

TÜRKİYE’NİN YERALTI SICAKLIK HARİTASI ve TAHMİNİ ISI İÇERİĞİ

**E. Didem KORKMAZ BAŞEL, Kağan ÇAKIN,
Abdurrahman SATMAN**

**İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak-İstanbul
korkmazem@itu.edu.tr, mdsatman@itu.edu.tr**

Özet

Türkiye'nin yeraltı sıcaklıkları, yeraltı sıcaklık gradyanı (jeotermal gradyan) dağılımları kullanılarak jeoistatistik yöntemlerle Arc Gıs programı kullanılarak haritalanmıştır. Yeraltı sıcaklık gradyanları iki şekilde elde edilmiştir.

1. Petrol, doğal gaz veya jeotermal enerji arama veya üretimi için delinmiş toplam 543 adet kuyuda, 1000 m ve daha derinlerde ölçülmüş yeraltı sıcaklıkları ile bu kuyuların bulunduğu noktalar için ortalama bir yüzey sıcaklık değeri alınarak hesaplanmıştır.

2. Sığ kuyuların jeokimyasal analizi sonucunda ortaya konmuş, daha çok 100-150 m derinlikteki kuyulardan elde edilmiş gradyan değerleri kullanılarak hesaplanmıştır.

Hesaplanmış yeraltı sıcaklık değerleri variogram modelleri oluşturulduktan sonra verinin olmadığı noktalar için tahmin, çeşitli jeoistatistiksel (IDW, krigging) yöntemler kullanılarak yapılmıştır. Böylece yeraltı sıcaklık dağılımındaki hatalar en olası en asgari düzeye indirgenmiştir. İki ayrı veri seti çapraz doğrulama tekniği uygulanarak sınanmış ve gerçeğe en yakın harita oluşturulmuştur.

Sonuç olarak; Türkiye için 500 m derinlik yeraltı sıcaklık haritası bu çalışmada sunulmaktadır. Ek olarak 0-3 km yeraltının içerdiği jeotermal ısı kaynağı sonuçları da sunulmaktadır. Her iki çalışma da Türkiye’de bu konularda yapılmış çalışmalar olarak ilktir ve orijinal özelliktedir.

Anahtar Kelimeler: *Türkiye, sıcaklık, yeraltı, jeotermal, gradyan, Ters Ağırlıklı Mesafe, krigging.*

Abstract

Subsurface temperature and geothermal gradient distributions of Turkey are mapped using Arc GIS software applying geostatistical methods. Subsurface temperature gradients are obtained in two ways:

1. Measured at depths at or greater than 1000 m in a total of 543 wells that were drilled for exploration or production purposes of oil, natural gas or geothermal energy and by taking the average surface temperatures at well locations.

2. Calculated gradient values from the results of geochemical analysis of shallow wells (100-150 m depths).

After establishing variogram models by using calculated subsurface temperature values, predictions are made using some geostatistical (IDW, krigging) methods. The error involved in subsurface temperature distributions is reduced to a possible lowest level. Cross validation technique is applied in both data and the most proper maps are obtained.

Finally, a 500 m-depth geothermal temperature distribution map is presented. In addition the results of geothermal heat content study is also presented.

VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES'2008
2008, İstanbul**17-19 Aralık****Key Words:** *Türkiye, temperature, geothermal, gradient, IDW, krigging.***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, elde edilen verilerin nitelik, nicelik ve güvenilirliğine bağlıdır. Sıcaklık dağılımı ve ısı içeriği tahmini işlemlerinde kullanılan gradyan değerleri oluşturulacak haritaları doğrudan etkilediğinden oldukça önemlidir.

2. YERALTI SICAKLIK HARİTASININ ArcGIS YAZILIMI KULLANILARAK OLUŞTURULMASI**2.1. Kullanılan Veri Setleri ve Analizi**

Bu çalışmada iki çeşit veri seti kullanılmaktadır. Veri Seti I olarak adlandırılan Mihçakan vd., 2006 çalışmasından yararlanılarak oluşturulan settir. Daha çok Trakya ve Güneydoğu Anadolu'ya ait -1000 m ve daha derinden yapılan sondajlardan elde edilen sıcaklık gradyanlarının enterpolasyonu ile elde edilen sıcaklık değerleridir. Bu setteki toplam veri sayısı 241 adettir. Veriler genellikle iki bölgede yığılma gösterdiklerinden heterojen bir dağılım seğıledikleri söylenebilir. Ancak verilerin 1000 m ve daha derinlerden oluşturulduğu düşünöldüğünde elde edilecek sıcaklıkların daha gerçekçi bir sonucu temsil edeceği kesindir. Veri Seti II olarak adlandırılan set ise İlkışık vd., 2005 çalışmasından derlenmiş 100-150 m derinlikteki sığ kuyuların jeokimyasal analizi sırasında elde edilen gradyan değerlerinin 500 m derinliğe enterpolasyonunun yapılması ile bulunan değerleri içermektedir. Veri Seti I'e göre göreceli olarak daha homojen olup, bu setteki toplam veri sayısı 543 adettir. Bu veri setinde daha fazla veri olmasına rağmen, elde edilen verilerin sığ kuyulardan gelmesi nedeni ile elde edilecek sıcaklıkların gerçeğı tam yansıtmadığı söylenebilir. Bu setin daha fazla sayıda veriye sahip olması genel bir fikir vermekle birlikte gerçek sonuca etki edecek yüzey ve iklimsel etkilerden etkilenmiş olabilmesi ve veri kayıtları sırasında yapılan ölçüm/kayıt hatalarının Veri Seti I'e göre daha fazla olabileceğı unutulmamalıdır.

Veri setleri kullanılarak hesaplanmış yeraltı sıcaklık değerleri ArcGIS 9.2 Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımının jeostatistiksel analiz modöülü 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 en olası en asgari düzeye indirgenmiştir. Ayrıca iki ayrı veri seti çapraz doğrulama tekniği uygulanarak sınanmış ve gerçeğe en yakın harita oluşturulmuştur.

2.2. Uygulanan Yöntemler

2.2.1. Ters Ağırlıklı Mesafe (IDW)Yöntemi

Bilinen örnek noktalara ait değerlerin yardımıyla örneklenmeyen noktalara ait hücre değerlerinin belirlenmesi için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir. İlgili hücreden uzaklaşan çeşitli noktalar gözetilerek (değerlendirilmeye alınarak) ve mesafedeki artışa bağlı olarak hücre değeri hesap edilir. Tahmin edilen değerler, komşu civardaki noktaların uzaklığı ve büyüklüğünün bir fonksiyonu olup, mesafenin artması ile tahmini yapılacak hücre üzerindeki önem ve etki azalır. Bu yöntemde verilerin genel dağılımı, eğilimi, anizotropi ve kümelenmesi gibi özellikler incelenmemektedir. Verilerin sadece yerel olarak değerlendirilip, karşılaştırılması yapılmaktadır. Deterministik bir yöntemdir.

2.2.2. Krigging Yöntemi

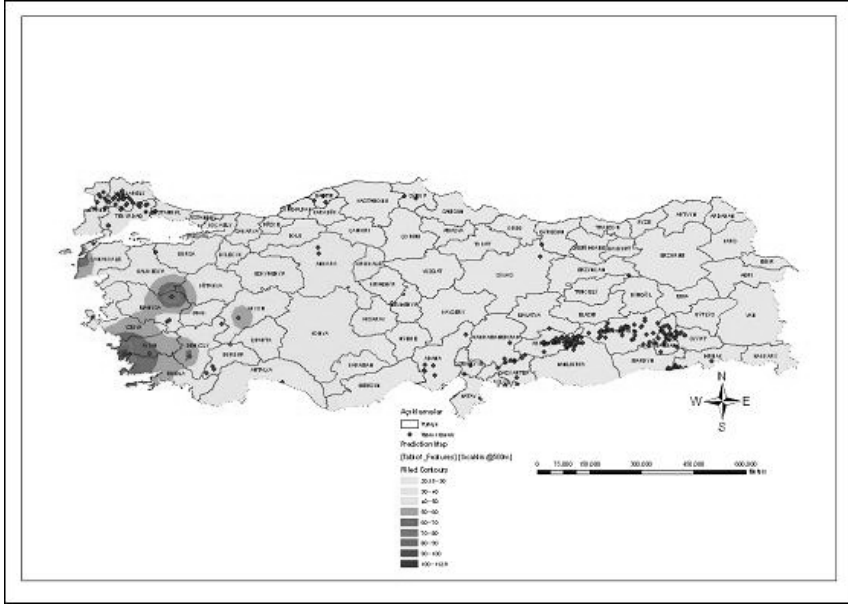
Çevreleyen ölçülmüş değerlerden ağırlıkları oranında yararlanarak bilinmeyen noktalara ait ölçümleri kestirerek hesaplamak için kullanılan bir enterpolasyon tekniğidir. Ağırlıklar, ölçülen noktalar ile kestirilecek (tahmini yapılacak) olan noktalar arasındaki mesafeye dayalı olarak belirlenir ve tüm alan için bir ayarlama yapılır. Noktalar arasındaki uzaklıklar ve yönlerin oluşturduğu uzaysal ilişki dikkate alınarak veri yüzeyindeki değişimine yönelik değerlendirmeler yapılmaktadır. Bu yöntemde hem doğrudan ölçüm değerleri hem de istatistiksel yöntemlerden faydalanılarak otokorelasyon oluşturularak bunlara yönelik tahminler yapılmaktadır. Bir başka ifadeyle, kısaca uzaysal enterpolasyon yapılmaktadır. Bu yöntemde uzaysal ilişkiler kullanılarak tahminlerdeki hata oranları ve aynı zamanda yaklaşım miktarlarını da test edilebilmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Ters Ağırlıklı Mesafe (IDW) Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan Sıcaklık Dağılımı Haritaları

Her iki veri seti, ters ağırlıklı mesafe ve krigging enterpolasyonları uygulanmadan önce mekansal modellenip analiz edilmiştir. 500 m derinlik için Veri Seti I kullanılarak oluşturulan

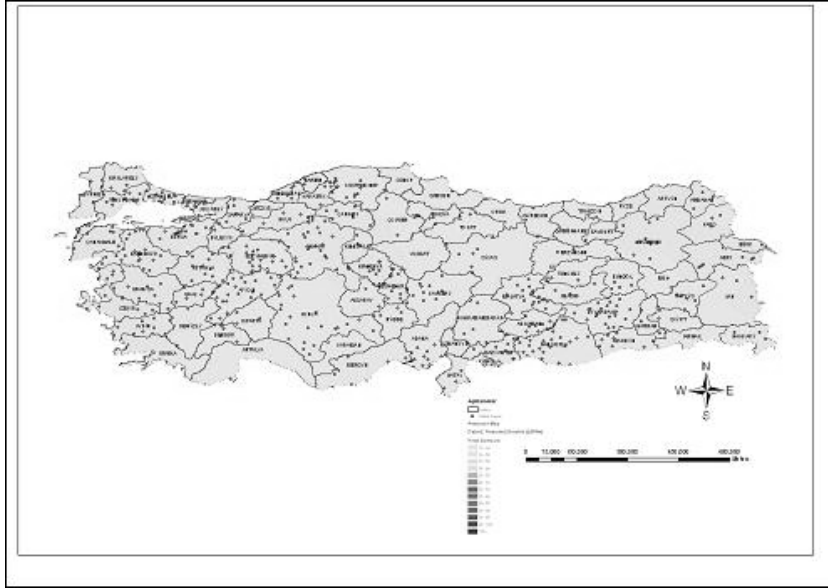
IDW haritası Şekil 1'de gösterilmektedir. Oluşturulan IDW sıcaklık tahmin haritasında görüldüğü gibi yüksek sıcaklıklara sahip jeotermal saha sayısı az olmakla birlikte, bu sahalardaki noktalar diğer yerlere göre daha baskın olup bölgeyi etkisi altına almıştır. Veri Seti II kullanılarak oluşturulan IDW sıcaklık tahmin haritası ise Şekil 2'de gösterilmektedir. Bu harita jeokimyasal analizler sonucu elde edilen sığ kuyulara ait sıcaklık verilerini içermektedir. Bu veri setindeki veri sayısının oldukça fazla olmasına rağmen göreceli olan yüksek sıcaklık değerleri genişlemeyip küçük alanlarla sınırlı kalmıştır.



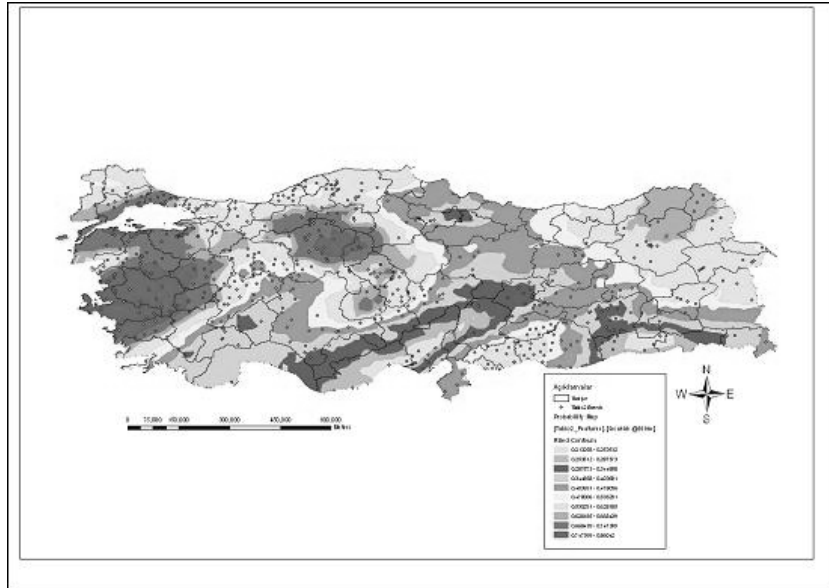
Şekil 1. Veri Seti I'in Ters Ağırlıklı Mesafe (IDW)Yöntemi Uygulanarak 500 m Derinlik İçin Oluşturulan Sıcaklık Dağılımı Haritası.

3.2. Krigging Yöntemi Kullanılarak Oluşturulan Sıcaklık Dağılımı Haritaları

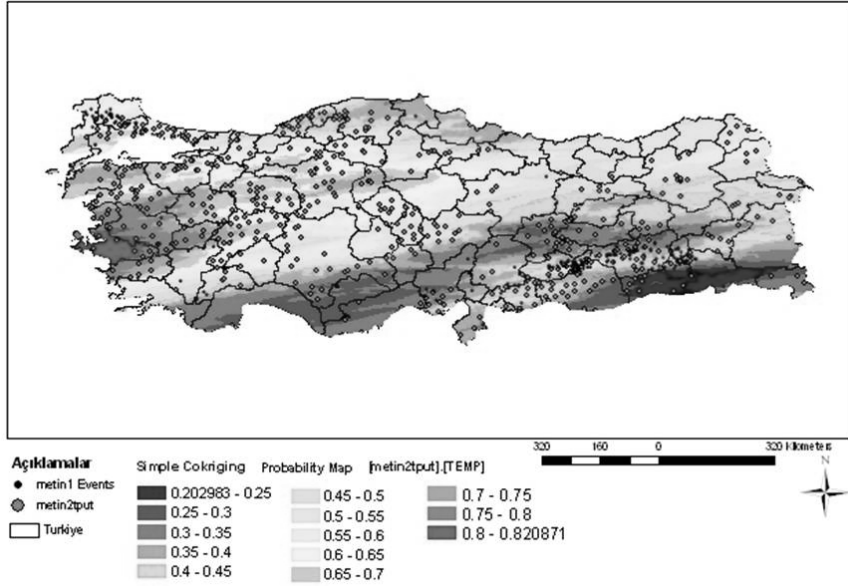
Veri setleri, krigging enterpolasyonundan önce yine aynı modül içinde yer alan ESDA (Exploratory Spatial Data Analysis) araçları ile incelenmiş ve çeşitli krigging yöntemleri veri setlerine uygulanarak sıcaklık dağılımı haritaları oluşturulmuştur. Ancak burada fazla yer kaplamaması için oluşturulan tüm haritalar yerine fikir vermesi açısından bazıları sunulmaktadır. Veri Seti II kullanılarak oluşturulan krigging haritası Şekil 3'de gösterilmektedir. Her iki veri setinin de aynı haritada kullanılıp oluşturulan krigging olasılık haritası ise Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu yöntemde tüm değişkenler arasındaki çapraz korelasyon ve otokorelasyon bilgileri kullanılarak tahmini en uygun sıcaklık dağılımı haritası oluşturulmuştur.



Şekil.2. Veri Seti II'nin Ters Ağırlıklı Mesafe (IDW)Yöntemi Uygulanarak 500 m Derinlik İçin Oluşturulan Sıcaklık Dağılımı Haritası.



Şekil 3. Veri Seti II'nin Kriging Yöntemi Uygulanarak 500 m Derinlik İçin Oluşturulan Sıcaklık Dağılımı Haritası.



Şekil 4. Veri Seti II ve I'in "Simple Cokrigging" Olasılık Yöntemi Uygulanarak Oluşturulan 500 m Derinlikteki Sıcaklık Dağılımı Haritası.

4. ISI İÇERİĞİ

Türkiye’de yeraltında depolanmış olan ısı enerjisi yer altı sıcaklık gradyanı dağılımına dayalı harita yardımı ile tahmin edilmektedir. Sıcaklık gradyanı dağılımı haritası kullanılarak ilk 3 km içersindeki hesaplanan depolanmış ısılar dört ayrı sıcaklık aralığı için tanımlanarak sınıflanmaktadır.

Türkiye’nin jeotermal potansiyeli hakkında literatüde yer alan ilk çalışma (EPRI, 1978) tarafından yapılan çalışmadır. EPRI çalışmasında aşağıda sıralanan varsayımlara dayanarak tüm ülkeler ve dünya için 0-3 km derinlik aralığında jeotermal potansiyel tahmini yapılmıştır.

1- Jeotermal kuşak dışında kalan tüm alanlarda jeotermal gradyan $25^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ’dir. 2- Jeotermal kuşakta yer alan alanlarda jeotermal gradyan normalden yüksektir. X olarak herhangi bir ülkedeki jeotermal kuşakta olan alan oransal olarak o ülkenin alanına (A) göre alınmaktadır ($0 \leq X \leq 1$). 3- Bir ülkenin jeotermal kuşakta olan alanının (XA), %90’ı ($0.90XA$) $40^{\circ}\text{C}/\text{km}$ ve %10’u ($0.1XA$) $80^{\circ}\text{C}/\text{km}$ jeotermal gradyana sahiptir. 4-Yeryüzü sıcaklığı 15°C ’tır.

5- Bir ülkenin jeotermal kaynağı, 3 km derinliğe kadar olan kayaç ve akışkanların 15°C referans sıcaklığında içerdiği ısıdır. 6- Yeraltında sıcaklığa bağlı olarak dört grup

oluşturulmuştur. Grup 1: $T < 100$ °C, Grup 2: $100 < T < 150$ °C, Grup 3: $150 < T < 250$ °C, Grup 4: $T > 250$ °C. 7- Kayacın hacimsel ısı kapasitesi sıcaklığa bağlı olmakla beraber, bütün alanlar için $2.5 \text{ J}/(\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C})$ değeri ortalama değer olarak varsayılmaktadır. 8- Herhangi bir sıcaklık grubu için kaynağın ısı $Q = ADC_v(T-15)$, J denkleminde hesaplanmaktadır.

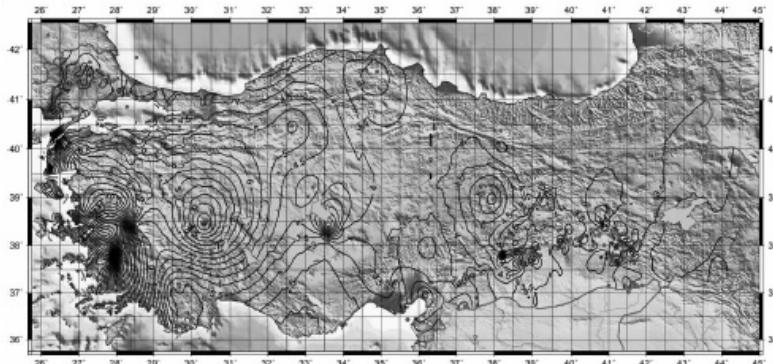
Burada: A = kaynağın alanı (km^2), D = kaynağın derinlik aralığı (km), C_v = hacimsel ısı kapasitesi ($\text{J}/\text{cm}^3 \cdot ^\circ\text{C}$), T = kaynağın ortalama sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) olarak ifade edilmektedir.

EPRI yaklaşımı Türkiye'ye uygulandığında (A) olarak $7.8 \times 10^5 \text{ km}^2$, jeotermal kuşak oranı (X) olarak 0.50 varsayılmaktadır. Tablo 1'de EPRI'nin Türkiye, ABD ve tüm Dünya için hesapladığı jeotermal kaynak sonuçları aşağıda sunulmaktadır.

Tablo 1. Hesaplanan Jeotermal Kaynak, J

Ülke Sıcaklık, °C	Alan, km^2	X	Grup 1 $T < 100$	Grup 2 $100 < T < 150$	Grup 3 $150 < T < 250$	Grup 4 $T > 250$	Toplam
Türkiye	7.8×10^5	0.5	1.9×10^{23}	8.4×10^{22}	2.3×10^{22}	1.4×10^{21}	3.1×10^{23}
ABD	9.4×10^6	0.25	4.1×10^{24}	5×10^{23}	1.3×10^{23}	8.4×10^{21}	4.6×10^{24}
Dünya			3.8×10^{25}	3.8×10^{24}	9.6×10^{23}	5×10^{22}	4.3×10^{25}
Türkiye/Dünya Oranı, %			0.5	2.2	2.4	2.8	0.7

Burada verilen jeotermal kaynak değerleri yeraltında belirli aralıktaki ısı içeriğini vermektedir. Isı içeriği, kayacın ve hidrotermal sistemlerin ısı içeriği toplamını temsil etmektedir. Türkiye'nin 3 km derinlik içinde jeotermal potansiyeli ile ilgili çalışmalar yukarıda verilen EPRI çalışmasından sonra yapılan Serpen (1996) çalışması ve Serpen-Mihçakan (1999), Satman (2007) ve burada rapor edilen çalışma sayılabilir. Burada rapor edilen çalışmada, Mihçakan vd., 2006 tarafından geliştirilmiş olan Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı haritası (Şekil 5) kullanılarak Türkiye jeotermal potansiyeli çalışması 3 km derinlik için gerçekleştirilmiş ve elde edilen sonuç Tablo 2'de sunulmaktadır.



Şekil 5. Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı haritası (Mihçakan vd., 2006).

Şekil 5'deki Türkiye genelindeki gradyan kontürlerin alanları planimetre (alan ölçer) ile tek tek belirlenmiş ve $Q = A \times D \times C_v \times (T - 15)$, J denklemi kullanılarak 3 km derinlik için sıcaklık gruplarına göre Türkiye'nin jeotermal kaynak potansiyeli tahmin edilmeye çalışılmıştır. Derinliğin 3 km seçilmesinin nedeni, bu sınır derinlik değerinden daha az derinliklerde yüksek sıcaklıklara nadiren rastlanmasıdır. Sonuçlar karşılaştırılmalı olarak Tablo 2'de verilmektedir. Sonuçların birbirlerine yakın olduğu gözlenmektedir. Sonuç olarak Türkiye için 3 km derinlik aralığındaki jeotermal kaynak potansiyeli ($2.98 \pm 0.98 \times 10^{23}$, J) arasında değişmektedir.

Tablo 2. Türkiye'nin Jeotermal Potansiyeli, J

Sıcaklık, °C	Grup 1 T<100	Grup 2 100<T<150	Grup 3 150<T<250	Grup 4 T>250	Toplam
EPRI, 1978	1.9×10^{23}	8.4×10^{22}	2.3×10^{22}	1.4×10^{21}	3.1×10^{23}
Serpen, 1996	1.6×10^{23}	9.3×10^{22}	3.2×10^{22}	-	2.9×10^{23}
Serpen-Mihçakan, 1999	7.1×10^{22} (T<100)	1.1×10^{23} (100<T<180)	1.5×10^{22} (180<T<250)	-	2.0×10^{23}
Satman, 2007	1.8×10^{23}	1.2×10^{23}	6.3×10^{22}	6.9×10^{20}	3.7×10^{23}
Bu çalışma	1.7×10^{23}	1.3×10^{23}	6.4×10^{22}	3.02×10^{22}	3.96×10^{23}

4. SONUÇ

Türkiye'nin 500 m derinlik yeraltı sıcaklık dağılımı haritası jeostatistik yöntemler kullanılarak oluşturulmuştur.

Türkiye'nin yeraltında ilk 3 km derinlik içindeki jeotermal kaynak içeriği (potansiyel), dört ayrı sıcaklık aralığı için tanımlanarak toplamda $2.98 \pm 0.98 \times 10^{23}$ J olarak tahmin edilmiştir.

5. KAYNAKLAR

1. Mihçakan, M. ve diğerleri (2006). "Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımının Derin Kuyu Sıcaklıkları ve Variaogram Analizi Kullanılarak Haritalanması", Tübitak, Proje No: YDABÇAG-100Y040, Kasım.
2. İlkışık, O. M. ve diğerleri, (2005). Tübitak Raporu.
3. ESRI Training and Education ArcGIS 9.2., (2004).
4. Epri, (1978). "Geothermal Energy Prospect for the Next 50 Years", EPRI ER-611-SR, Palo Alto, Ca., Febr.
5. Serpen, U., (1996). "Türkiye'nin Jeotermal Kaynağı" yayınlanmamış çalışma, İstanbul.
6. Satman, A., (2007). "Türkiye'nin Jeotermal Enerji Potansiyeli", 8.Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi-Teskon, 25-28 Ekim.

7. İlkışık, O.M., (1992). "Silica Heat Flow Estimates and Lithospheric Temperature in Anatolia", Proceedings, XI. Congress of World Hydrothermal Organization, İstanbul, Mayıs 13-18, pp. 92-104.
8. Mihçakan, M., Öcal, M., (1998). "A Survey on Geothermal Gradient Distribution in Turkey", Bildiriler Kitabı, 12. Uluslararası Petrol Kong. ve Sergisi, Ankara, Ekim 12-15.
9. Massachusetts Institute of Technology (2006). "The Future of Geothermal Energy (Impact of Enhanced Geothermal Systems (EGS) on the United States in the 21st Century)" . (<http://geothermal.inel.gov>).
10. Serpen, U., Mihçakan, M., (1999). "Heat Flow and Related Geothermal Potential of Turkey", Geothermal Resources Council Transactions, Vol.23, Oct.17-20.
11. Tezcan, A.K., (1979). "Geothermal Studies, Their Present Status and Contribution to Heat Flow Contouring in Turkey", V. Cermak ve L. Rybach (Editor), Terrestrial Heat Flow in Europe, Springer-Verlag, Berlin.

