarak tahminlerdeki hata oranları ve aynı zamanda yaklaşım miktarlarını da test edilebilmektedir. Sistemik bir şekilde birçok defa enterpole edilmiş değerler kontür yüzeylerini oluşturarak tahmin haritaları oluşturulmaktadır [5].

### 2.3. Bölgesel Haritalar

Bölgesel haritaların oluşturulmasında derin kuyuları temsil eden Veri Seti I kullanılmıştır. Bu veri setinin kullanılmasının nedeni, derin kuyulardan elde edilen verilerden oluşan Veri Seti I'in sığ kuyu verilerini içeren Veri Seti II'ye oranla daha gerçekçi sonuçlar üretebileceğinin düşünülmesidir.

**Kuzey Batı Anadolu Bölgesi:** Kuzey Batı Anadolu Bölgesi'nin 500 m ve 1000 m derinlik haritaları için 79 adet sıcaklık değeri kullanılmıştır. Bu değerler çoğunlukla doğal gaz kuyuları olmak üzere bazı jeotermal kuyulardan elde edilen verileri de içermektedir.

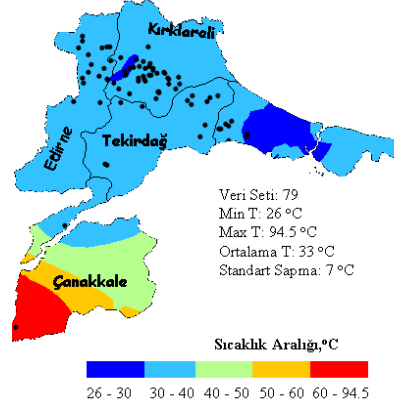
Bu veri setinde sadece bir adet uç nokta değeri vardır. Bu uç değer haritanın güney batı bölümünde yer alan Tuzla bölgesine ait sıcaklık değeri olup oldukça yüksektir. Veri setindeki diğer tüm veriler normal dağılım sergilemektedirler.

Ters ağırlıklı mesafe (IDW) ve kriging yöntemi kullanılarak oluşturulan 500 m Kuzey Batı Anadolu haritalarında seçilen parametreler Tablo 1'de gösterilmektedir.

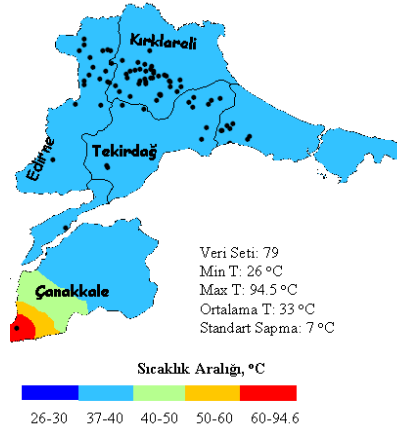
**Tablo 1.** IDW ve kriging yöntemi kullanılarak oluşturulan 500 m Kuzey Batı Anadolu Bölgesi sıcaklık dağılımı haritaları parametreleri [6].

idw	kriging		
Optimum değer: 1	Kriging Tipi: adi	Komşu Sayısı: 5	Ortalama standart: 5.24
Komşu sayısı: 16	Variogram Tipi: exponansiyel	En az eklenecek: 2	RMSS: 0.82
En az eklenecek: 10	Yön: 80	Bölme Tipi: 4 bölme	
Bölme tipi: 8 bölme	Kısmi Sill: 100	Büyük yarı eksen: 158795	
Büyük yarı eksen: 66214	Nugget: 10	Küçük yarı eksen: 158795	
Küçük yarı eksen: 66214	Lag Büyüklüğü: 16000	Anizotropi faktörü: 1	
Anizotropi faktörü: 1	Lag Sayısı: 10	RMS: 7.81	
RMS: 7.45			

Şekil 1’de kriging jeostatistiksel yöntemi ve Şekil 2’de idw yöntemi kullanılarak 500 m derinlik için Kuzey Batı Anadolu için oluşturulan sıcaklık dağılımı haritaları gösterilmektedir.



Şekil 1. Kuzey Batı Anadolu Bölgesi'nin 500 m Derinlikteki Sıcaklık Dağılımı Haritası (kriging yöntemi) [6].



Şekil 2. Kuzey Batı Anadolu Bölgesi'nin 500 m Derinlikteki Sıcaklık Dağılımı Haritası (idw yöntemi) [6].

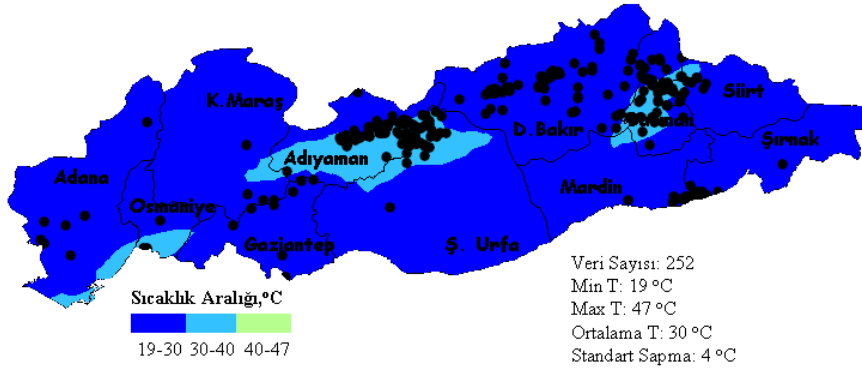
**Güney Doğu Anadolu Bölgesi:** Güney Doğu Anadolu Bölgesinin 500 m derinlik haritası için 252 adet sıcaklık değeri kullanılmıştır. Bu değerler çoğunlukla petrol ve doğal gaz kuyuları başta olmak üzere bazı jeotermal kuyulardan elde edilen verileri içermektedir.

Ters ağırlıklı mesafe (idw) ve kriging yöntemi kullanılarak oluşturulan 500 m Güney Doğu Anadolu haritalarında seçilen parametreler Tablo 2’de gösterilmektedir.

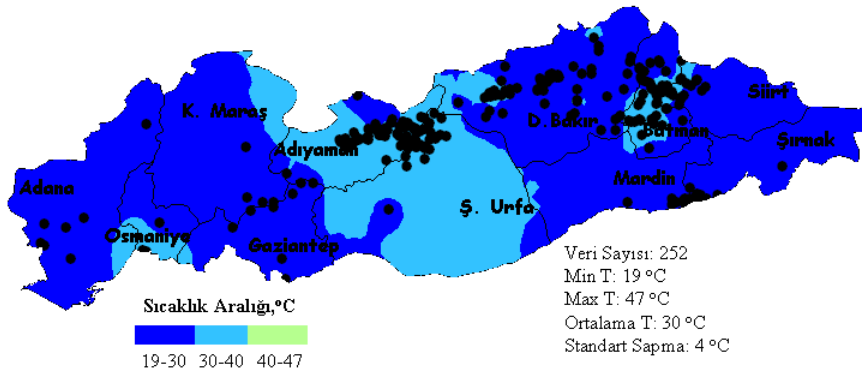
**Tablo 2.** Idw ve Kriging Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan 500 m Güney Doğu Anadolu Bölgesi Sıcaklık Dağılımı Haritaları Parametreleri [6].

idw	kriging		
Optimum değer: 1.97	Kriging Tipi: adi	Komşu Sayısı: 5	Ortalama standart: 3.62
Komşu sayısı: 16	Variogram Tipi: exponansiyel	En az eklenecek: 2	RMSS: 0.99
En az eklenecek: 10	Yön: 70	Bölme Tipi: 4 bölme	
Bölme tipi: 4 bölme	Kısmi Sill: 7.76	Büyük yarı eksen: 158795	
Büyük yarı eksen: 173606	Nugget: 10.04	Küçük yarı eksen: 46695.8	
Küçük yarı eksen: 173606	Lag Büyüklüğü:16000	Anizotropi faktörü: 3.4	
Anizotropi faktörü: 1.97	Lag Sayısı: 10	RMS: 3.60	

Şekil 3'de kriging jeoistatistiksel yöntemi ve Şekil 4'de idw yöntemi kullanılarak 500 m derinlik için Güney Doğu Anadolu için oluşturulan sıcaklık dağılımı haritaları gösterilmektedir.



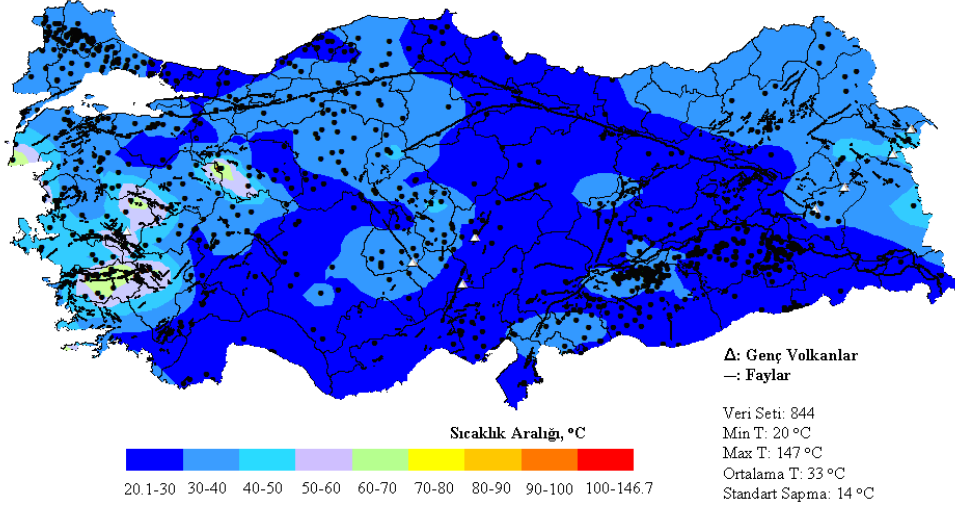
**Şekil 3.** Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nin 500 m Derinlikteki Sıcaklık Dağılımı Haritası (kriging yöntemi) [6].



**Şekil 4.** Güney Doğu Anadolu Bölgesi'nin 500 m Derinlikteki Sıcaklık Dağılımı Haritası (idw yöntemi) [6].

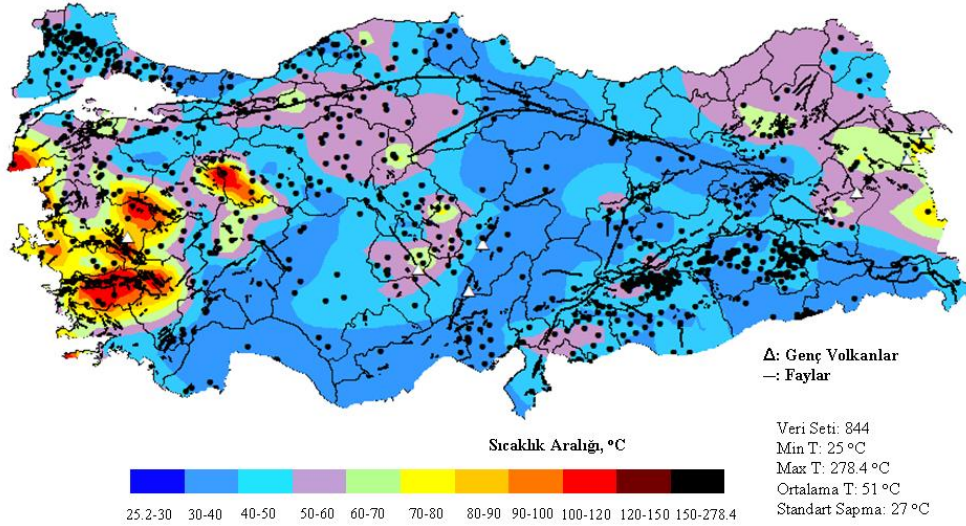
## 2.4. Genel Haritalar

Ülkenin tümü için genel bir değerlendirme yapabilmek ve jeotermal bölgelerin daha iyi yansımaları görebilmek amacıyla 2 veri seti (derin ve sığ kuyulara ait bilgiler) birleştirilerek toplamda 844 adet veri içeren yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Oluşturulan bu yeni veri seti kullanılarak tüm Türkiye için adi kriging jeostatistiksel yöntemiyle 500 m ve 1000 m derinlikler için sıcaklık (Şekil 5, Şekil 6) haritaları oluşturulmuştur.



Şekil 5. Türkiye'nin 500 m derinliğindeki sıcaklık dağılımı haritası [6].

Şekil 5 ve 6'ya dikkat edilecek olursa, Ege Bölgesi yüksek sıcaklıklı, Orta Anadolu ise göreceli olarak orta sıcaklıklı bölgeler olarak gözlenmektedir. Ayrıca bu haritadan volkanlardan oluşan Orta ve Doğu Anadolu'daki en son volkanik aktivite yerleri de resmedilmektedir.



Şekil 6. Türkiye'nin 1000 m derinliğindeki sıcaklık dağılımı haritası [6].

Farklı derinlikler için oluşturulan genel Türkiye haritaları incelendiğinde, Batı Anadolu'da Menderes ve Gediz Grabenleri ile Balıkesir, Afyon ve Kütahya civarı, Çanakkale'nin güneyinde Tuzla jeotermal alanı belirgin olarak ortaya çıkmıştır. İkincil olarak diğer göze çarpan bölgeler ise Orta Anadolu'da Ankara, Kırşehir, Yozgat ve Sivas, Güney Doğu Anadolu'da ise Adıyaman, Diyarbakır, Batman, Gaziantep ve Doğu Anadolu'da ise Ağrı civarıdır [6].

## SONUÇLAR

Mevcut veriler kullanılarak, Kuzey Batı Anadolu Bölgesi, Güney Doğu Anadolu Bölgesi ve tüm ülke genelinin 500 m ve 1000 m derinlikleri için deterministik ve jeostatistiksel yöntemler kullanılarak tahmini sıcaklık dağılımı haritaları oluşturulmuştur.

Deterministik yöntem olarak ters ağırlıklı mesafe (idw) yöntemi, jeostatistiksel yöntem olarak ise kriging yöntemi kullanılmıştır. İki farklı yöntem kullanılmasının nedeni bir yöntemle belirlenemeyen olası sıcak bölgenin diğer yöntemle belirlenmeye çalışılmasıdır.

Sığ ve derin veri setlerinin birleştirilmesiyle oluşturulan Türkiye'nin 500 m ve 1000 m derinliği sıcaklık dağılımı haritası (Şekil 5 ve 6) gerçekte uyumlu denebilecek jeotermal bölgeleri daha iyi yansıtan bir tablo çizmektedir. Her iki şekilde de, Ege Bölgesi yüksek sıcaklıklı, Orta Anadolu ise göreceli olarak orta sıcaklıklı bölgeler olarak gözlenmektedir. Ayrıca haritalardan volkanlardan oluşan Orta ve Doğu Anadolu'daki en son volkanik aktivite yerleri de resmedilmektedir. Dikkat edilecek olunursa derinlik arttıkça beklenildiği gibi tahmin edilen sıcaklık değerlerinde de artış gözlenmiştir.

Bölgesel haritalar değerlendirildiğinde her iki bölgenin de petrol ve doğal gaz kuyuları bakımından zengin ve bu nedenle veri sayısının yüksek olduğu çökelti havzaları olduğu söylenebilmektedir. Bu haritalardaki bir başka gösterge ise, Anadolu'nun güney doğu kısmında yarı termal oluşumlar olarak adlandırılabilen bazı sıcak yerler görünürken Kuzey Batı Anadolu Bölgesi'nde böylesi bir durumla karşılaşmamaktadır. Sadece Kuzey Batı Anadolu Bölgesi'nin güney batısında kalan ve uç nokta olarak nitelendirilebilen hidrotermal kaynakla ilişkili sıcak bölge mevcuttur [6].

## KAYNAKLAR

- [1] İLKİŞİK, O.M., "Silica Heat Flow Estimates and Lithospheric Temperature in Anatolia", Proceedings, XI. Congress of World Hydrothermal Organization, 1992.
- [2] KORKMAZ BAŞEL, E.D., ÇAKIN, K., SATMAN, A., "Türkiye'nin Yeraltı Sıcaklık Haritası ve Tahmini Isı İçeriği", VII.Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, 2008.
- [3] MIHÇAKAN, M., ONUR, M., ERÇELEBİ, S.G., OKAY, A., YILMAZER, M., "Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımının Derin Kuyu Sıcaklıkları ve Variaogram Analizi Kullanılarak Haritalanması", Tübitak, Proje No: YDABÇAG-100Y040, Kasım, İstanbul, 2006.
- [4] İLKİŞİK, O. M., Kişisel görüşme, İstanbul, 2008.
- [5] ESRI Training and Education ArcGis 9.2, 2004.
- [6] KORKMAZ BAŞEL, E.D., "Türkiye Jeotermal Enerji Potansiyelinin Araştırılması", Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.

## ÖZGEÇMİŞ

### E. Didem KORKMAZ BAŞEL

1977 yılı İstanbul doğumludur. Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği'nde lisans derecesini 2001 yılında, yüksek lisans derecesini 2004 yılında ve doktora derecesini 2010 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi'nden (İTÜ) almıştır. 2005 yılında araştırma görevlisi olarak göreve başladığı İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü'nde çalışmalarına devam etmektedir. Araştırma konuları arasına jeotermal enerji, rezervuar mühendisliği, yeraltı doğal gaz depolaması, alışlagelmiş olmayan doğal gaz girmektedir.

**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 ünvanlarını 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.

**Umran SERPEN**

1945 yılı İzmir doğumludur. 1967 yılında İTÜ Petrol Müh. Böl.'den mezun olduktan sonra 1974 yılına kadar TPAO ve MTA'da petrol ve jeotermal sahalarında çalışmıştır. 1974 yılından 1987 yılına kadar ELECTROCONSULT adlı bir İtalyan mühendislik ve danışmanlık şirketinde El Salvador, Guatemala, Meksika, Nikaragua, Kosta Rika, Arjantin, Şili, Etiyopya, Kenya, Filipinler, Rusya ve İtalya gibi ülkelerin çeşitli jeotermal projelerin çeşitli aşamalarında danışmanlık yapmıştır. 1987 yılından 2010 yılına kadar İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Müh. Böl.'de öğretim üyesi olarak çalışmış ve emekli olmuştur. Halen NTU Jeotermal Danışmanlık Ltd. şirketinde çalışmaktadır.