

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**TÜRKİYE YERALTI SICAKLIK GRADYANI DAĞILIMININ DERİN KUYU
SICAKLIK VERİLERİ VE VARIÖGRAM ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh. Zahid UZUNLAR

(505031508)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 8 Mayıs 2006

Tezin Savunulduğu Tarih : 14 Haziran 2006

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr. İ. Metin MIHÇAKAN

Diğer Jüri Üyeleri : Doç.Dr. Gülçin ÖZURLAN

Yrd.Doç.Dr. Gürşat ALTUN

HAZİRAN 2006

ÖNSÖZ

Bir bölgede veya bir ülkede yeraltında sıcaklığın alansal olarak veya derinlemesine nasıl değiştiğinin bilinmesinin önemi özellikle son yarım yüzyıldan beri farkedilmiş ve gelişen teknoloji ile birlikte bu konuda yapılan bilimsel ve uygulamalı araştırmaların sayısı gittikçe artmıştır. Özellikle son çeyrek yüzyılda, çevresel etkileri en az olarak nitelenen enerji kaynaklarından birisi olan jeotermal enerjiye verilen önem ve diğer yeraltı enerji ve hammadde kaynaklarının yerin daha derinlerinde aranması, bulunması ve üretimi için teknoloji geliştirme çabaları, tüm bunları doğrudan etkileyen yeraltı sıcaklık ve sıcaklık gradyanı değişimlerinin bilinmesi ve/veya kestirimine yönelik çalışmaların artmasına yol açmıştır. Ayrıca son çeyrek yüzyılda, dünyanın oluşumundan bu yana geirdiği iklimsel değişimlerin anlaşılmasına çaba gösteren “paleoklimatoloji” bilimi, geçmişin iklimsel parmak izlerini yeraltı sıcaklık ve sıcaklık gradyanı dağılımlarında aramaktadır.

Türkiye’de yeraltı sıcaklık ve sıcaklık gradyanı dağılımlarının bilinmesi ve kestirimi ile bunun teknolojik ve ekonomik gelişmeye olan yararları 1970’li yıllarda ayırt edilmeye başlanmış, bu konuda yapılan çalışmalar az da olsa giderek artmıştır. Özellikle Türkiye’nin dikkate değer jeotermal enerji potansiyeline sahip olduğunun anlaşılmasından sonra, yeraltındaki sıcaklık ve sıcaklık gradyanı dağılımlarının anlaşılmasına olan ilgi daha da artmaktadır.

Burada sunulan Yüksek Lisans tez çalışması ile Türkiye boyunca yüzey sıcaklığı ve yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı derin kuyu sıcaklık ölçümlerinden yararlanılarak, ilk kez doğrudan ve jeostatistik yöntemlerin kullanımı ile önyargısız bir biçimde ve eldeki sınırlı veriler kapsamında belirlenmiştir. Elde edilen sonuçların bu konuda veri ve bilgiye gerek duyan tüm kesimlere yarar sağlaması çalışmanın asıl amacıdır.

Bu Yüksek Lisans tez çalışmasının gerektiği sonuçlara ulaşabilmesi için sağladığı derin kuyu sıcaklık verilerinden dolayı TPAO Genel Müdürlüğü’ne teşekkür ederim. Jeostatistiksel hesaplamalarda verdiği bilgi ve deneyim desteği için Yrd.Doç.Dr. Ö. İnanç Türeyen’e, sağladığı jeotermal kuyu sıcaklık verileri ile yapıcı görüşlerinden dolayı Dr. Umran Serpen’e, ve bu çalışmanın gerçekleştirilmesi ve hazırlanmasında emeği geçen danışmanım Yrd.Doç.Dr. İ. Metin Mihçakan’a candan teşekkür ederim.

Desteğini her zaman yanımda hissettiğim ailem ise teşekkürün en yücesine lâyıktır.

Haziran 2006

Zahid Uzunlar

İÇİNDEKİLER

	<u>sayfa no</u>
ÖNSÖZ	ii
KISALTMALAR	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
SEMBOL LİSTESİ	x
ÖZET	xii
SUMMARY	xiii
1. GİRİŞ	1
2. TARİHSEL GELİŞİM	4
3. YERALTI SICAKLIK GRADYANI	11
4. JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER	16
4.1. Bazı Temel İstatistiksel Tanımlar	17
4.1.1. Ortalama	17
4.1.2. Varyans	18
4.1.3. Standart Sapma	18
4.2. Variogram	18
4.2.1. Deneysel Variogramın Hesaplanması	20
4.2.2. Variogram Modelleri	21
4.2.2.1. Eşikli Küresel İzotropik Model	22
4.2.2.2. Eşikli Doğrusal (Lineer) İzotropik Model	24
4.2.2.3. Eşiksiz Üssel (Exponansiyel) İzotropik Model	24
4.2.2.4. Eşiksiz Doğrusal (Lineer) İzotropik Model	25
4.2.2.5. Eşiksiz Gauss İzotropik Modeli	26
4.2.2.6. Eşikli Küresel Anizotropik Model	27
4.2.2.7. Eşikli Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model	28
4.2.2.8. Eşiksiz Üssel (Exponansiyel) Anizotropik Model	29
4.2.2.9. Eşiksiz Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model	30
4.2.2.10. Eşiksiz Gauss Anizotropik Modeli	31

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>sayfa no</u>
4.3. Kriging	32
4.3.1. Noktasal Kriging	33
4.3.2. Blok Kriging	33
5. GS⁺ YAZILIMI	35
5.1. GS⁺ Programı Arayüzleri	35
5.1.1. Çalışma Sayfası Arayüzü	35
5.1.2. İstatistiksel Tanımlama Arayüzü	37
5.1.3. Veri Koordinatları Grafiği Arayüzü	37
5.1.4. Varyans Analizi Arayüzü	37
5.1.5. Kriging İnterpolasyonu Arayüzü	40
5.1.6. Çıktı Sayfası Arayüzü	43
5.1.7. Haritalama Arayüzü	45
6. TÜRKİYE YÜZEY SICAKLIK DAĞILIMI	46
7. TÜRKİYE YERALTI SICAKLIK GRADYANI DAĞILIMI	54
8. SONUÇLAR	65
KAYNAKLAR	67
EK-A	
Tablo A.1 : Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri	69
Tablo A.2 : Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Saha Kuyularının Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri	77
ÖZGEÇMİŞ	80

KISALTMALAR

DAF	: Doğu Anadolu Fay hattı
DMİ	: Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü
GMT	: Generic Mapping Tools (bilgisayar yazılımı)
GRL	: ground level (denizden yükseklik - rakım)
GS ⁺	: Geoistatistics for the Environmental Sciences (bilgisayar yazılımı)
g _T	: yeraltı sıcaklık gradyanı (jeotermal gradyan)
B/D	: belirli değil
KAF	: Kuzey Anadolu Fay hattı
m	: metre
RSS	: indirgenmiş kareler toplamı (reduced sum of squares)
TPAO	: Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı
VB	: Visual Basic

TABLO LİSTESİ

	<u>sayfa no</u>
Tablo A.1 : Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri	69
Tablo A.2 : Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Saha Kuyularının Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri	77

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>sayfa no</u>
Şekil 2.1. : Tezcan’a Göre Türkiye’de “-1000 metre” Yeraltı Sıcaklık Dağılımı.[3]	6
Şekil 2.2. : Tezcan’a Göre Türkiye’de “-1 metre” Yüzey Sıcaklık Dağılımı.[3]	7
Şekil 2.3. : Mihçakan ve Öcal’a Göre Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı, (Kontur Aralığı 0.5°F/100m).[5]	9
Şekil 2.4. : Taşçı’ya Göre Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı, (Kontur Aralığı 0.5°C/100m).[6]	10
Şekil 3.1. : Farklı Kayaç Tiplerinin (A, B, C, D) Isıl İletkenliklerinin ve Bu Kayaç Tipleri Boyunca Jeotermal Gradyanın Derinliğe Bağlı Değişiminin Şematik Bir Gösterimi	12
Şekil 4.1. : Deneysel Bir Variogram Grafiği	19
Şekil 4.2. : Eşikli Küresel İzotropik Model Variogram Grafiği	22
Şekil 4.3. : Üç Örnekli Variogram Uygulaması	23
Şekil 4.4. : Eşikli Doğrusal (Lineer) İzotropik Model Variogram Grafiği	24
Şekil 4.5. : Eşiksiz Ekspansiyel (Üssel) İzotropik Model Variogram Grafiği	25
Şekil 4.6. : Eşiksiz Doğrusal (Lineer) İzotropik Model Variogram Grafiği	26
Şekil 4.7. : Eşiksiz Gauss İzotropik Modeli Variogram Grafiği	27
Şekil 4.8. : Eşikli Küresel Anizotropik Model Variogram Grafiği	28
Şekil 4.9. : Eşikli Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model Variogram Grafiği	29
Şekil 4.10. : Eşiksiz Üssel (Ekspansiyel) Anizotropik Model Variogram Grafiği	30
Şekil 4.11. : Eşiksiz Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model Variogram Grafiği	31
Şekil 4.12. : Eşiksiz Gauss Anizotropik Model Variogram Grafiği	32
Şekil 5.1. : GS ⁺ Programı Veri Sayfası Arayüzü	36
Şekil 5.2. : GS ⁺ Programı İstatistiksel Tanımlama Arayüzü	36
Şekil 5.3. : GS ⁺ Programı Veri Noktaları Grafiği Arayüzü	38

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

	<u>sayfa no</u>
Şekil 5.4. : GS ⁺ Programı Varyans Değerleri Arayüzünde Sınıf Değerleri	38
Şekil 5.5. : GS ⁺ Programı İzotropik ve Anizotropik Variogram Grafikleri Arayüzü	39
Şekil 5.6. : GS ⁺ Programı İzotropik Variogram Grafiği Arayüzü	40
Şekil 5.7. : GS ⁺ Programı İzotropik Variogram Modeli Seçme Arayüzü	40
Şekil 5.8. : GS ⁺ Programı Kriging Parametreleri Arayüzü	41
Şekil 5.9. : GS ⁺ Programı Koordinat Tanımlama Arayüzü	42
Şekil 5.10. : GS ⁺ Programı Poligon Tanımlama Arayüzü	42
Şekil 5.11. : GS ⁺ Programı Poligon Haritası Arayüzü	43
Şekil 5.12. : GS ⁺ Programı Çıktı Değerleri Arayüzü	44
Şekil 5.13. : GS ⁺ Programı Değer Karşılaştırma Arayüzü	44
Şekil 5.14. : GS ⁺ Programı Harita Arayüzü – Türkiye Yüzey Sıcaklık Dağılımı	45
Şekil 5.15. : GS ⁺ Programı Harita Arayüzü – Türkiye Yüzey Sıcaklık Hata Dağılımı	45
Şekil 6.1. : Türkiye'nin Litolojik Olarak 39 Karakteristik Bölüme Ayrılması	48
Şekil 6.2. : Litolojik 39 Bölümün Türkiye Jeolojik Haritası Üzerine Projeksiyonu	48
Şekil 6.3. : Kriging İle Kestirimi Yapılan 8000 Yüzey Sıcaklık Verisinin Bulunduğu Noktaların Türkiye Boyunca Konumları	50
Şekil 6.4. : Türkiye Yüzey (–1m) Sıcaklık Dağılımı ve Diri Fay Haritası. (Eşsıcaklık Eğri Aralığı : 0.5°C)	51
Şekil 6.5. : Türkiye Topoğrafyası ve Yüzey (–1m) Sıcaklık Dağılımı Haritası. (Eşsıcaklık Eğri Aralığı : 0.5°C)	53
Şekil 7.1. : Birden Çok Kuyunun Sıcaklık Ölçümlerinin Temsilci Kuyuya İzdüşümü	54
Şekil 7.2. : Gradyan Verilerinin İlk Aşama GS ⁺ Çapraz Doğrulama Grafiği	57

ŞEKİL LİSTESİ (devam)

	<u>sayfa no</u>
Şekil 7.3. : İlk Elde Edilen Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı ve Diri Fay Haritası. (Gradyan Kontur Aralığı 0.5°C/100m)	58
Şekil 7.4. : Gradyan Verilerinin İkinci Aşama GS ⁺ Çapraz Doğrulama Grafiği	59
Şekil 7.5. : Gradyan Verilerinin İkinci Aşama GS ⁺ Standart Sapma Dağılımı	60
Şekil 7.6. : İkinci Aşama Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı ve Diri Fay Haritası. (Eş Gradyan Eğri Aralığı 0.5°C/100m)	61
Şekil 7.7. : İkinci Aşama Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı ve Topoğrafya Haritası. (Eş Gradyan Eğri Aralığı 0.5°C/100m)	62
Şekil 7.8. : Avrupa Jeotermal Kaynaklar Atalası'na Göre Türkiye –1000m Yeraltı Sıcaklık Dağılımı.[2]	64

SEMBOL LİSTESİ

A	: içinden ısı akışı olan kesit alanı
A	: A_1 , A_2 , θ , ve ϕ parametrelerine bağlı olarak tanımlanan bir fonksiyon
A_0	: ayrışma açıklığı, yapısal uzaklık
A_1	: birinci eksen (ϕ) için açılım (uzaklık) parametresi
A_2	: ikinci eksen ($\phi + 90$) için açılım (uzaklık) parametresi
a	: yapısal uzaklık
C	: yapısal varyans
C_0	: külçe varyansı
$^{\circ}\text{C}$	: sıcaklık birimi olarak derece Celcius (veya Santigrad)
D	: derinlik (veya kuyunun doğru düşey derinliği – TVD)
dD	: diferansiyel anlamda derinlik farkı veya aralığı
dT	: diferansiyel anlamda sıcaklık farkı veya aralığı
$^{\circ}\text{F}$	: sıcaklık birimi olarak derece Fahrenheit
g_T	: yeraltı sıcaklık gradyanı (jeotermal gradyan)
h	: uzaklık, açıklık
K	: sıcaklık birimi olarak derece Kelvin
k	: kayaç ısı iletkenlik katsayısı
k_i	: alınan örnek kalınlığı
m	: Lagrange sabiti
n	: alınan örnek çifti sayısı (veya veri sayısı)
q	: ısı akış debisi
S^2	: varyans
T	: sıcaklık
T_{BH}	: kuyudibi sıcaklığı (bottom hole temperature)
T_{zy}	: yüzey sıcaklığı
W	: enerji birimi olarak Watt
x_i	: bir noktadaki değer (veya noktanın çevresindeki numunelerin değeri)
$\bar{x}$	: aritmetik ortalama değer
Z'	: bir noktanın kriging yöntemiyle hesaplanan değeri

SEMBOL LİSTESİ (devam)

$Z(x_i)$	: x_i noktasındaki değişkenin değeri
$Z(x_i + h)$	: x_i noktasından “h” kadar uzaklıktaki bir noktadaki değişkenin değeri
z	: bir nokta veya blok için ölçülmüş değer
z^*	: bir nokta veya blok için kriging ile kestirim değeri

Grek Harfleri

σ	: standart sapma (varyansın karekökü)
σ^2	: varyans (bir raslantı değişkeninin belirli bir olasılık dağılımı içinde alacağı tüm değerlerin ortalama etrafındaki dağılımının değişimi)
μ	: ortalama (bir raslantı değişkeninin belirli bir olasılık dağılımı içinde alacağı tüm değerlerin ortalaması)
λ_i	: ağırlıklı katsayısı
γ	: variogram
γ_{ij}	: x_i ve x_j noktaları arasındaki uzaklığa bağlı variogram değeri
γ_v	: variogram ortalaması
ϕ	: en büyük (maksimum) değişme açısı
θ	: veri çiftleri arasındaki açı

TÜRKİYE YERALTI SICAKLIK GRADYAN DAĞILIMININ DERİN KUYU SICAKLIK VERİLERİ VE VARIOGRAM ANALİZİ İLE BELİRLENMESİ

ÖZET

Bu çalışmada ilk kez tüm Türkiye'yi kapsayan bir yüzey (-1 metre) sıcaklık dağılımı ve yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı doğrudan elde edilmiş ve haritalanmıştır. Yüzey sıcaklık dağılımının elde edilmesinde Türkiye'deki 245 meteoroloji istasyonunda 25-30 yıldan beri kaydedilen sıcaklık verilerinin yıllık ortalamaları kullanılmıştır. Yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı ise 539 adet 1000 metre ve daha derin kuyuda yapılmış olan sıcaklık ölçümlerinden ve bu kuyuların bulunduğu noktalardaki yüzey sıcaklıkları da yüzey sıcaklık dağılımından sağlanan verilerle elde edilmiştir. Çalışmada Türkiye yüzey jeolojisinin belirlediği kayaç türü dağılımı 39 bölge içinde gruplanarak hem yüzey sıcaklığı hem de yeraltı sıcaklık gradyanı hesaplamalarında dikkate alınmıştır. Her iki dağılımın elde edilmesinde, eldeki veriler jeostatistik yöntemlerden variogram analizi ve kriging kullanılarak değerlendirilmiş, böylece her iki dağılımın oluşturulmasında hata payı olası en düşük düzeye indirgenmiştir.

Böylece ortaya konulan Türkiye yüzey sıcaklığı ve yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımları ve haritaları, yeraltı hammadde ve enerji kaynaklarını değerlendirme çalışmalarına ek olarak jeoloji ve jeofizik alanlarında yapılan bilimsel ve uygulama çalışmalarında gerek duyulan önemli bilgiler sağlamaktadır. Özellikle petrol, doğal gaz ve jeotermal enerji sektörlerinin kullanımına yönelik sonuçlar sunan çalışma, bu nedenle ülke ekonomisine ve bilim dünyasına katkı sağlayıcı niteliktedir.

DETERMINING THE GEOTHERMAL GRADIENT DISTRIBUTION IN TURKEY USING VARIOGRAM ANALYSIS ON DEEP WELL TEMPERATURE DATA

SUMMARY

First time ever the surface (-1 meter) temperature distribution and the geothermal gradient distribution is directly obtained and mapped for entire Turkey. The annual averages of surface temperatures, recorded since 25 to 30 years by 245 meteorological stations in Turkey, are used to obtain the surface temperature distribution. Geothermal gradient distribution is obtained using temperature measurements in 539 wells, which were drilled to 1000 meters or deeper, in conjunction with the surface temperatures, as extracted from the surface temperature distribution, for the locations of these wells. Effect of geology of Turkey on both surface temperature and geothermal gradient estimations is taken into account in terms of rock type distribution, which are classified into 39 regions. In the generation of both distributions and maps the available data are evaluated by variogram analysis and krigging techniques of geostatistics, so that the error is reduced to possible lowest level in both distributions.

Consequently, the resulting surface temperature and geothermal gradient distributions and maps for Turkey may provide important information to the subsurface feedstock and energy resource evaluation studies, in addition to the scientific and application studies in geology and geophysics. This study provides results particularly for the use of oil, gas, and geothermal energy sectors and, thus, exhibits a capability of contributing to the economy of the country and the scientific world.

1. GİRİŞ

Yeraltı enerji ve hammadde kaynaklarının aranması, bulunması ve üretilmesinde girişilen işlemlerin olası en etkin ve ekonomik biçimde gerçekleştirilebilmesi için, bu işlemlerin mühendislik tasarım ve uygulama aşamalarında bazı parametre bilgilerine sahip olmak kaçınılmaz bir gerekliliktir. Yeraltında belirli bir derinlikteki sıcaklık değeri de, bu tür işlemlerin mühendislik uygulamalarını ve ekonomisini etkileyen önemli parametrelerden bir tanesidir. Örneğin bir jeotermal kuyunun veya derinlere inecek bir petrol veya gaz kuyusunun hangi derinlikte hangi sıcaklık düzeyleri ile karşılaşacağı, o kuyunun çamur katkıları, koruma borusu ve çimento seçiminde çok önemli rol oynar. Yüksek sıcaklıklara dayanacak ve işlevini yerine getirecek çamur katkıları, koruma boruları, çimento türü ve katkıları delme işleminin ekonomisini ve uygulamadaki başarısını doğrudan ve yaşamsal biçimde etkiler.

Yeryüzünün belirli bir noktası altında belirli bir derinlikteki sıcaklık hakkında fikir edinebilmenin iki yolu vardır. Birinci yol, bu noktada en az söz konusu derinliğe kadar delinmiş bir kuyu içinde sıcaklık ölçümü yapmaktır. İkinci yol ise, o bölgenin yeraltı sıcaklık gradyanı dağılım çalışmasından yararlanarak, o noktada söz konusu derinlikteki sıcaklık değerini hesaplama ile kestirmektir. Birinci yol hem zaman ve hem de para açısından çok maliyetli olması nedeniyle pratik değildir. İkinci yol ise o bölgeyi kapsayan bir yeraltı sıcaklık gradyanı çalışmasının varlığını gerektirir.

Yeraltı sıcaklık gradyanı, veya bir diğer adıyla *jeotermal gradyan*, tanım olarak yerküre üzerindeki bir noktadan başlamak üzere, yerin merkezine doğru sıcaklığın artan derinlikle nasıl değiştiğini veren bir parametredir. Yeraltı sıcaklık gradyanının alansal dağılımının bilinmesi veya kestirimi, bir bölgede yeryüzü gözlemleri ve incelemeleri ile anlaşılamayan bazı jeolojik unsurlar ve yapıların yeraltındaki biçim ve süreksizliklerinin ortaya çıkartılmasında, yeraltı akışkan akışına doğrultu ve izin veren kesimlerinin belirlenmesinde doğrudan katkı sağlar.

Yeraltı sıcaklık gradyanı yüzey sıcaklığı ile, yer içine delinmiş kuyuların çeşitli derinliklerde yapılan sıcaklık gözlem ve ölçümlerinden yararlanılarak, yalnızca o

kuyunun bulunduğu nokta (enlem-boylam veya x-y koordinatları) için hesaplanır. Belirli bir bölgede birbirine komşu noktalara ait yeraltı sıcaklık gradyanı değerleri biliniyorsa, bu değerlerin büyüklük olarak birbirleriyle olan ilişkileri *eş gradyan eğrileri* (eş gradyan konturları) biçiminde haritalanarak, o bölgenin yeraltı sıcaklık gradyan dağılımı ortaya çıkartılmış olur. Bir bölgenin yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının güvenilir bir kestirimle belirlenebilmesi için, o bölgede pek çok kuyu delinmesi ve bu kuyularda derinliğe bağlı sıcaklık ölçümlerinin yapılması gerektiği açıkça ortadadır. Yerin yaklaşık bin metreye kadar olan, petrol ve doğal gaz endüstrisi derinlik ölçeğine göre “sığ” olarak nitelenen derinliklerinde, atmosferik suların (yağmur, erimiş kar, akarsu sızıntıları, vs) dolaşımı, yeraltı sıcaklıklarını ve sıcaklık gradyanı dağılımını mevsimsel olarak değiştirebilmektedir.

Özellikle petrol ve doğal gaz endüstrisi, bu nedenle, bin metreden daha derinler için geçerli olan ve mevsimsel değişimlerden etkilenmeyen yeraltı sıcaklıkları ve sıcaklık gradyanları ile ilgilenmektedir. Ancak, derin bir kuyunun delinme ve bu kuyuda sıcaklık dahil çeşitli ölçümler yapabilmek için donanım indirme maliyeti, günümüz fiyatları ile en az bir-iki milyon dolar düzeyindedir. Eğer bir bölgede yeraltı sıcaklık ve sıcaklık gradyanı belirlemesi için pek çok kuyu verisi olması gerektiği dikkate alınırsa, yeraltı sıcaklıkları ve sıcaklık gradyanı bilgilerinin parasal değeri hakkında bir fikir yürütülebilir. Pek çok kuyunun delinmesi için gereken zaman süreci de buna eklenirse, bu tür bilgilerinin zaman karşılığı değerleri de kendiliğinden ortaya çıkar.

Yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının ve bu dağılımın eş sıcaklık gradyan eğrileri (konturlar) biçiminde çıkartılmış haritasının güvenilir olması ve olası en az hatayı içermesi, bu bilgilerin kullanımı ve kullanımdan doğacak sonuçlar bakımından çok önemli bir gerekliliktir. Dolayısıyla, delinmiş kuyulardaki sıcaklık ölçümlerinden hesaplanan noktasal yeraltı sıcaklık gradyanı verileri kullanılarak, bu gradyanların veri olmayan alanlarda alacağı değerlerin belirlenmesi için kullanılacak kestirim teknikleri, ortaya konulacak dağılımın ve eş sıcaklık gradyanı haritasının güvenilirlik düzeyini etkileyen önemli bir unsurdur. Ancak daha öncelikli öneme sahip bir diğer unsur ise, kuyularda yapılan sıcaklık ölçümlerinin güvenilirliği ve içerdikleri hatanın büyüklüğü ve dağılımıdır. Her bir kuyuda sıcaklık ölçümü yapılırken kullanılan ölçüm donanımının türü, çalışma mekanizması, kalibrasyonu, ve duyarlılık düzeyi farklı olduğu gibi, her bir ölçüm öncesinde sondaj çamuru tarafından bozulmuş kuyu sıcaklık profilinin doğal haline gelmesi için gerekli bekleme süresi de farklıdır. Pek

çok kuyuda sıcaklık ölçümü yapılmadan önce, delme ve kule saat maliyetlerinin gözetilmesi nedeniyle yeterince bekleme yapılmadığı bilinen bir gerçektir. Bu da yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının belirlenmesi için yapılan hesaplara kaçınılmaz bir hata payı yüklemektedir. Ne yazık ki, bu sorunun çözümü yoktur; ancak kuyular arası korelasyonu ile sıcaklık gradyanı dağılımı belirlenirken, istatistiksel bir hata payı dağılım çalışması yapılabilir.

Yeryüzünün belirli bir bölgesi için çıkartılmış yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı, o bölgenin jeotermal enerji potansiyelinin ve yüzeye olan ısı akışının ve ısı akışının hesaplanmasında anahtar parametredir. Türkiye'nin jeotermal enerji potansiyeli bakımından dünyada ilk yedi ülke arasında olması, Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının bilinmesi ve haritalanmasının önemini ortaya koymaktadır. Bugüne kadar Türkiye'nin yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımını ve haritasını ortaya koyacak birkaç araştırma çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalar genel kapsamlarıyla fikir verici nitelikte ve bölgesel olarak yer yer uyumlu iseler de, her birinde kullanılan yüzey ve derin sıcaklık verilerinin sayısı, veriler arası istatistiksel ilişkilendirme yöntemi, vb kısıtlar nedeniyle yeterli kapsam ve güvenilirlik düzeyine erişememişlerdir.

Dolayısı ile, Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının olası en gerçekçi biçimde çıkartılması ve bunun kolay kullanım için haritalanması, diri bir tektonik yapıya ve buna bağlı olarak önemli bir jeotermal potansiyele sahip olan Türkiye'deki petrol, doğal gaz, ve jeotermal enerji sektörlerinin arama ve üretim çalışmalarına ekonomik katkı sağlayacak bir bilgi ve veri kaynağı oluşturacaktır.

2. TARİHSEL GELİŞİM

Türkiye’de yeraltı sıcaklıklarının derinlikle ve alansal dağılımları üzerine ilgi ancak 1960’lı yıllarda jeotermal faaliyetin görüldüğü yörelerle sınırlı yapılan çalışmalarla başlamış, 1980’li yıllardan itibaren derinlere doğru yönelmiştir. Bugüne kadar olan süreç içinde derin petrol ve doğal gaz kuyuları ile jeotermal kuyu sayısındaki artış, eldeki yeraltı sıcaklık verisi birikimini de artırarak, anılan ilgiye destek sağlamıştır. Önceleri sıcaklık dağılımları üzerine yoğunlaşan bu araştırma çalışmaları, daha sonra yöresel bazda sıcaklık gradyanlarının ortaya konulması ile gelişmiştir. Çalışmaların tümü Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı (TPAO) ve Maden Tetkik ve Arama Enstitüsü (MTA) tarafından, Türkiye’nin belirli birkaç yöresi için sınırlı kapsamda ve belirli amaçlar doğrultusunda yapılmıştır. Ortaya çıkartılan yeraltı sıcaklık ve sıcaklık gradyanı dağılımlarının bir bölümü ise, bu kuruluşların belirli amaçları için yapılmış olduklarından yayınlanmamışlar, toplum bilgisine sunulmamışlardır. Örneğin, TPAO tarafından Trakya’da delinmiş kuyularda yapılan sıcaklık ölçümleri kullanılarak, yalnızca Trakya’ya özgü bir yeraltı sıcaklık gradyanı dağılım haritası türetilmiş, ancak yayınlanmamış ve şirket arşivinde saklanmıştır. Bu haritanın oluşturulmasında hangi kuyuların verilerinden yararlanıldığı ve dolayısıyla güvenilirlik düzeyi belirsiz olduğu gibi, hangi istatistiksel yöntemin kullanıldığı da belirsizdir.

Yeraltı sıcaklık ve sıcaklık gradyanı dağılımı çalışmaları özellikle MTA elemanları tarafından ve Türkiye’de petrol, doğal gaz ve jeotermal enerji potansiyeline sahip basenler için yapılmıştır. Ünal ve Öngür tarafından yapılan ve Trakya, Adana ve Güneydoğu Anadolu basenlerini ayrı ayrı kapsayan çalışma bunların en eskilerinden birisidir.[1] Bu çalışmada gradyan hesabı için gerekli olan yüzey sıcaklığı durağan olarak 15°C alınmış, yeraltı sıcaklıkları olarak ise 400 metreden daha derinlerde yapılan ölçümler kullanılmıştır. Elde edilen sıcaklık gradyan değerleri ile 1000 m derinlikteki sıcaklıklar işleme sokularak noktasal gradyan değerleri hesaplanmış ve haritalanmıştır. Yeraltı sıcaklık verileri Trakya baseninde 33, Adana baseninde 17, ve Güneydoğu Anadolu baseninde 90 kuyudan elde edilmişlerdir. Her bir basen için yapılan sıcaklık gradyanı dağılım haritalarının oluşturulmasında ne tür istatistiksel

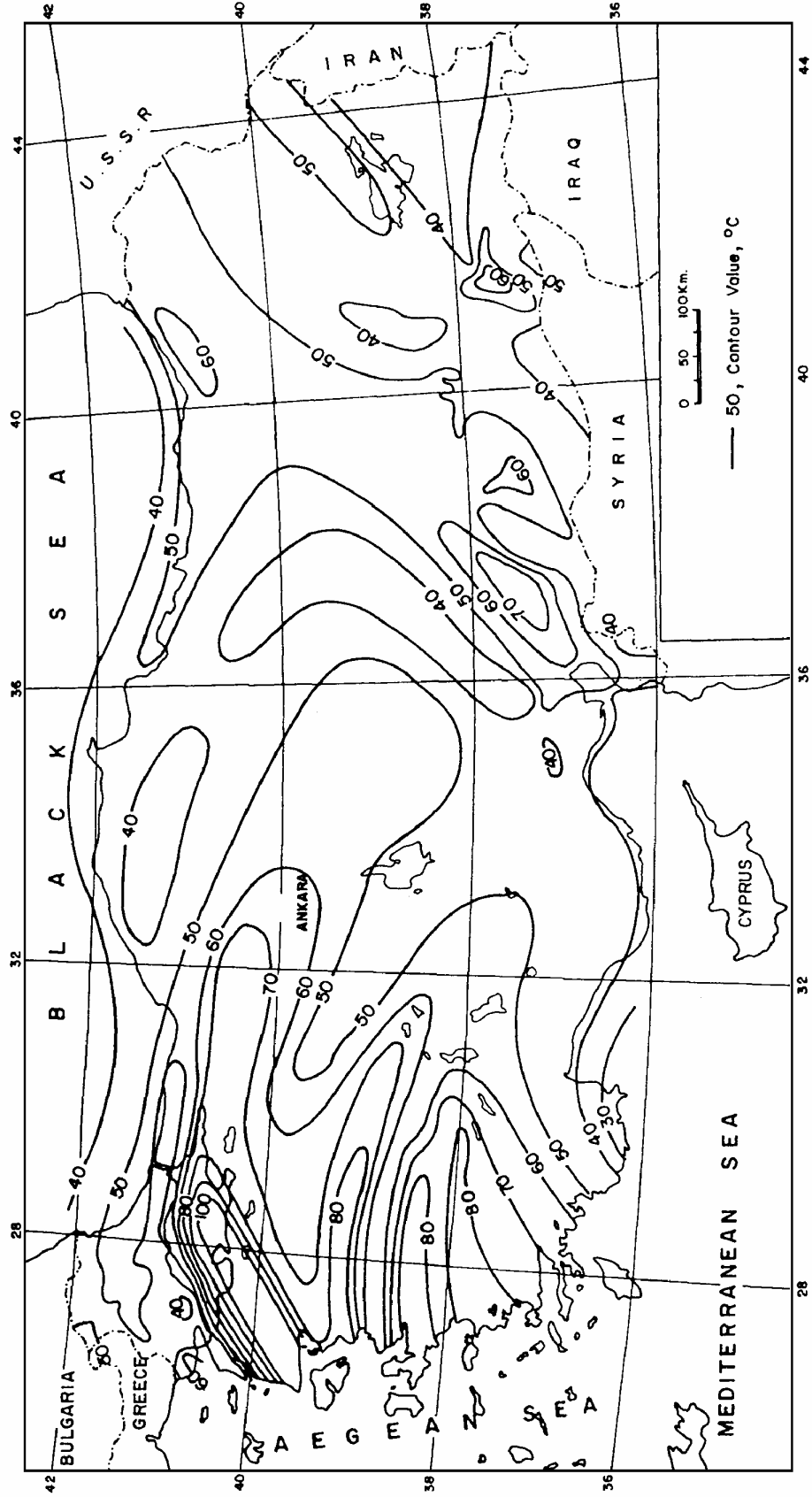
yaklaşım ve veriler arasında ne tür bir interpolasyon tekniği kullanıldığı belirli olmamasına karşılık, kuyular arası doğrusal interpolasyon yapıldığı sanılmaktadır.

Bundan sonra birçok araştırmacı tarafından yöresel bazda yeraltı sıcaklıklarının ve yer içinden yüzeye olan ısı akısının bölgesel bazda dağılımı için çalışmalar yapılmış, yayınlanmıştır. Tüm Türkiye için ilk yeraltı (–1000 m) sıcaklık ve ısı akısı dağılım çalışması ve haritası Tezcan ve Turgay tarafından 1991 yılında [2] yayımlanmış, ve çalışma Tezcan tarafından geliştirilerek 1995 yılında [3] yeniden yayımlanmıştır.

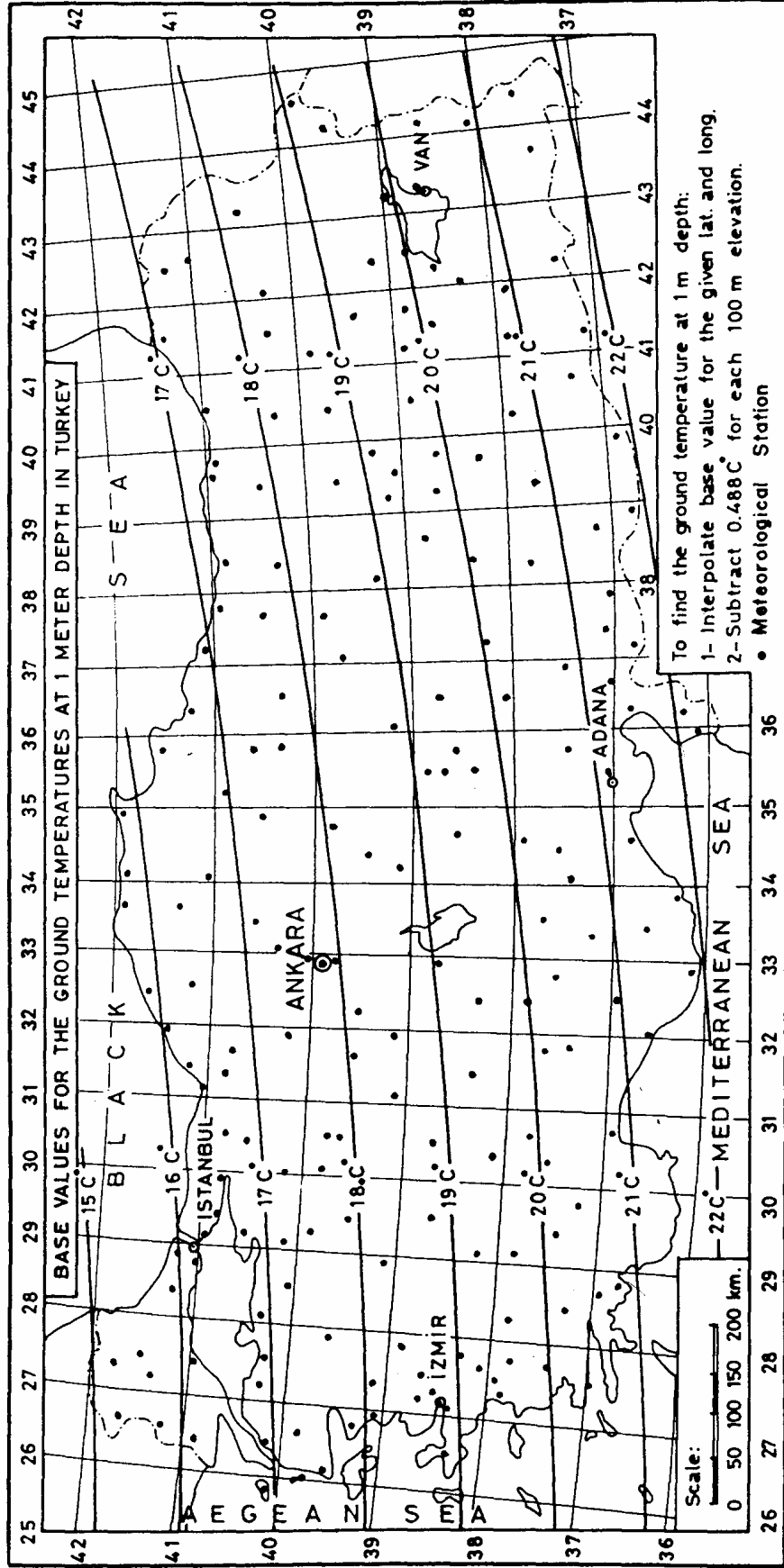
Her iki çalışmada da eş sıcaklık ve eş ısı akısı dağılımlarının hesaplanması ve alansal konturlanması için veriler arasında nasıl bir istatistiksel ilişkilendirme oluşturulduğu belirtilmemiştir. Dolayısıyla veri noktaları arasında doğrusal (lineer) interpolasyon tekniği kullanılmış olduğu varsayılmaktadır. İkinci yayımlanan çalışmadan alınan ve Türkiye’de “–1000 metre” derinlikteki sıcaklık dağılımını veren harita **Şekil 2.1**’de görülmektedir. Bu haritanın oluşturulmasında kullanılan veriler ve aynı çalışmadan alınarak burada **Şekil 2.2**’de görülen haritadaki Türkiye “–1 metre” yüzey sıcaklığı dağılımı verileri kullanılarak ısı akısı yoğunluk dağılımı haritası oluşturulmuş ve aynı çalışmada sunulmuştur. Isı akısı yoğunlukları hesaplanırken yeraltı kayaçları için ısıl iletkenliğin durağan bir ortalama değer olarak 2.1 W/m K alındığı yazarlar tarafından belirtilmiştir. **Şekil 2.2**’deki “–1m” yüzey sıcaklığı dağılım haritasının oluşturulmasında, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün tüm ülkedeki istasyonlarından alınan sıcaklık verileri kullanılmıştır. Ancak, **Şekil 2.2**’deki eş sıcaklık eğrilerinin davranış ve eğilimleri, bunların yüzey sıcaklığı verileri üzerine ne tür bir istatistiksel yöntem uygulanarak elde edildikleri hakkında şüphe uyandırıcıdır.

Bu arada 1992 yılında, İlkışık tamamen farklı bir yöntem izleyerek, ılıca, kaplıca ve yeryüzüne sıcak su çıkışı olan diğer kaynaklarından aldığı su örnekleri üzerinde silika jeotermometresi çalışmaları yapmış ve Türkiye için silika ısı akışı dağılımını ilk kez ortaya koymuştur.[4] İlkışık tarafından elde edilen ısı akışı dağılımı, Tezcan ve Turgay tarafından oluşturulan dağılımla pek az benzerlikler göstermektedir.

Türkiye’nin yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımını doğrudan ortaya koyan ilk kapsamlı çalışma Mıhçıkan ve Öcal tarafından gerçekleştirilmiştir.[5] Çalışmada illerin 28 yıllık ortalama “–1m” yüzey sıcaklık verileri ile 487 derin kuyuda ölçülmüş kuyu dibi sıcaklık verilerinden yararlanılarak yeraltı sıcaklık gradyanları hesaplanmıştır.



Şekil 2.1 : Tezcan'a Göre Türkiye'de "1000 metre" Yeraltı Sıcaklık Dağılımı.[3]

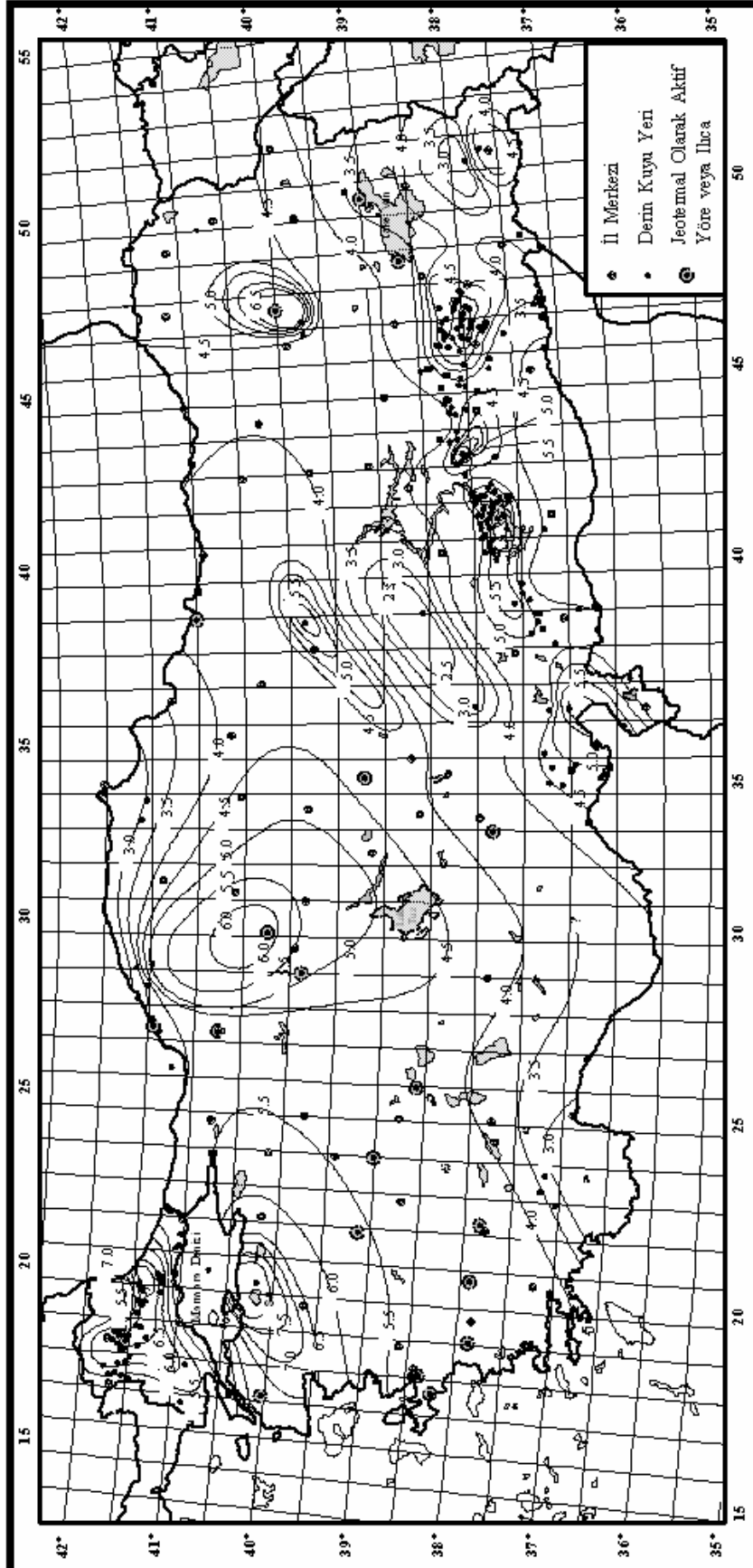


Şekil 2.2 : Tezcan'a Göre Türkiye'de "–1 metre" Yüzey Sıcaklık Dağılımı.[3]

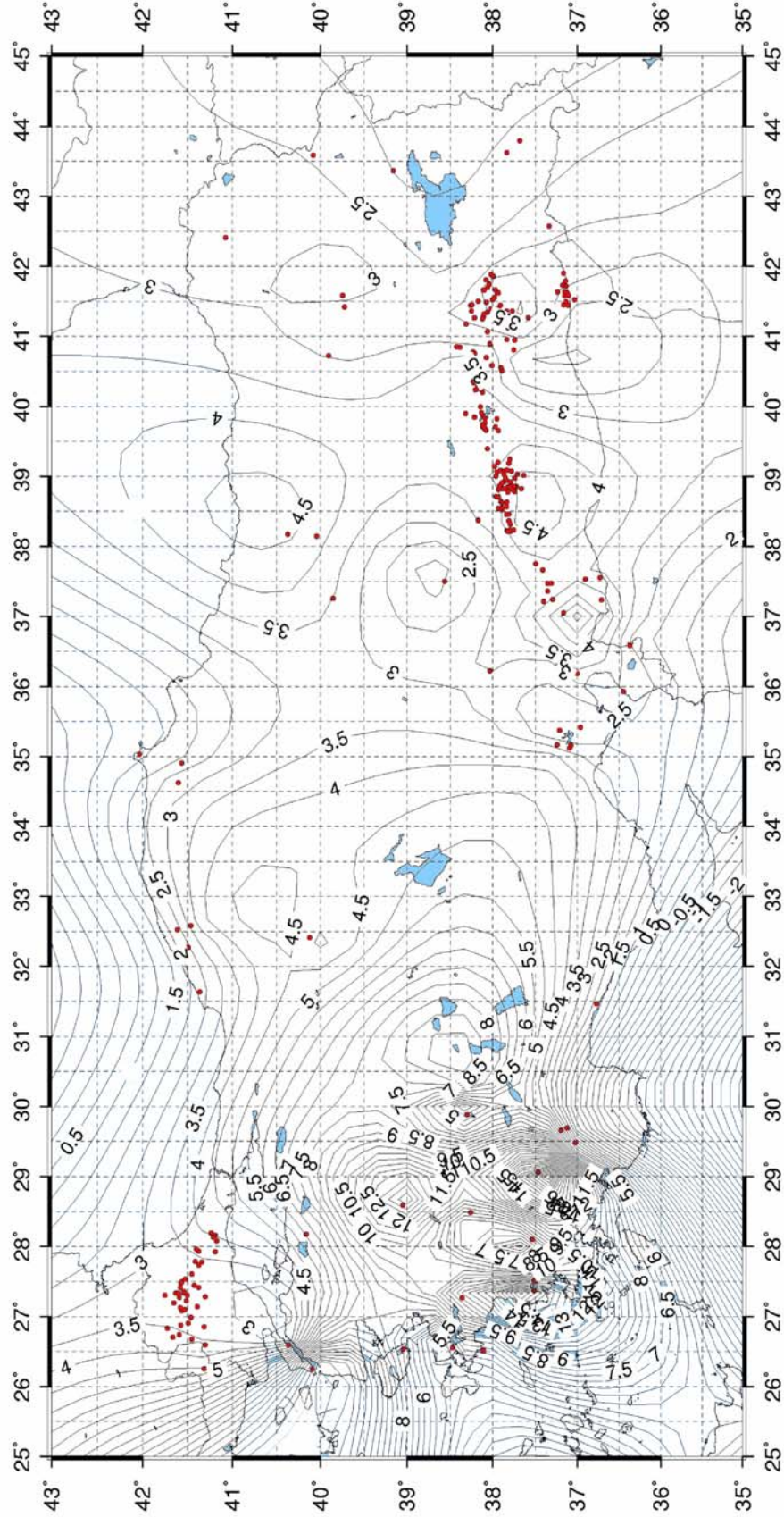
Mihçakan ve cal bu çalışma sırasında ilk önce, illerin ortalama yüzey sıcaklıklarını Türkiye haritası üzerinde il merkezlerinin koordinatlarına yerleştirmişler ve sonra bu noktalar arasında doğrudan doğruya lineer (doğrusal) interpolasyon hesaplamaları ile yüzey eş sıcaklık dağılım eğrilerini (konturlarını) zmişlerdir. Böylece Türkiye “-1m” yüzey sıcaklık dağılım haritasını oluşturmuşlardır. Bundan sonraki aşamada, derin kuyu sıcaklık ölçümleri ve bu ölçüm değerlerinin alındığı her bir kuyunun yüzey sıcaklıklarını bu haritadan elde ederek, her bir kuyu noktasına (koordinatına) karşılık gelen yeraltı sıcaklık gradyanını hesaplamışlar ve Türkiye haritası üzerinde kuyu koordinatlarına göre işlemişlerdir. Son olarak, bu gradyan noktaları arasından doğrusal (lineer) interpolasyon ile eş yeraltı sıcaklık gradyanı eğrilerini (konturlarını) geçirmişlerdir. Böylece geliştirilen ilk “Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyan Haritası” **şekil 2.3**’te görülmektedir. Bu haritada dikkat edilmesi gereken noktalardan biri, Batı Anadolu’daki veri eksikliğinin yarattığı belirsizlik ve diğer, sektörün kolay kullanımı için, eş gradyan eğrilerinin $^{\circ}\text{F}/100\text{m}$ birimi ile çizilmiş olmasıdır.

Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımını doğrudan ortaya koyan ikinci kapsamlı çalışma ise, Mihçakan’ın danışmanlığı ve yönlendirmesi altında Taşçı tarafından yapılmıştır.[6] **şekil 2.4**’de görülen yeraltı sıcaklık gradyan haritasını ortaya koyan bu alışma, Mihçakan ve cal tarafından yapılan çalışmanın bir ileri aşaması olup, kullanılan derin kuyu sıcaklık verilerine yenilerinin eklenmesi ve hem yüzey sıcaklık dağılımı hem de yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı haritalarının oluşturulmasında veriler arasında doğrusal interpolasyon yapılması yerine, *Gerilim Altında En Küçük Büküm (minimum curvature in tension)* yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.[7] Harita üzerinde görülen noktalar, bu çalışmada kullanılan sıcaklık verilerinin alınmış olduğu derin kuyu yerleridir. Bu haritanın oluşturulması sürecinde veri noktaları arası değerlerin türetilmesi ve eş sıcaklık gradyanı eğrilerinin konturlaması işlemleri Wessel ve Smith tarafından geliştirilmiş olan GMT (Generic Mapping Tools) grafik yazılımı ile yapılmış, harita *Silindirik Mercator Projeksiyonu*’nda çizilmiştir.[8]

Bu konuda yapılan yazın taramasından anlaşıldığı kadarı ile, bugüne kadar yukarıda özetlenen çalışmalar dışında, Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımını doğrudan veren veya yeraltı sıcaklık ve ısı akış debisi gibi değerkenlerin Türkiye zerindeki dağılımlarını haritalayarak, gradyan değerlerinin dolaylı hesaplanmasına kılavuzluk eden başka bir çalışma yapılmamıştır.



Şekil 2.3 : Mühçakan ve Öcal'a Göre Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı, (Kontur Aralığı $0.5^{\circ}\text{F}/100\text{m}$).[5]



Şekil 2.4 : Taşçı'ya Göre Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı (Kontur Aralığı 0.5°C/100m). [6]

3. YERALTI SICAKLIK GRADYANI

Yer kabuğu ısısının büyük bölümü magma ve kabuk içindeki birçok elementin ışıyarak bozunmalarından kaynaklanmaktadır. Işıma bozunması sonucu yer ısısına katkıda bulunan başlıca elementler Potasyum-40, Toryum-232 ve Uranyum-238 olarak verilebilirler. Yerküre içinde üretilen ısı, yüksek sıcaklıktaki yer içinden düşük sıcaklıktaki yerkabuğuna doğru akar. Diğer bir deyişle, yer içi ile yeryüzü arasındaki sıcaklık farkı ısı akışına neden olan tek etmendir. Isı akışı ile akışkan akışı benzer fiziksel yasalar ile tanımlanan olaylardır. Akışkanlar da yüksek basınç ortamından düşük basınç ortamına doğru, veya yüksek potansiyel enerji düzeyinden düşük potansiyel enerji düzeyine doğru akarlar. Gözeneklerinde akışkan devinimine izin veren kayalar içinde ısı aktarımı a) ısı iletimi ve b) ısı taşınımı olarak iki mekanizma ile gerçekleşir. Isı aktarımı birbirlerine dokunan akışkan molekülleri arasındaki kinetik enerji alış verişinden, veya katılar içindeki serbest elektronların sürüklenmelerinden doğmaktadır. Duraylı (zamandan bağımsız) ısı iletimi Fourier Yasası ile tanımlanır.

$$q = -k A \left(\frac{dT}{dD} \right) \dots\dots\dots (3.1)$$

bu denklemde “ q ” ısı akış debisini, “ k ” kayacın ısı iletkenlik katsayısını, “ A ” içinden ısı akışı olan alanı, “ T ” sıcaklığı, “ D ” ısı akışının olduğu derinlik veya uzaklığı, “ dT/dD ” yeraltı sıcaklık gradyanını (jeotermal gradyanı) simgelemektedir.

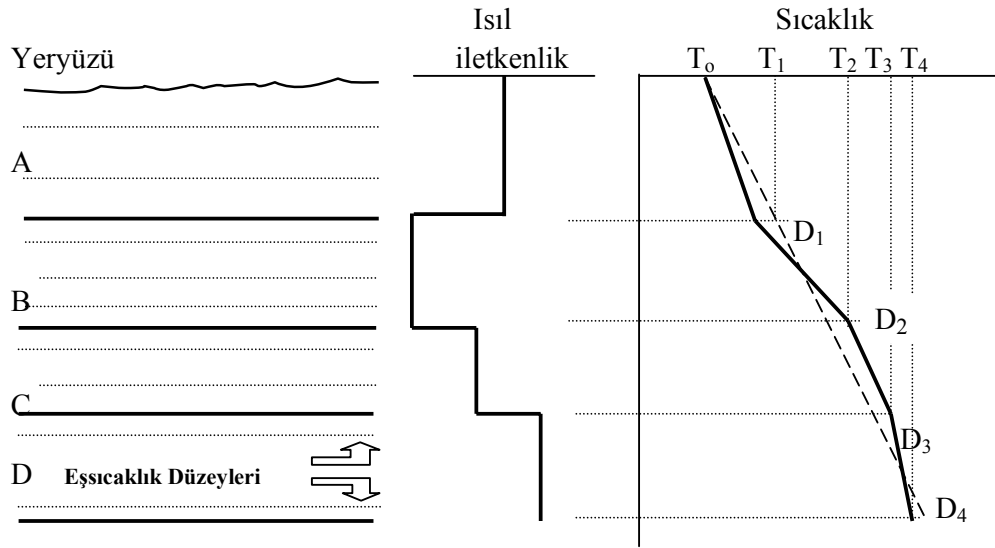
Bir kayacın ısı iletkenliği onun içsel bir özeliğidir ve kayacın boyutları ve kütlesinden bağımsızdır. Her jeolojik yapı (formasyon) ve bunu oluşturan kayaç tipi kendine özgü ve diğerlerinden farklı bir ısı iletkenliğe sahip olabilir. Bir kayacın ısı iletkenlik katsayısının değeri, o kayacın litolojisi, gözenekliliği ve bunların içerdiği akışkanların doğasına bağlı olarak değişir. Her formasyonun (kayaç yapısının) durağan bir ısı iletkenliğe sahip olduğu yaygın kabul gören bir varsayımdır.

Fourier Yasası’ndaki ısı akış debisinin içinden akış olan alana oranı (q/A) ısı akısını verir. Isı akışı farklı coğrafya bölgelerinde farklı düzeylerde olabilirse de, çoğunlukla bir petrol veya gaz rezervuarını kapsayan genişlikteki bir alanda durağan sayıla-

bilecek bir düzeyde kalır. Isı akısının bir rezervuarın üretken yaşamı süresince ve o rezervuara delinmiş kuyu derinliklerinde oldukça durağan kaldığı bulunmuştur. Her jeolojik yapı (formasyon) içindeki ısı akısı ve ısı iletkenlik durağan kaldığına göre, her formasyonun sıcaklık gradyanı (dT/dD) ve rezervuar sıcaklığı da eşsıcaklık (izotermal) koşulları altında durağan bir değer gösterecektir. Diğer bir anlatımla,

$$\frac{q}{A} = -k \left(\frac{dT}{dD} \right) = C_1 \quad \Rightarrow \quad \left(\frac{dT}{dD} \right) = -\frac{C_1}{k} = C_2 \quad \dots\dots\dots (3.2)$$

olur. Burada C_1 ve C_2 durağan (sabit) değerler olup, üst üste istiflenmiş kayaçların ortalama ısı iletkenlik katsayısının (k) bilinmesi durumunda, ısı akısından (q/A) ortalama yeraltı sıcaklık gradyanının (dT/dD), veya yeraltı sıcaklık gradyanından ısı akısının hesaplanabileceği açıktır. Böyle bir durum için farklı jeolojik katmanlar (formasyonlar) boyunca sıcaklığın derinlik ile değişiminin nasıl olabileceği **Şekil 3.1**'de görülmektedir.



Şekil 3.1: Farklı Kayaç Tiplerinin (A, B, C, D) Isıl İletkenliklerinin ve Bu Kayaç Tipleri Boyunca Jeotermal Gradyanın Derinlikle Değişiminin Şematik Gösterimi.

Jeolojik yapıların (formasyonların) ısı iletkenlik değerlerinin çok büyük farklılıklar göstermemeleri nedeni ile, bir kuyu boyunca geçilen tüm formasyonları kapsayacak ortalama bir ısı iletkenlik olduğu varsayımı yapılır. Diğer bir deyişle, bir petrol veya

gaz sahasını kapsayacak büyüklükteki bir alanda yeraltı sıcaklık gradyanının durağan kaldığı varsayılabilir. Kuyularda yapılmış sıcaklık ölçümleri, bu varsayımın dünyada pek çok bölge için kabul edilebilir olduğunu ortaya koymuşlardır. Örneğin, **Şekil 3.1**'de yüzeyden D₄ derinliğine kadar değişen koyu renkli yeraltı sıcaklık davranışının yaklaşık olarak kesikli çizgi ile gösterilen doğrusal bir davranış sergilediğini varsaymak, sıcaklık gradyanı hesaplamasına çok büyük bir hata getirmeyecektir.

Henüz üretime konmamış kuyularda yapılan sıcaklık ölçümleri genellikle en yüksek sıcaklık kaydı yapan bir termometre ile kuyudibinde yapılır. Böyle bir termometre açık kuyu log aygıtlarına bağlanarak kuyudibine indirilir ve ölçülen sıcaklık kuyu logu başlık sayfasında rapor edilir. En yüksek sıcaklık kaydı yapan bir termometre kuyudibi basıncı ölçen donanımlara, örneğin DST (drill stem test) aygıtı gibi, bağlı olarak da kuyudibine indirilebilmektedir. Ancak bu termometreler yalnızca tek bir sıcaklık değeri ölçebilir ve kaydedebilirler, o da termometrenin kuyu içinde indirildiği derinlikteki sıcaklıktır. Kuyu derinliği boyunca, veya kuyunun belirli bir derinlik aralığı boyunca sıcaklık ölçümü yapmak ve bu ölçümleri kaydetmek istenirse, bu durumda sıcaklık logu aygıtından yararlanılır.

Yeraltı sıcaklık gradyanı hesaplamasında kullanılacak olan yeraltı sıcaklıklarının kuyunun delinmesinin hemen ardından ölçümleri, dikkate değer düzeyde yanıltıcı sonuçlar doğurabilir. Bu tür sıcaklık ölçümlerinin en ideal yapılma zamanı, kuyunun en az birkaç gün (yöreye göre bazan birkaç hafta) içinde hiç bir akış olmadan dinlendirilmiş olduğu zamandır. Eğer kuyu yeni delinmiş ise, delme işlemi sırasında yüzey ile kuyudibi arasında dolaşan sondaj çamuru kuyunun derinliklerini serinleteceği için, bu sırada ölçülecek sıcaklık gerçek değerinden çok daha düşük çıkacaktır. Buna karşılık, eğer kuyu üreten bir kuyu ise, kuyudibinden yüzeye akan akışkan kuyunun üst kesimlerini ısıtacağı için, kuyudibi dışında her yerde yapılacak sıcaklık ölçümü gerçek değerinden yüksek çıkacaktır. Özellikle gaz üreten kuyularda gazın kayaç içinden kuyudibine akarken genişmesi sırasında, Joule-Thomson etkisi oluşabilir ve gaz genişlerken çevreden ısı alacağı için kuyudibi ve civarını soğutur. Böyle bir durumda kuyu dinlendirilmeden sıcaklık ölçümü yapılırsa, gerçek değerinden çok daha düşük bir sıcaklık ölçülmüş olur. Petrol ve gaz kuyularında yapılan sıcaklık ölçümleri genellikle log alma işlemi sırasında yapılır. Log işlemi hazırlığı yaklaşık bir gün sürdüğü için, bu sıcaklık ölçümlerindeki hata payı biraz daha azdır.

Kuyudibi sıcaklığı (T_{BH}) genellikle °F veya °C birimleriyle ve yeraltı sıcaklık gradyanı ise (g_T) °F/100 ft veya °C/100 m birimleriyle verilir. Yeraltı sıcaklık gradyanı değeri çoğunlukla 1 ile 2°F/100 ft (1.82 ile 3.65 °C/100 m) arasında değişirse de, ender olarak 0.8 °F/100 ft (1.46 °C/100 m) kadar düşük ve 5.5 °F/100 ft (10.02 °C/100 m) kadar yüksek de olabilmektedir. Jeotermal açıdan aktif bölgelerde sıcaklık gradyanı çok daha büyük değerlere yükselebilir. Yeraltı sıcaklık gradyanı, derinlik, yüzey sıcaklığı, ve kuyudibi sıcaklığı arasındaki ilişki,

$$g_T = \frac{dT}{dD} = \frac{T_{BH} - T_{zyz}}{D} \dots\dots\dots (3.3)$$

veya

$$T_{BH} = T_{zyz} + g_T D \dots\dots\dots (3.4)$$

denklemleri ile verilmektedir ve burada

D : kuyunun doğru düşey derinliği { TVD }, 100 ft (veya 100 m)

g_T : jeotermal gradyan, °F/100 ft (veya °C/100 m)

T_{BH} : kuyudibi sıcaklığı, °F (veya °C)

T_{zyz} : yüzey sıcaklığı, °F (veya °C)

olarak tanımlanmaktadır. Bir kuyunun dip ve yüzey sıcaklıkları ile doğru düşey derinlik (TVD – true vertical depth) değeri biliniyorsa, o kuyunun bulunduğu bölge için yeraltı sıcaklık gradyanı, g_T , değeri Denk.(3.3) kullanılarak hesaplanabilir. Elde edilen “ g_T ” değeri ile, o kuyunun geçmiş olduğu herhangi bir derinlikteki formasyonun sıcaklığı da Denk.(3.4) yardımı ile kolayca hesaplanabilir. Belirli bir bölgede jeotermal gradyanın (yeraltı sıcaklık gradyanının) bilinmesi, o bölgede delinmiş ve içinde sıcaklık ölçümü yapılmamış kuyularda herhangi bir derinlikteki sıcaklığın hesaplanmasına olanak tanır.

Yüzey sıcaklığı olarak anılan değer aslında yüzeyin yaklaşık 10–20 m altında ölçülmüş sıcaklık olarak tanımlanmaktadır. Yeryüzü üzerinde atmosferdeki sıcaklık değişimleri dalgacıklar halinde yer altına işlerler ve “duraylı sıcaklık-derinlik” profili üzerinde küçük geçici salınımlar olarak saptanabilirler. Bu nedenle, yüzeyin hemen üstünde gerçekleşen günlük (gündüz–gece) atmosferik sıcaklık değişimleri, yüzeyin hemen altında en fazla 0.9 m ile 1.2 m (ortalama 1 m) derinliğe kadar olan toprak

sıcaklığını etkileyebilirler. Oysa, dünyanın yüzeyi yüksek frekanslı sıcaklık değişimlerini etkin bir biçimde filtrelediği için, yüzeyin hemen üzerinde gerçekleşen yıllık (mevsimsel, yaz - kış) atmosferik sıcaklık değişimlerinden doğan ısı dalgaları ancak 10–20 m derinliğe kadar etkili olabilirler ve bu derinliğin altında sönümlenerek etkilerini yitirirler.[9,10]

Türkiye’deki gözlem istasyonlarında yerin 10–20 m derinliklerinde sıcaklık ölçümü yapılmamaktadır. Bu durum, Türkiye’nin jeolojik, jeofizik, maden, petrol ve doğal gaz gibi sektörlere önemli bilgiler sağlayabilecek bir veri tabanından yoksun olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Türkiye’de yaklaşık 250 gözlem istasyonlarında yerin en fazla –1 m derinliğinde 25-30 yıldan beri düzenli (periyodik) sıcaklık ölçümleri yapılmaktadır.

Yeryüzüne yakın sığ derinliklerdeki sıcaklıklar ve dolayısıyla sıcaklık gradyanları mevsimsel değişimler yaşayabilirler. Bunun ana nedeni yağmur, erimiş kar veya buzul gibi atmosferik suların ilkbahar ve yaz mevsimlerinde yeraltına sızarak, besledikleri yeraltı sularının sıcaklıklarını değiştirmeleridir. Sonbahar ve kış mevsimlerinde yeraltı suyunun atmosferik sularla beslenmesi azaldığından ve yeraltındaki suların yerin içinden gelen ısı akışı ile ısıtılmalarından dolayı, yeraltı sıcaklık ve sıcaklık gradyanı değerleri yine ve bu kez artan yönde değişim gösterirler. Özellikle karstik (yeraltı suyunun çözücü etkisiyle erimiş boşluklara ve hattâ mağaralara sahip kireçtaşı ve dolomitik kireçtaşı yapılarla kaplı) bölgelerde yeraltı suyu hareketinin çok derinlere kadar inmesi, sıcaklık gradyanının mevsimsel olarak çok derinlerde dahi dikkate değer değişimler göstermesine neden olur. Yeraltı sıcaklık gradyanının büyük ve mevsimsel değişimler yaşadığı derinlikler için belirli ve durağan bir değer atanması pek anlamlı olmamakta, yanıltıcı sonuçlara yol açabilmektedir. Dolayısıyla ile, çok geniş bir bölge için yeraltı sıcaklık gradyanı değeri veya dağılımı saptanması gerektiğinde, yaklaşık 1000 metre veya daha büyük derinliklerdeki sıcaklık değerleri kullanılması yaygın bir uygulamadır.

4. JEOİSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

İstatistiğin bir uygulama dalı olan jeoistatistik, yerbilimlerinde karşılaşılan kestirim (tahmin) sorunlarına çözüm sağlayıcı bir yöntem olmak üzere geliştirilmiş ve daha sonra ilgili birçok alanda da kullanılmaya başlanmıştır. Geoistatistiksel yöntemlerin temelleri, 1960'lı yılların ilk yarısında Güney Afrika'da Danie Krige'nin yaptığı ilk çalışmalara dayanmaktadır. Bu çalışmaları esas alan Georges Matheron, Fransa'da maden vs gibi ekonomik yeraltı birikimlerinin rezerv kestirimi için jeoistatistiksel yöntemleri ilk kez kullanan hesaplamalar yapmıştır.[11,12]

Klasik istatistiksel teknikler bir raslantı değişkeninin aldığı değerler arasından seçilen veya örneklenen değerlerin tümünün tek bir basit olasılık dağılımı içinde rastgele ve birbirinden bağımsız alındıklarını varsayar. Bu durgun yaklaşım örnekler arasındaki ilişkiyi ve örneklerin içinde bulundukları uzamsal yapı içindeki yerlerini dikkate almaz. Buna karşılık, jeoistatistik uzamsal yapı içindeki her bir noktanın her hangi bir olasılık dağılımı içinde bir örneği temsil ettiğini ve her bir noktadaki dağılımının diğer noktalardan ortalama, varyans, ve şekil bakımından farklılık gösterebileceğini kavramına dayanır. Geoistatistikte her iki noktasal örneğin arasındaki sınıfsal farkın dağılımının, bu noktaların içinde bulunduğu uzamsal bölge boyunca aynı ve yalnızca noktaların yönlenmesine ve aralarındaki uzaklığa bağlı olduğu varsayılır. Diğer bir deyişle, noktasal örneklerin sınıfları arasındaki fark uzamsal bölge boyunca durağan (sabit) değil, uyumlu olmalıdır. Bu varsayım bazan *yarı durgun* olarak nitelenir.[13]

Dağılımların büyük çoğunluğunun ortalama ve varyans veya standart sapmaları ile tanımlandıklarından yola çıkılarak, birbirinden " h " kadar uzaklıkta (veya açıklıkta) iki nokta arasındaki sınıfsal farkın dağılımı dikkate alınır, bu durumda dağılımların ortalaması iki nokta arasındaki umulan sınıfsal değişimi gösterir. Dolayısıyla bu, uzamsal bölge içindeki değerlerin jeoistatistikte "*sürüklenme*" olarak adlandırılan eğilimini yansıtır. Dağılımın geri kalan kesimi gibi, bu ortalama da " h " açıklığına bağımlı olacaktır.

Dağılımın varyansı kestirim amacı açısından ortalamadan daha yararlı ve kullanışlı olup, “ h ” açıklığına bağlıdır ve bu açıklığa sahip iki noktadaki değerlerin sınıflarının karşılıklı birbirlerine olan bağımlılıklarının bir ölçüsüdür.[13] Beklenebileceği gibi, birbirine yakın noktalar birbirine uzak noktalara göre birbirleri ile daha fazla ilişkilidirler. Jeostatistikte bu varyans değerleri grafiksel olarak “ h ” açıklığına (veya ayrışma uzaklığına) karşılık çizildiği için “*variogram*” olarak adlandırılır.

4.1. Bazı Temel İstatistiksel Tanımlar

Bir raslantı değişkeninin her hangi bir işleve (fonksiyona) bağlı oluşumundan alınan raslantısal bir örnek grubunun (verilerin) belirli bir kural çerçevesinde hesaplanan ve o raslantı değişkeninin bilinmeyen bir özeliğini ortaya koyan niceliğe *istatistik* adı verilir. Örneğin, belirli bir raslantı değişkenden alınan örneklerin oluşturduğu veri grubunun ortalaması, o raslantı değişkeninin tüm değerlerinin alabileceği ortalama ile ilgili bilgi verir. Bu durumda verilerin ortalaması bir istatistiktir. Diğer bir deyişle istatistik, bir veri grubunun karakteristik yapısını belirleyen bir nicelik, büyüklüktür.

İstatistikler genel olarak verilerin dağılım boyunca yerini, yayılımını, ve şeklini ölçen istatistikler olarak üç gruba ayrılırlar. Birinci grup istatistikler verilerin belirli bir bölümünün, veri dağılımının neresinde bulunduğu ile ilgili bilgi verirler. Örneğin ortalama (mean), ortanca (medyan) ve mod bu tür istatistiklerdir ve farklı anlamlarda dağılımın merkezini tanımlarlar. İkinci grup istatistikler verilerin dağılım içindeki değişkenlik düzeylerini verirler. Örneğin varyans ve standart sapma bu tür istatistiklerdir. Üçüncü grup istatistikler ise, veri dağılımdaki çarpıklığı (skewness), basıklığı (kurtosis), vs verirler.

4.1.1. Ortalama

Bir veri grubunun aritmetik ortalaması kısaca “*ortalama*” olarak anılır ve $(\bar{x})$ olarak simgelenerek, izleyen bağıntı ile hesaplanır. Burada “ n ” veri grubunu oluşturan toplam veri sayısını ve $x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n$ ise veri grubunu oluşturan verileri simgelemektedir.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \dots\dots\dots (4.1)$$

Eğer bir veri grubunun ortalaması, o veri grubunun örneklendiği raslantı değişkeninin belirli bir olasılık dağılımı içinde alacağı tüm değerlerin ortalamasını temsil ettiği

düşünülürse, bu durumda ortalama “ μ ” ile simgelenir ve o raslantı değişkeninin “*umulan değer*”ini, yani o değişkenin tüm değerleri arasından alınacak bir örneğin alacağı umulan olası değeri verir.

4.1.2 Varyans

Bir veri grubunu oluşturan verilerin ortalama değerden ne kadar değişiklik gösterdiklerinin ölçüsü “*varyans*” olarak anılır ve “ S^2 ” ile simgelenerek, izleyen bağıntı ile hesaplanır.

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

Bu denklemdeki katsayı genellikle “ $1/n$ ” olarak alınır da [11], burada daha doğru bir yaklaşım olarak “ $1/n-1$ ” alınmıştır.[14] Eğer bir veri grubunun varyansı, o veri grubunun örneklendiği raslantı değişkenin belirli bir olasılık dağılımı içinde alacağı tüm değerlerin varyansını temsil ettiği düşünülürse, bu durumda varyans “ σ^2 ” ile simgelenir ve o raslantı değişkeninin alacağı tüm değerlerin ortalama (μ) etrafındaki olasılık dağılımının değişimini (varyansını) verir.

4.1.3. Standart Sapma

Bir veri grubunu oluşturan verilerin varyansının pozitif karekökü “*standart sapma*” olarak anılır ve (S) ile simgelenerek, izleyen bağıntı ile hesaplanır.

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \dots\dots\dots (4.3)$$

Eğer bir veri grubunun standart sapması, o veri grubunun örneklendiği raslantı değişkenin belirli bir olasılık dağılımı içinde alacağı tüm değerlerin standart sapmasını temsil ettiği düşünülürse, bu durumda standart sapma “ σ ” ile simgelenir ve o raslantı değişkeninin alacağı tüm değerlerin arasından alınacak bir örneğin ortalamadan (μ) olan standart sapmasını verir.

4.2. Variogram

Bir bölge içindeki bir raslantı değişkenin o bölge içinde tanımlandığı noktalar ile bu noktalarda aldığı değerler arasındaki fark, bu noktalar arasındaki uzaklığın bir işlevi,

yani fonksiyonudur. Raslantı değişkenin o noktalarda aldığı değerler arasındaki benzerliğin azalan uzaklıkla artması ve artan uzaklıkla azalması beklenir. Bölgesel raslantı değişkenin tanımlanmış olduğu noktalarda aldığı değerlerin uzaklığa bağlı değişimleri, jeostatistikte variogram fonksiyonu ile belirlenir.[11] İzleyen bağıntı ile hesaplanan variogram fonksiyonu ve parametreleri **Şekil 3.1**'de gösterilmektedir.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i) - Z(x_i + h)]^2 \quad \dots\dots\dots (4.4)$$

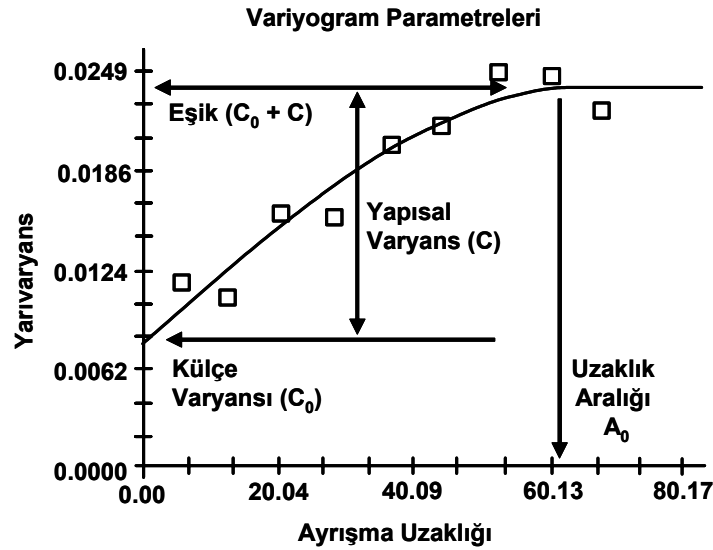
bu bağıntıda,

n : örnek çifti sayısı

$Z(x_i)$: x_i noktasındaki değişkenin değeri

$Z(x_i + h)$: x_i noktasından “h” bir noktada değişkenin değeri

$\gamma(h)$: birbirinden “h” ayrışma uzaklığındaki noktaların variogram değeri



Şekil 4.1 : Deneysel Bir Variogram Grafiği.

Bir variogram modeli üç parametre ile tanımlanır : yapısal uzaklık “ A_0 ”, külçe etkisi (nugget effect) “ C_0 ”, ve eşik (sill) “ $C_0 + C$ ”. Yapısal uzaklık aralığı (range), bir bölge içinde kalan ve belirtilen bir nokta ile o noktanın değerini etkileyen diğer noktalara olan uzaklık (açıklık veya ayrışma) değeridir. Bu uzaklığın dışındaki noktaların ise belirtilen bir noktadaki değere etkileri yoktur. Eşik (sill) variogram fonksi-

yonunun sabitleştiği noktadır. Pratikte eşik, variogramı hesaplamak için kullanılan tüm örneklemelerin varyansıdır. Külçe etkisi (nugget effect) variogramın $h = 0$ uzaklığında aldığı değerdir ; bölgesel homojenliği ifade eder. Yüksek değerdeki külçe etkisi, noktalar arasındaki ilişkinin zayıf bir şekilde geniş bir sahaya yayıldığını, ilişkinin küçük boyutlarda yoğunlaştığını gösterir.

İki nokta arasındaki açıklık (ayırışma uzaklığı) sıfır ($h = 0$) olduğunda, variogramın değeri teorik olarak sıfıra eşit olsa da, uzaklığa bağlı değişimin verilerden belirlenebileceği bir sınır uzaklık vardır. Sınır uzaklık bütün örnekler içinde birbirine en yakın iki örnek arasındaki uzaklıktır. Pratik olarak bu uzaklıktan daha küçük uzaklıklarda, değerler arasındaki farkın değişimi veri olmadan belirlenemez ve bu durum variogramın orijininde bir süreksizliğe (sıfırdan farklı pozitif bir değer almasına) yol açar. Variogramda bu durum külçe (nugget) etkisi şeklinde ortaya çıkar ve “ C_0 ” ile simgelenir.

Variogram iki rastlantı değişkeni arasındaki farkın varyansı olarak tanımlandığından hiçbir zaman negatif değer alamaz. Diğer bir anlatım ile,

$$\gamma(h) \geq 0 \quad \text{.....} \quad (4.5)$$

koşulu ortaya çıkar. Variogram simetrik bir fonksiyondur ve dolayısıyla

$$\gamma(h) = \gamma(-h) \quad \text{.....} \quad (4.6)$$

koşulu her zaman geçerlidir. Variogramın sonsuzdaki artışı “ h^2 ”nin artışından daha yavaştır. Dolayısıyla izleyen koşul ortaya çıkar.

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{\gamma(h)}{h^2} = 0 \quad \text{.....} \quad (4.7)$$

4.2.1. Deneysel Variogramın Hesaplanması

Aşağıdaki uygulama bir kömür cevheri için deneysel variogram hesaplanmasına örnek gösterilebilir. Burada “ k_i ” kömür cevherinin her bir “ h ” uzaklığındaki kalınlığını ve “ k_{i+h} ” ise k_i ’den “ h ” uzaklığında bir noktadaki kömür kalınlığını simgeler. Buna göre her “ i ” noktası için ($i = 1, 2, 3, \dots, 20$) izleyen fonksiyonlar hesaplanır ve daha sonra her bir “ h ” uzaklığına karşı variogramın değeri grafiğe çizilir.

$$\begin{aligned}
\gamma_1 &= \frac{1}{2 \times 19} \left[(k_1 - k_2)^2 + (k_2 - k_3)^2 + (k_3 - k_4)^2 + \dots + (k_{19} - k_{20})^2 \right] \\
\gamma_2 &= \frac{1}{2 \times 18} \left[(k_1 - k_3)^2 + (k_2 - k_4)^2 + (k_3 - k_5)^2 + \dots + (k_{18} - k_{20})^2 \right] \\
\gamma_3 &= \frac{1}{2 \times 17} \left[(k_1 - k_4)^2 + (k_2 - k_5)^2 + (k_3 - k_6)^2 + \dots + (k_{17} - k_{20})^2 \right] \dots \dots \dots (4.8) \\
\gamma_h &= \frac{1}{2 \times (n - h)} \sum_{i=1}^{n-h} (k_i - k_{i+h})^2
\end{aligned}$$

4.2.2. Variogram Modelleri

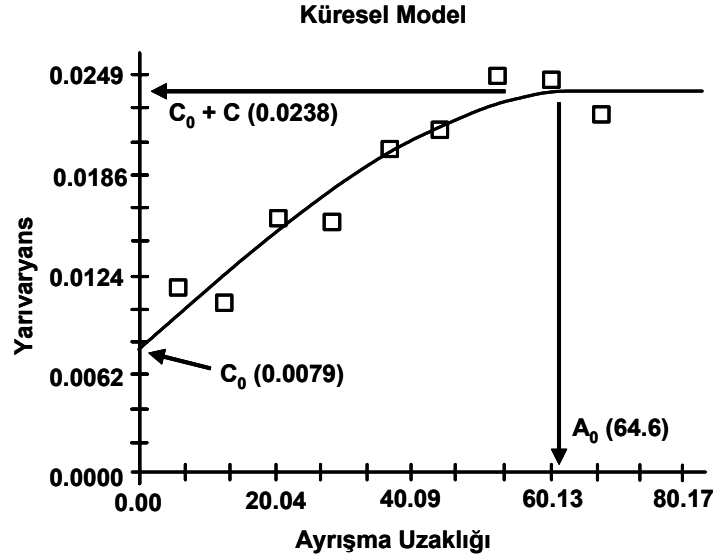
Variogram değerleri deneysel variogramlardan belirli uzaklıklar için hesaplanır ve bunun dışındaki uzaklıklarda variogram değerleri bilinmez. Bölgesel değişkenin özelliklerinin belirlenmesinde ve özellikle örneklenmemiş noktadaki değerlerinin kestiriminde variogramı bütün uzaklıklarda bilmek gerekir. Bu ise variogram modellemeyi yani variogram değerlerine bir fonksiyon uyarlamayı gerektirir. Günümüzde kullanılan variogram modelleri genel olarak öncelikle izotropik veya anizotropik olmasına ve sonra da eşikli (silli) ve eşiksiz (silsiz) olmasına göre ayrıca iki gruba ayrılırlar.

Anizotropik modeller 0°, 45°, 90° ve 135° derece yönlerindeki eşikli modellerdir ve variogram denklemlerindeki bazı küçük farklılıklara rağmen genel olarak izotropik modellerdeki grafiksel yapılarını korurlar. Dolayısıyla, izotropik ve anizotropik modellerin matematiksel özellikleri hemn hemen aynıdır. Eşikli modeller kendi içinde küresel model ve doğrusal (lineer) model iki gruba ayrılırlar. Eşiksiz modeller ise kendi içinde üssel (eksponansiyel) model, doğrusal (lineer) model ve Gauss modeli olarak üç gruba ayrılırlar. Buna göre, variogram modelleri izleyen biçimde sınıflanmaktadır. Aşağıda bu modeller kısa ve öz olarak tanıtılmaktadır.

	İzotropik Modeller	Anizotropik Modeller
Eşikli Modeller	Küresel Model	Küresel Model
	Doğrusal (Lineer) Model	Doğrusal (Lineer) Model
Eşiksiz Modeller	Üssel (Eksponansiyel) Model	Üssel (Eksponansiyel) Model
	Doğrusal (Lineer) Model	Doğrusal (Lineer) Model
	Gauss modeli	Gauss modeli

4.2.2.1. Eşikli Küresel İzotropik Model

Yaygın şekilde kullanılan bir variogram modelidir ve grafiğinin karakteristik özellikleri Şekil 4.2'deki örnekte görülmektedir. Azalarak artan bir eğime sahip olan bu modelin benzediği üssel modelden farkı belirli bir eşik değerine sahip olmasıdır.



Şekil 4.2 : Eşikli Küresel İzotropik Model Variogram Grafiği.

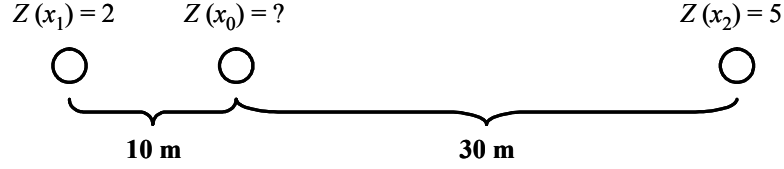
Eşikli küresel izotropik modelde variogram izleyen denklem ile hesaplanır. Bu denklemde “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı, “ C ” yapısal varyans, “ A_0 ” yapısal uzaklık aralığı, ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşikli küresel izotropik variogram değeridir.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3h}{2A_0} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{A_0} \right)^3 \right], \quad h \leq A_0$$

$$\gamma(h) = C_0 + C, \quad h > A_0$$

(4.9)

Şekil 4.3'te görülen örnekle bu variogram modeli uygulamalı olarak açıklanmaktadır. Burada farklı uzaklıklarda bulunan üç kömür cevherinden ikisinin kalınlığı verilmiş olup $Z(x_0)$ 'ın kömür kalınlığı küresel modele göre kriging işlemine sokulmaktadır. Bu örnekte, $C_0 = 0$, $C = 20$, $h = 10$, ve $A_0 = 20$ değerlerini almaktadırlar.



Şekil 4.3 : Üç Örnekli Variogram Uygulaması.

“ $Z(x_0)$ ” noktasında variogram sıfır olduğu için, $\gamma_{11} = \gamma_{22} = 0$ olur. Yapısal uzaklık aralığından (A_0) daha büyük olan uzaklıklarda variogram yapısal varyans “ C ” değerini aldığı için, $\gamma_{12} = \gamma_{21} = C = 20$ olur. Buna göre $Z(x_0)$ ve $Z(x_1)$ arasındaki variogram değeri (γ_{01}) izleyen biçimde hesaplanır.

$$\gamma_{01} = C \left[\frac{3h}{2A_0} - \frac{h^3}{2A_0^3} \right] = 20 \times \left[\frac{3 \times 10}{2 \times 20} - \frac{10^3}{2 \times 20^3} \right] = 13.76$$

Benzer biçimde, $Z(x_0)$ ve $Z(x_2)$ arasındaki variogram değeri “ γ_{02} ” olup, bu iki nokta arasındaki uzaklık A_0 ’dan büyük olduğu için yapısal varyans değerini alır ve $\gamma_{02} = 20$ olur. Bu değerler denklem sisteminde yerlerine yazılırsa,

$$\lambda_1 \gamma_{11} + \lambda_2 \gamma_{12} + m = \gamma_{01}$$

$$0 + 20 \lambda_2 + m = 13.76$$

$$20 \lambda_2 + m = 13.76$$

$$\lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{22} + m = \gamma_{02}$$

$$20 \lambda_1 + 0 + m = 20$$

$$20 \lambda_1 + m = 20$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 = 1$$

$$\lambda_1 = 0.656, \quad \lambda_2 = 0.344, \quad m = 6.88$$

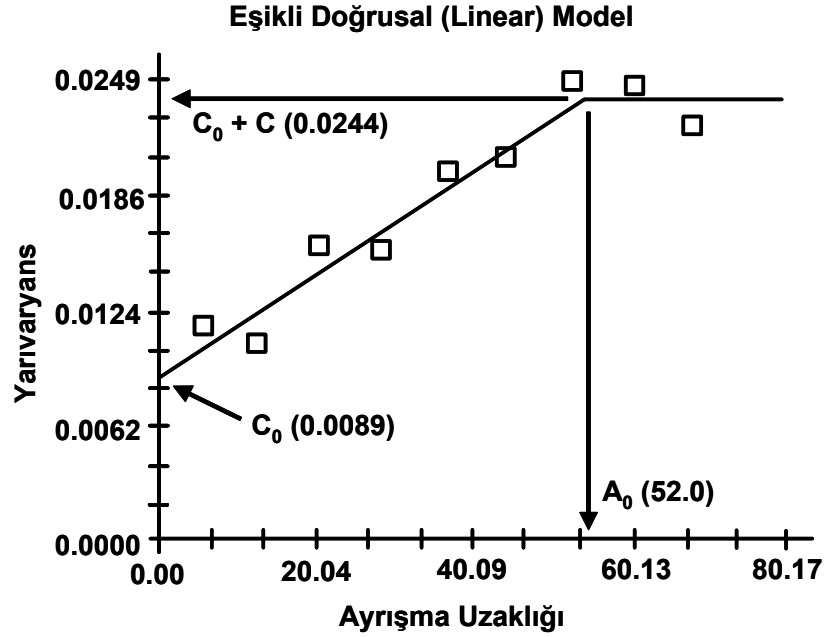
$$Z' = \sum_{i=1}^n \lambda_i x_i = \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 + \dots + \lambda_n x_n$$

$$Z' = \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2 = (0.656)(2) + (0.344)(5) = 3.03$$

sonuçları elde edilir. Burada “ λ_1 ” ve “ λ_2 ” değerleri ağırlık katsayıları olup, yakın mesafede ilişkiyi güçlendirmek, uzak mesafede ise zayıflatmak için variogram değerlerinin başına çarpan olarak gelirler. Uzak mesafede büyük, yakın mesafede küçük değer olarak variogram değeriyle ters orantılı bir şekilde işleme sokulmuş olurlar. Böylece, yakın mesafedeki variogram değeri büyük, uzak mesafedeki ise küçük bir değer olarak elde edilir. Burada “ m ” durağan (sabit) bir değerdir ve Z' ise $Z(x_0)$ ’ın hesaplanan kömür kalınlığıdır.

4.2.2.2. Eşikli Doğrusal (Lineer) İzotropik Model

Grafiğinin karakteristik özellikleri Şekil 4.4'teki örnekte görülen bu modelde variogramın sabitlendiği bir eşik (sill) vardır.



Şekil 4.4 : Eşikli Doğrusal (Lineer) İzotropik Model Variogram Grafiği.

Eşikli doğrusal izotropik modelde variogram izleyen denklem ile hesaplanır. Bu denklemde “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ A_0 ” yapısal uzaklık aralığı, ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşikli doğrusal izotropik variogram değeridir.

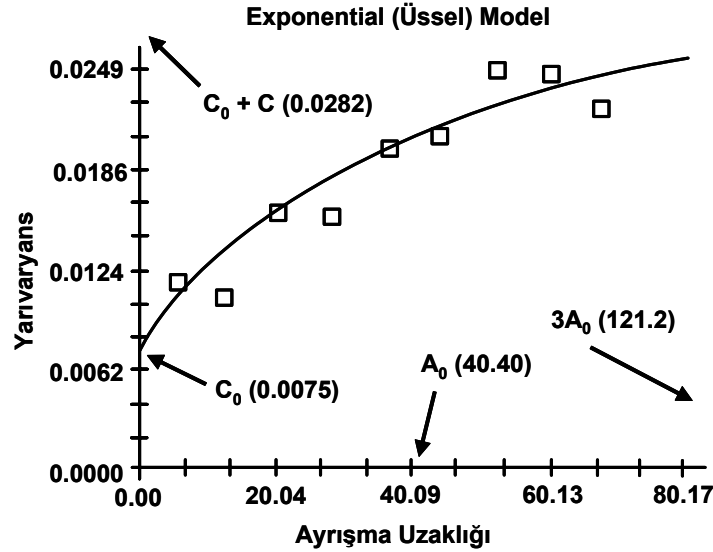
$$\gamma(h) = C_0 + \left[h \frac{C}{A_0} \right], \quad h \leq A_0$$

$$\gamma(h) = C_0 + C, \quad h > A_0 \quad (4.10)$$

4.2.2.3. Eşiksiz Üssel (Eksponansiyel) İzotropik Model

Üssel modelde “ A_0 ” yapısal uzaklık aralığı değildir ve eşik %95’indeki mesafe yapısal uzaklık aralığı kabul edilir, ki bu da $3A_0$ olarak hesaplanır. Grafiğinin karakteristik özellikleri Şekil 4.5’te görülen bu model durağan (sabit) artan eğime sahiptir

ve eşiğe ulaştığı noktada birden yassılaşır. Verilerin gerçek ve kestirim değerlerinin birbirlerine karşı çizilerek, kestirimin geçerlilik düzeyini görmek üzere uygulanan “çapraz doğrulama” (cross validation) yönteminde genelde büyük standart sapmaya yol açar. Bu yönleriyle eşikli küresel izotropik modelden daha az tercih edilir.



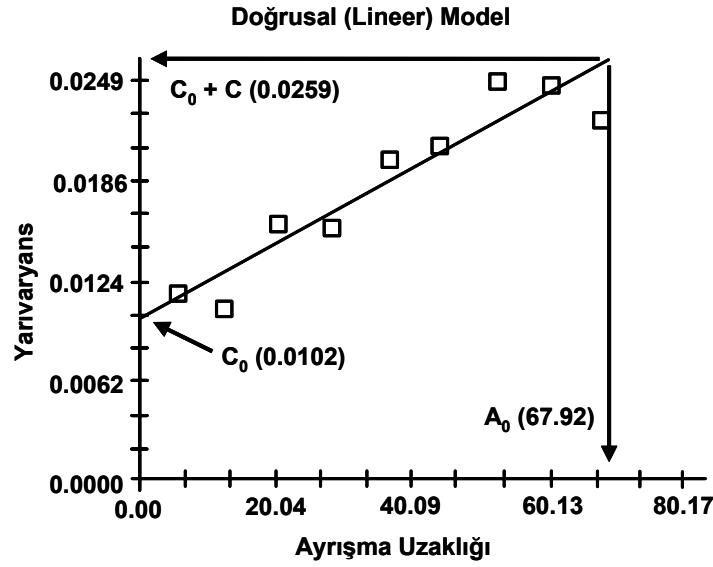
Şekil 4.5 : Eşiksiz Eksponansiyel (Üssel) İzotropik Model Variogram Grafiği.

Eşiksiz üssel (eksponansiyel) izotropik modelde variogram izleyen denklemle hesaplanır. Bu denklemde “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ A_0 ” yapısal uzaklık aralığı parametresi (yapısal uzaklık aralığı değil), ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşiksiz üssel izotropik variogram değeridir.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{\left(\frac{-h}{A_0} \right)} \right] \dots\dots\dots (4.11)$$

4.2.2.4. Eşiksiz Doğrusal (Lineer) İzotropik Model

Bu modelde de “ A_0 ” yapısal uzaklık aralığı değildir ve eşikğin %95’indeki mesafe yapısal uzaklık aralığı kabul edilir, ki bu da $3A_0$ olarak hesaplanır. Grafiğinin karakteristik özellikleri **Şekil 4.6**’da görülen bu model eşikli küresel izotropik modele benzemekte ise de, eşikçe sahip olmaması yönüyle farklıdır.



Şekil 4.6 : Eşiksiz Doğrusal (Lineer) İzotropik Model Variogram Grafiği.

Eşiksiz doğrusal izotropik modelde variogram izleyen denklem ile hesaplanır.

$$\gamma(h) = C_0 + \left[h \frac{C}{A_0} \right] \dots\dots\dots (4.12)$$

Bu denklemde “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ A_0 ” yapısal uzaklık aralığı parametresi (yapısal uzaklık aralığı değil), ve “ $\gamma(h)$ ” eşiksiz doğrusal izotropik variogram değeridir.

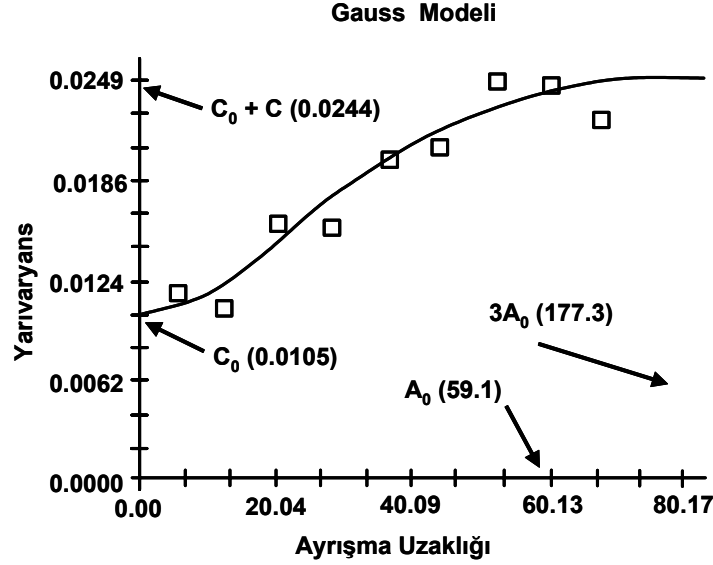
4.2.2.5. Eşiksiz Gauss İzotropik Modeli

Gauss modeli orijinde parabolik davranış gösteren tek variogram modelidir. Grafiğinin karakteristik özellikleri **Şekil 4.7**’de görülen bu model önce artan sonra azalan eğimli bir artışa sahiptir. İlişkinin yakın mesafede güçlü, uzak mesafede zayıf kaldığı bir yöntemdir ve bu yönüyle eşikli küresel izotropik model ile eşiksiz üssel izotropik modele benzemektedir.

Eşiksiz Gauss izotropik modelinde variogram izleyen denklem ile hesaplanır.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{\left(\frac{-h^2}{A_0^2} \right)} \right] \dots\dots\dots (4.13)$$

Bu denklemde “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ A_0 ” yapısal uzaklık aralığı parametresi (yapısal uzaklık aralığı değil), ve “ $\gamma(h)$ ” eşiksiz Gauss izotropik variogram değeridir.



Şekil 4.7 : Eşiksiz Gauss İzotropik Modeli Variogram Grafiği.

4.2.2.6. Eşikli Küresel Anizotropik Model

Yaygın şekilde kullanılan bir variogram modelidir ve grafiğinin karakteristik özellikleri Şekil 4.8’deki örnekte görülmektedir. Azalarak artan bir eğime sahip olan bu modelin benzediği üssel modelden farkı belirli bir eşik değerine sahip olmasıdır. Eşikli küresel anizotropik modelde variogram izleyen denklem ile hesaplanır.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[\frac{3h}{2A} - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{A} \right)^3 \right], \quad h \leq A$$

..... (4.14)

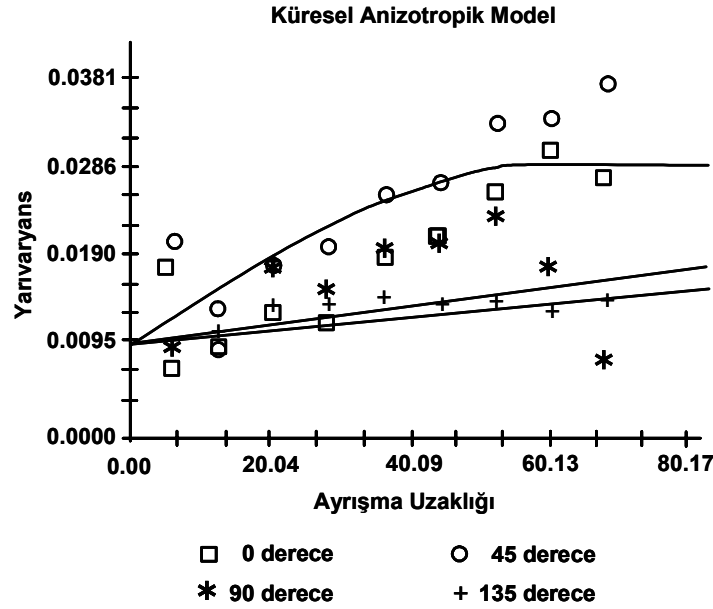
$$\gamma(h) = C_0 + C, \quad h > A$$

Bu denklemde,

$$A = \sqrt{A_1^2 [\cos^2(\theta - \phi)] + A_2^2 [\cos^2(\theta + \phi)]}$$

olarak tanımlanmış olup, “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ ϕ ” maksimum değişme açısı, “ θ ” veri çift-

leri arasındaki açı, “ A_1 ” birinci eksen (ϕ) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, “ A_2 ” ikinci eksen ($\phi + 90$) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşikli küresel anizotropik variogram değeridir.



Şekil 4.8 : Eşikli Küresel Anizotropik Model Variogram Grafiği.

4.2.2.7. Eşikli Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model

Grafiğinin karakteristik özellikleri **Şekil 4.9**'da görülen bu modelde variogramın sabitlendiği bir eşik (sill) vardır. Eşikli doğrusal anizotropik modelde variogram izleyen denklem ile hesaplanır.

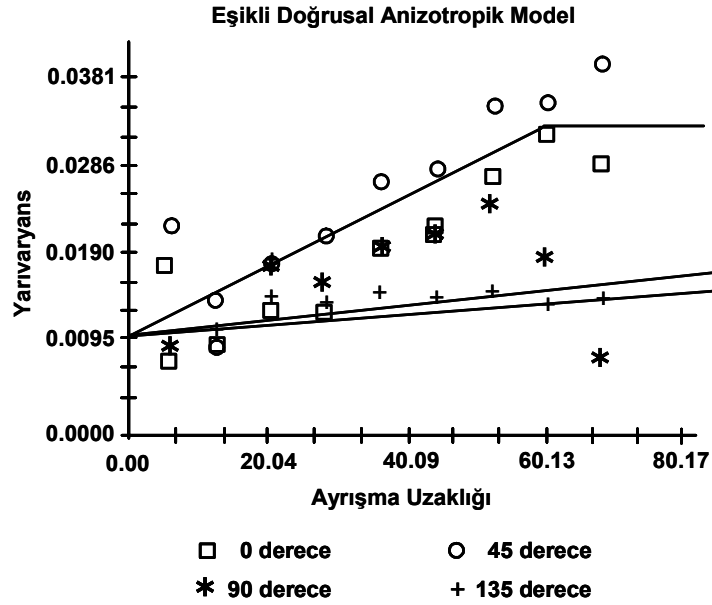
$$\begin{aligned} \gamma(h) &= C_0 + \left[h \frac{C}{A} \right], \quad h \leq A \\ \gamma(h) &= C_0 + C, \quad h > A \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (4.15)$$

Bu denklemde,

$$A = \sqrt{A_1^2 [\cos^2(\theta - \phi)] + A_2^2 [\cos^2(\theta - \phi)]}$$

olarak tanımlanmış olup, “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ ϕ ” maksimum değişme açısı, “ θ ” veri çift-

leri arasındaki açı, “ A_1 ” birinci eksen (ϕ) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, “ A_2 ” ikinci eksen ($\phi + 90$) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşikli doğrusal anizotropik variogram değeridir.



Şekil 4.9 : Eşikli Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model Variogram Grafiği.

4.2.2.8. Eşiksiz Üssel (Ekspansiyel) Anizotropik Model

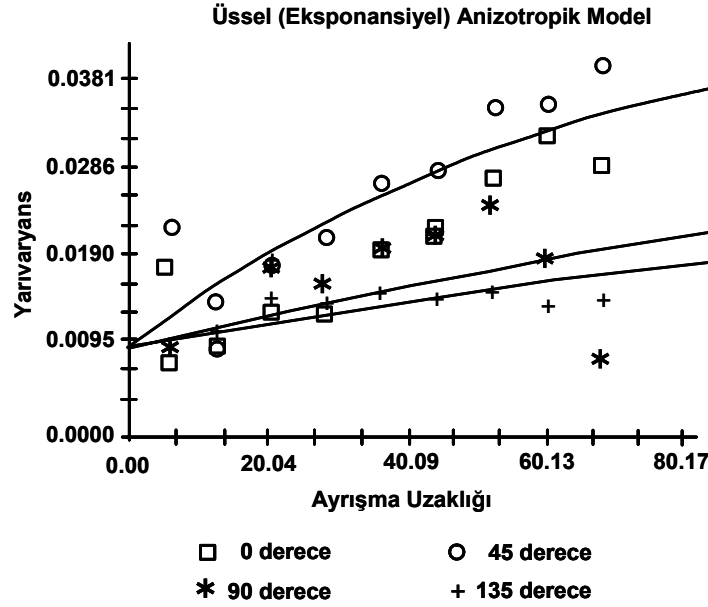
Grafiğinin karakteristik özellikleri Şekil 4.10’da görülen bu model durağan (sabit) artan eğime sahiptir. Verilerin gerçek ve kestirim değerlerinin birbirlerine karşı çizilerek, kestirimin geçerlilik düzeyini görmek üzere uygulanan “çapraz doğrulama” (cross validation) yönteminde genelde büyük standart sapmaya yol açar ; bu yönleriyle eşiksiz küresel anizotropik modele göre daha az tercih edilir. Eşiksiz üssel anizotropik modelde variogram izleyen denklem ile hesaplanır.

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{\left(\frac{-h}{A} \right)} \right] \dots\dots\dots (4.16)$$

Bu denklemde,

$$A = \sqrt{A_1^2 [\cos^2(\theta - \phi)] + A_2^2 [\sin^2(\theta - \phi)]}$$

olarak tanımlanmış olup, “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ ϕ ” maksimum değişme açısı, “ θ ” veri çiftleri arasındaki açı, “ A_1 ” birinci eksen (ϕ) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, “ A_2 ” ikinci eksen ($\phi + 90$) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşiksiz üssel (eksponansiyel) anizotropik variogram değeridir.



Şekil 4.10 : Eşiksiz Üssel (Eksponansiyel) Anizotropik Model Variogram Grafiği.

4.2.2.9. Eşiksiz Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model

Grafiğinin karakteristik özellikleri **Şekil 4.11**'de görülen bu modelde eşik yoktur ve variogram izleyen denklem ile hesaplanır.

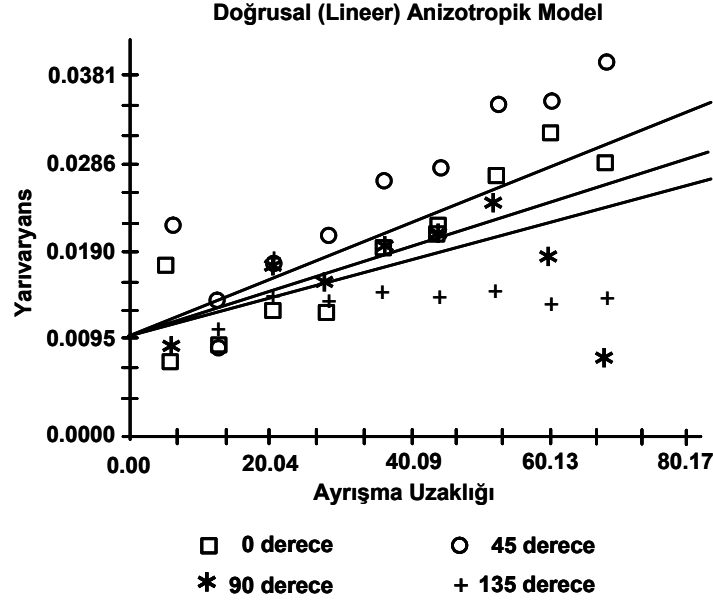
$$\gamma(h) = C_0 + \left[h \frac{C}{A} \right] \dots\dots\dots (4.17)$$

Bu denklemde,

$$A = \sqrt{A_1^2 [\cos^2(\theta - \phi)] + A_2^2 [\cos^2(\theta - \phi)]}$$

olarak tanımlanmış olup, “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ ϕ ” maksimum değişme açısı, “ θ ” veri çiftleri arasındaki açı, “ A_1 ” birinci eksen (ϕ) için yapısal uzaklık aralığı parametresi,

“ A_2 ” ikinci eksen ($\phi + 90$) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşiksiz doğrusal (linear) anizotropik variogram değeridir.



Şekil 4.11 : Eşiksiz Doğrusal (Lineer) Anizotropik Model Variogram Grafiği.

4.2.2.10. Eşiksiz Gauss Anizotropik Modeli

Aslında parabolik davranış gösteren ve grafiksel davranışının karakteristik özellikleri Şekil 4.12’de görülen bu variogram modeli önce artan sonra azalan eğimli bir artışa sahiptir. İlişkinin yakın mesafede güçlü, uzak mesafede zayıf kaldığı bir yöntemdir. Eşiksiz Gauss anizotropik modelinde variogram izleyen denklem ile hesaplanır.

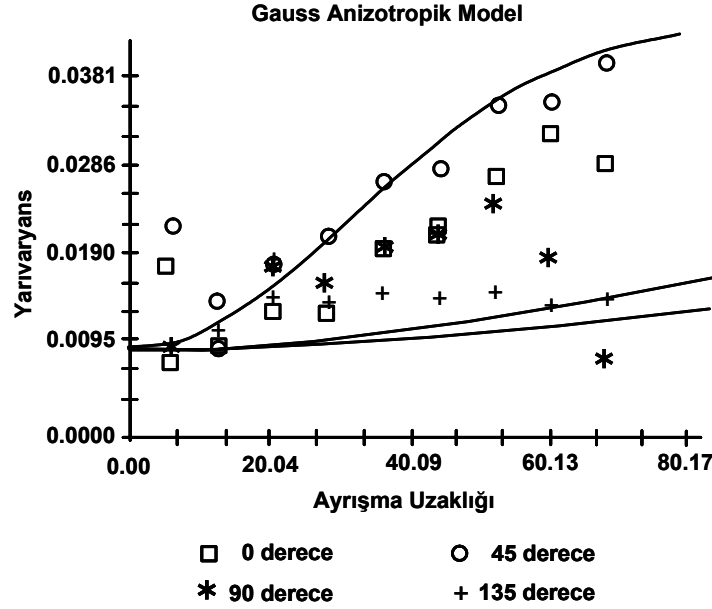
$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - e^{\left(\frac{-h^2}{A^2} \right)} \right] \dots\dots\dots (4.18)$$

Bu denklemde,

$$A = \sqrt{A_1^2 [\cos^2(\theta - \phi)] + A_2^2 [\sin^2(\theta - \phi)]}$$

olarak tanımlanmış olup, “ h ” noktalar arasındaki ayrışma uzaklığı, “ C_0 ” külçe varyansı (≥ 0), “ C ” yapısal varyans ($\geq C_0$), “ ϕ ” maksimum değişme açısı, “ θ ” veri çift-

leri arasındaki açı, “ A_1 ” birinci eksen (ϕ) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, “ A_2 ” ikinci eksen ($\phi + 90$) için yapısal uzaklık aralığı parametresi, ve “ $\gamma(h)$ ” de h uzaklığı için eşiksiz Gauss anizotropik variogram değeridir.



Şekil 4.12 : Eşiksiz Gauss Anizotropik Model Variogram Grafiği.

4.3. Kriging

Kriging jeoistatistiksel bir değer bulma yöntemi olup, koordinatı belirli bir noktanın veya bu noktaların oluşturdukları bir blok içinde raslantı değişkeninin kestirim değeri, çevredeki noktalarda alınmış örneklerin değerlerinin lineer kombinasyonu olarak hesaplanır. Bu lineer kombinasyonun durağan katsayıları variogramlardan dolaylı olarak elde edilir. Hatanın en küçük (minimum) olduğu bir yöntemdir. Eğer bir noktanın veya bloğun gerçek değeri “ z ” ve kestirim (hesaplanmış) değeri “ z^* ” ise, hatanın en küçük (minimum olması için tüm noktalar ve bloklarda $(z - z^*)$ farkının varyansının en küçük olması gerekir.[12] Böylece kriging kestirimi için izleyen matematiksel işlev tanımlanır.

$$z^*(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i z(x_i) = \lambda_1 z(x_1) + \lambda_2 z(x_2) + \dots + \lambda_n z(x_n) \dots\dots\dots (4.19)$$

Denk.(4.19)'da “ $z^*(x_0)$ ” terimi “ x_0 ” noktasındaki bilinmeyen ancak kestirilen değeri, “ $z(x_i)$ ” terimi “ x_0 ” noktasındaki değerin kestirimi için kullanılacak verilerin değerlerini ve “ λ_i ” ise bu verilere atanacak ağırlıkları simgelemektedir. Bu durumda, “ x_i ” noktalarındaki değişken değerlerinin biliniyor olması gerekir. Değerleri bilinen bu verilere atanacak ağırlıklar (λ_i), varyansı en küçük olacak ve kestirim hatalarının ortalaması “sıfır” olacak şekilde hesaplanırlar. Zaten “*kriging*” de ağırlıkların bu kurala göre belirlenmesi işlemidir.[11]

Buradan görüldüğü gibi, bir variogram fonksiyonu bir raslantı değişkeninin belirli bir bölge içinde çeşitli özelliklerinin sayısal olarak belirlenmesini sağladığı gibi, örneklenmemiş noktalarda o değişkenin bilinmeyen değerlerinin belirli bir kurala göre (kriging) kestirimini de sağlayabilmektedir.

Bu çalışmada yalnızca adî (ordinary) kriging kullanıldığı için, burada yalnızca bu kriging tekniği kısaca tanıtılmaktadır. Adî (ordinary) kriging, noktasal kriging ve blok kriging olmak üzere iki gruba ayrılır.

4.3.1. Noktasal Kriging

Noktasal kriging denkleminin sistemi izleyen biçimde kurulur ve bir matris formuna getirilerek çözülebilir.

$$\begin{array}{ccccccc} \lambda_1 \gamma_{11} + \lambda_2 \gamma_{12} + \dots + \lambda_n \gamma_{1n} + m & = & \gamma_{01} \\ \lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{22} + \dots + \lambda_n \gamma_{2n} + m & = & \gamma_{02} \\ \vdots & & \vdots \\ \lambda_1 \gamma_{n1} + \lambda_2 \gamma_{n2} + \dots + \lambda_n \gamma_{nn} + m & = & \gamma_{0n} \end{array} \dots \dots \dots (4.20)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1$$

Bu denklem sisteminde “ m ” *Lagrange* sabiti olarak anılır, “ γ_{ij} ” değişkeni x_i ve x_j noktaları arasındaki uzaklığa bağlı variogram değeri olup, “ λ ” ağırlık katsayısını ve “ γ_{0n} ” variogram değerini simgeler.

4.3.2. Blok Kriging

Bu yöntemde sorun noktasal veriler kullanarak blokların ortalama değerlerinin kestirimi sorununa dönüştürülür ve noktasal krigingle elde edilen değerlerin ortalamasıyla elde edilir. Eğer variogram fonksiyonu biliniyorsa, Denk.(4.20)'de kriging sistemini

veren eşitliğin sağ tarafındaki vektörün “ γ_{0n} ” elemanlarını ortalama variogram değerleri $\bar{\gamma}(V, x_i)$ ile değiştirmek yeterli olur. Böylece kriging sistemi blok değerlerinin kestiriminde izleyen sisteme dönüşecektir.

$$\begin{array}{rcl}
 \lambda_1 \gamma_{11} + \lambda_2 \gamma_{12} + \dots + \lambda_n \gamma_{1n} + m & = & \gamma_{V_1} \\
 \lambda_1 \gamma_{21} + \lambda_2 \gamma_{22} + \dots + \lambda_n \gamma_{2n} + m & = & \gamma_{V_2} \\
 \vdots & & \vdots \\
 \lambda_1 \gamma_{n1} + \lambda_2 \gamma_{n2} + \dots + \lambda_n \gamma_{nn} + m & = & \gamma_{V_N}
 \end{array} \dots\dots\dots (4.21)$$

$$\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n = 1$$

Burada “ γ_{Vn} ” $\equiv \bar{\gamma}(V, x_i)$ olarak variogram ortalamalarını simgelemektedir.

5. GS⁺ YAZILIMI

GS⁺ (Geostatistics for the Environmental Sciences) yazılımı **Gamma Design Software** tarafından geliştirilmiş, çevre ve bununla ilişkili alanlarda yapılan veri değerlendirme çalışmalarında jeostatistik işlemler yapabilen ve basit de olsa kestirilen verileri haritalama özeliği bulunan bir bilgisayar programıdır.[15] Adi (ordinary) kriging yöntemiyle işlem yapan program, adi kriging yönteminde birbirleri arasında doğal ilişki olması beklenen bölgelerin ayrıca bir poligon içinde bırakılabilmelerine izin vermektedir. Böylece daha güvenilir kestirimler elde edilebilmektedir. Yazılım ayrıca, hesaplama hatalarının kestirimlerinin de haritalanabilmelerini sağlamaktadır. Haritalamada kullanılabilecek renk sayısı 16 ayrı renkle sınırlıdır. Programın önemli bir diğer özeliği, belirli bir x-y (veya enlem-boylam) koordinat çiftinin programın bir ara yüzüne girilmesiyle, bu koordinat çiftine ait değişken değerinin doğrudan elde edilebilmesini sağlamasıdır. GS⁺ yazılımının kullanımında işlemler programın çeşitli arayüzleri ile yapıldığından, bu arayüzlerin iyi tanınması ve anlaşılması gereklidir.

5.1. GS⁺ Programı Arayüzleri

GS⁺ programı bir çok arayüzün kullanılmasını gerekli kılar. Bu arayüzlerden en çok kullanılan ve önemli olanlar çalışma sayfası, istatistiksel tanımlama, veri koordinatları grafiği, varyans analizi, kriging interpolasyonu, çıktı sayfası, ve haritalama arayüzleridir.

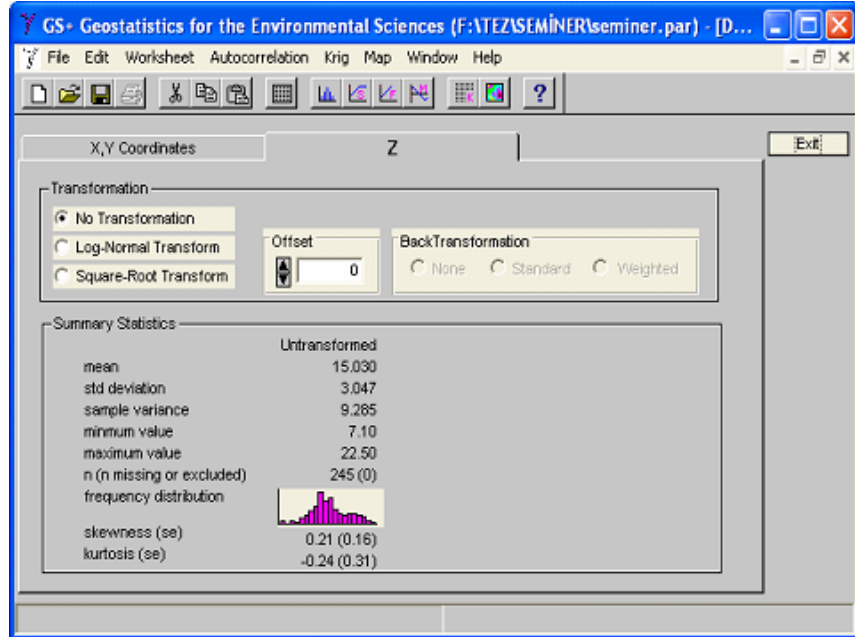
5.1.1. Çalışma Sayfası Arayüzü

GS⁺ programının ait bir çalışma sayfasının bilgisayar ekranında görüldüğü hali **Şekil 5.1**'de verilmektedir. Bu çalışma sayfasında birinci sütun “x” koordinatlarını (veya boylamları), ikinci sütun “y” koordinatlarını (veya enlemleri), ve üçüncü sütun bu koordinat çiftlerinin her birindeki ölçülmüş verileri içermektedir. Örneğin **Şekil**

5.1’de ölçülmüş veri olarak girilmiş değerler, bu çalışmada kullanılan 245 sıcaklık istasyonunda ölçülmüş yüzey (-1m derinlikteki) sıcaklık verileridir.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	X-Coord	Y-Coord	Z												
Name:															
Row 1	29.33	37.42	14.50												
2	35.33	37.00	20.40												
3	36.30	37.75	17.00												
4	36.00	38.25	13.00												
5	39.53	39.75	13.90												
6	38.72	39.95	14.70												
7	43.05	39.72	7.10												
8	42.50	39.77	12.30												
9	39.58	41.82	15.60												
10	31.13	41.08	14.50												
11	27.85	39.92	16.00												
12	34.08	39.38	15.10												
13	31.42	39.35	13.90												
14	32.50	39.55	21.70												
15	35.83	40.65	15.40												
16	32.83	39.08	21.10												
17	32.88	39.95	14.20												
18	36.17	39.30	19.70												
19	39.10	39.88	20.50												
20	38.50	39.95	13.20												
21	42.72	41.12	7.20												
22	43.35	40.88	6.70												
23	41.82	41.19	12.20												
24	27.85	37.85	19.40												
25	26.70	39.32	16.70												

Şekil 5.1 : GS⁺ Programı Veri Sayfası Arayüzü.



Şekil 5.2 : GS⁺ Programı İstatistiksel Tanımlama Arayüzü.

5.1.2. İstatistiksel Tanımlama Arayüzü

Çalışma sayfasındaki verilerle ilgili bazı istatistiksel değerler, bu sayfa üzerindeki istatistiksel tanımlayıcı düğmeye (butona) basılarak doğrudan ve otomatik olarak elde edilirler. Bu arayüzün girilen ham veriler için sağladığı istatistiksel değerler,

- Ortalama (mean)
- standart sapma (standard deviation)
- varyans (variance)
- en düşük veri, (örneğin, burada minimum sıcaklık)
- en yüksek veri, (örneğin, burada maksimum sıcaklık)
- sıklık (frekans) dağılımı
- eğrilik (skewness)
- basıklık (kurtosis)

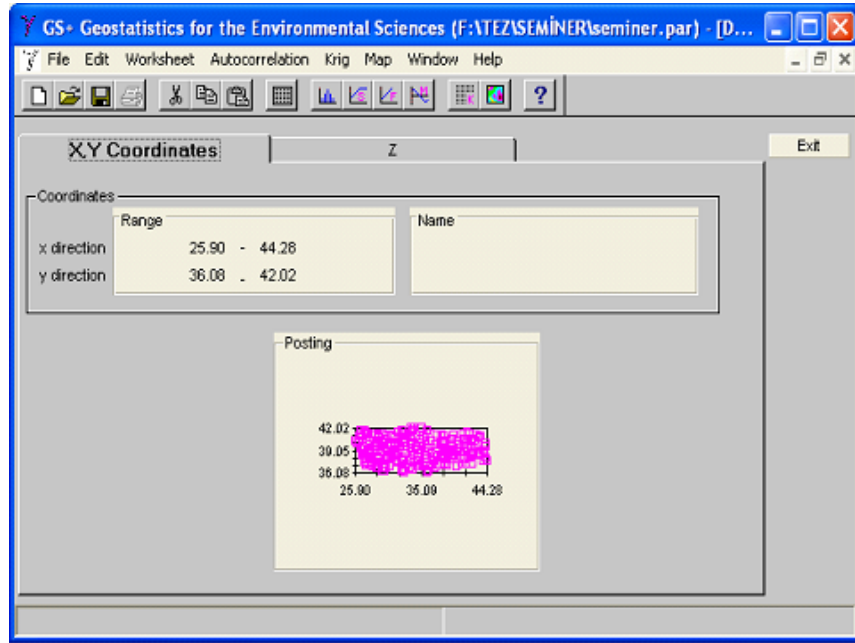
değerleridir. **Şekil 5.2** istatistiksel tanımlama arayüzünün bilgisayar ekranındaki tipik görünümüne bir örnek oluşturmaktadır. Bu arayüzde sağlanan değerler çalışma sayfasındaki verileri bir bütün olarak tanımlamaktadır. Eğrilik ve basıklık değerleri sıklık (frekans) dağılımı grafiğinin normal dağılımla ilişkisini göstermektedir.

5.1.3. Veri Koordinatları Grafiği Arayüzü

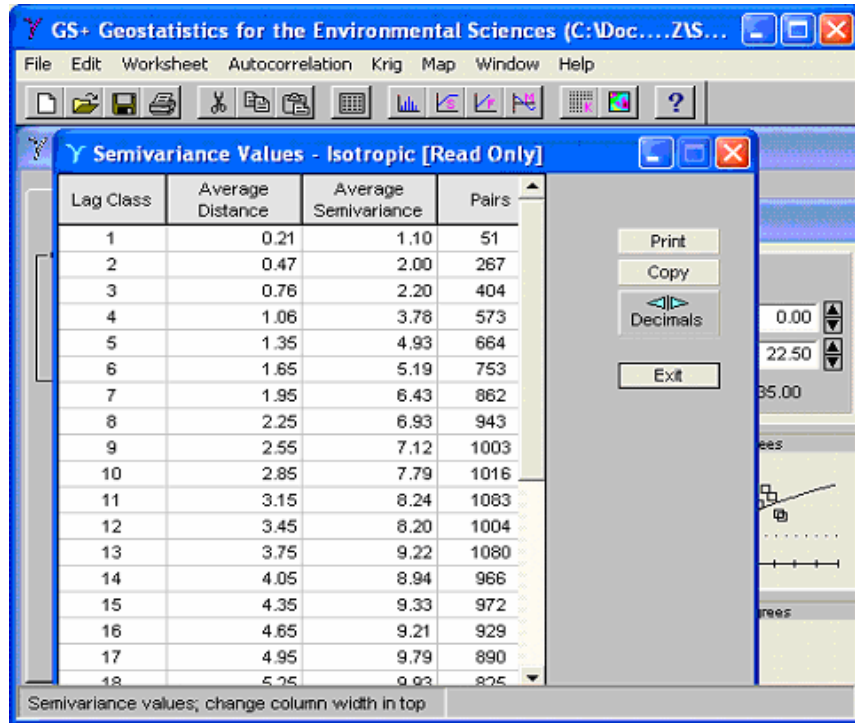
Bu arayüzde verilerin koordinatlarına göre araştırma alanı üzerindeki dağılımları grafiksel olarak görüntülenebilmekte, “x-y” koordinatlarının veya enlem ve boylam çiftlerinin sınır değerleri belirtilmektedir. **Şekil 5.3** veri koordinatları grafiği arayüzünün bilgisayar ekranındaki tipik görünümüne bir örnek oluşturarak, verilerin sınır değerlerini vermekte ve aynı zamanda koordinatlarına göre alansal dağılımlarını ve grafiksel görünümünü sergilemektedir.

5.1.4. Varyans Analizi Arayüzü

Varyans analizi arayüzünde verilerin oluşturduğu veri sınıflarının içinde bulunduğu ilişkilendirme (korelasyon veya adım) açıklığı (lag distance) ile, bu açıklık içinde bulunan veri sınıflarının ilişki açıklıkları sayısal olarak tanımlanır. Bu durumda veri noktaları arasındaki en büyük uzaklığın %80’i program tarafından ilişkilendirme açıklığı değeri olarak atanır. Ancak program kullanıcısı, eğer arzu ederse, bu değeri istediği ve uygun bir değer ile değiştirebilir.



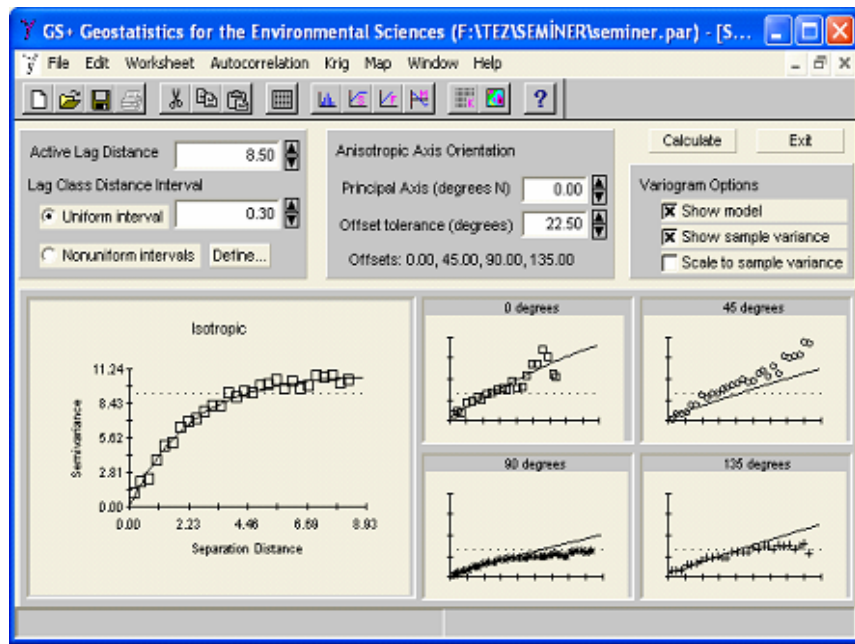
Şekil 5.3 : GS⁺ Programı Veri Noktaları Grafiği Arayüzü.



Şekil 5.4 : GS⁺ Programı Varyans Değerleri Arayüzünde Sınıf Değerleri.

Sınıflar program tarafından ilişki açıklığının (lag distance) sınıfların ilişki açıklığına (class lag distance) bölünmesiyle elde edilmektedir. Program 1 milyon sınıfla işlem yapabilme gücüne sahiptir. Sınıf sayısı ile her sınıftaki nokta çifti sayısı ve bunların ortalama mesafe ve ortalama varyans değerleri **Şekil 5.4**'te görülmektedir.

Şekil 5.5'te ise veri noktaları arası ilişkilene açıklığı ve sınıfların ilişkilene açıklığının değerlendirilmesiyle elde edilen en uygun variogram modeli görülmektedir. Variogram modelleri arasındaki göreceli uygunluğu program sınavabilmekte ve en uygun modeli 1'e en yakın regresyon katsayısı olan model olarak seçebilmektedir.

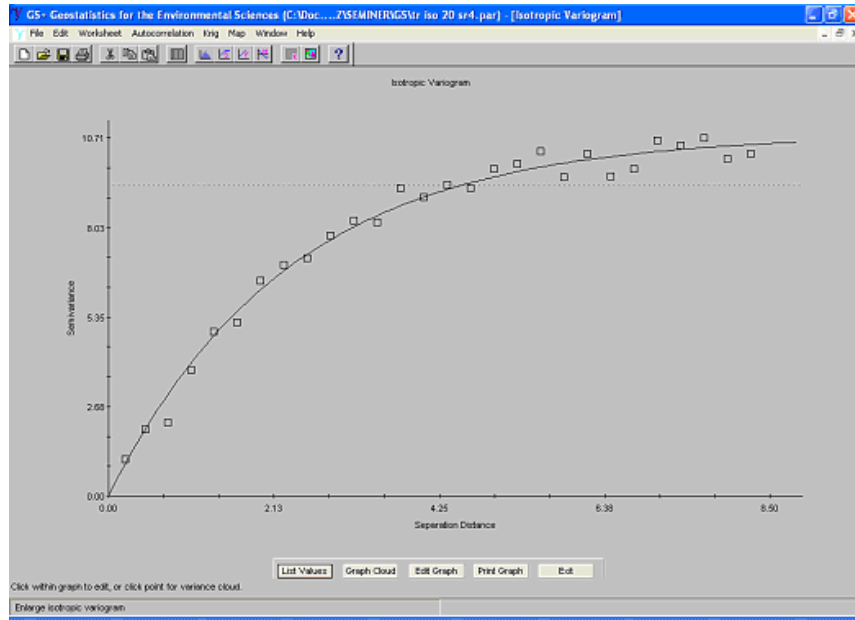


Şekil 5.5 : GS⁺ Programı İzotropik ve Anizotropik Variogram Grafikleri Arayüzü.

Varyans analizi arayüzünde veriler arasındaki ilişki deneysel variogram oluşturarak incelenebilir. **Şekil 5.6** sınıfların ilişkilene açıklığından yararlanılarak, girilen veri noktaları arası açıklıklara karşı elde edilen yarı varyans değerleri arasından en uygun eğrinin geçirilmesiyle elde edilen deneysel variogram grafiğini göstermektedir. Veri noktaları arasından geçmesi gereken en uygun eğriyi program otomatik olarak saptar.

Şekil 5.7'de varyans analizi arayüzünün girilen ham veriler için belirlediği izotropik variogram modelleri ve bu modellere ait külçe (nugget), eşik (sill), veri açıklığı (range), külçe-eşik oranı (nugget-sill ratio), regresyon katsayısı, ve karelerin indir-

genmiş toplamı (RSS – reduced sums of squares) değerlerini veren arayüzün ekran görüntüsü verilmektedir. Bu arayüz üzerinde külçe, eşik ve açıklık değerleri programı kullanan tarafından değiştirilebilir.



Şekil 5.6 : GS⁺ Programı İzotropik Variogram Grafiği Arayüzü.

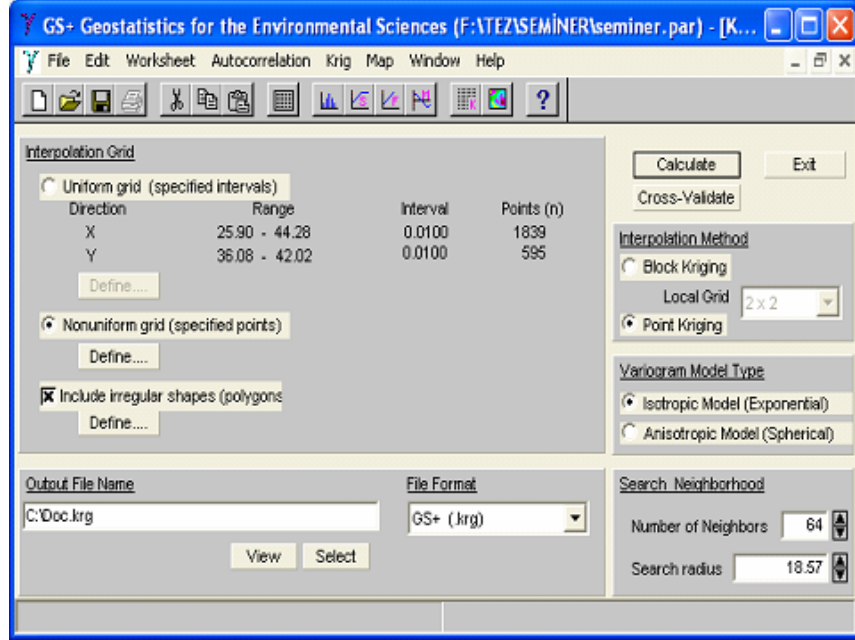
Y Isotropic Variogram Model						
Model	Nugget Co	Sill Co + C	Range A0 or 3A0	Proportion C/(Co+C)	r2	RSS
☐ Spherical	0.94	10.05	5.22	0.906	0.980	4.421
☒ Exponential	0.01	10.82	6.93	0.999	0.987	2.941
☐ Linear	3.50	12.15	8.25	0.712	0.804	42.77
☐ Linear to sill	1.30	9.93	3.89	0.869	0.966	7.466
☐ Gaussian	1.78	9.97	12.36	0.821	0.973	5.930
Refit Cancel Apply Exit						

Şekil 5.7 : GS⁺ Programı İzotropik Variogram Modeli Seçme Arayüzü.

5.1.5. Kriging İnterpolasyonu Arayüzü

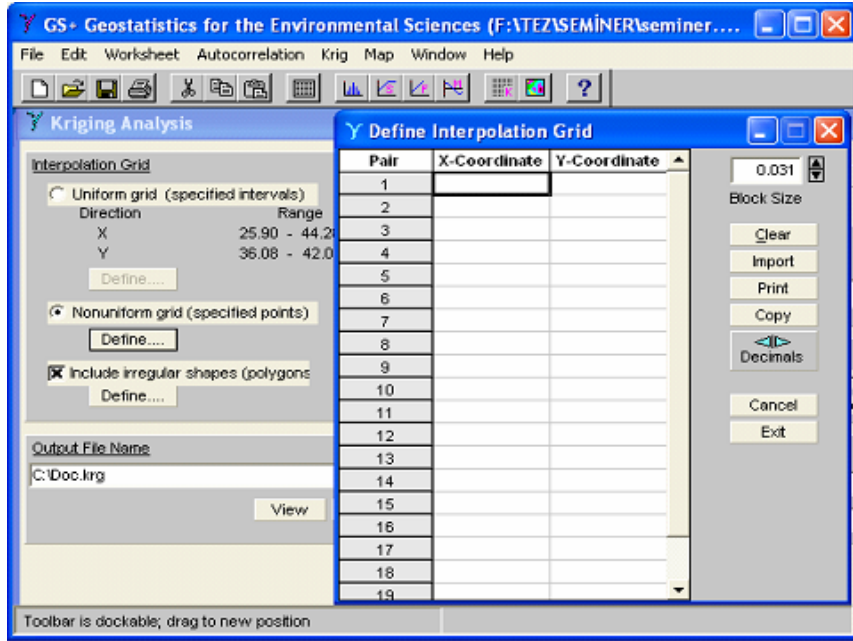
Kriging interpolasyonu arayüzünde, Şekil 4.8’de görüldüğü gibi, araştırma yarıçapı (search radius), bu yarıçap içinde tanımlanan komşuluk yarıçapı (neighborhood

radius), kriging için kullanılacak ızgara (grid) aralıkları ve sayısı, ile birlikte noktasal ve blok kriging, izotropi ve anizotropi, poligon tanımlama ve bölge tanımlama seçenekleri yer almaktadır.

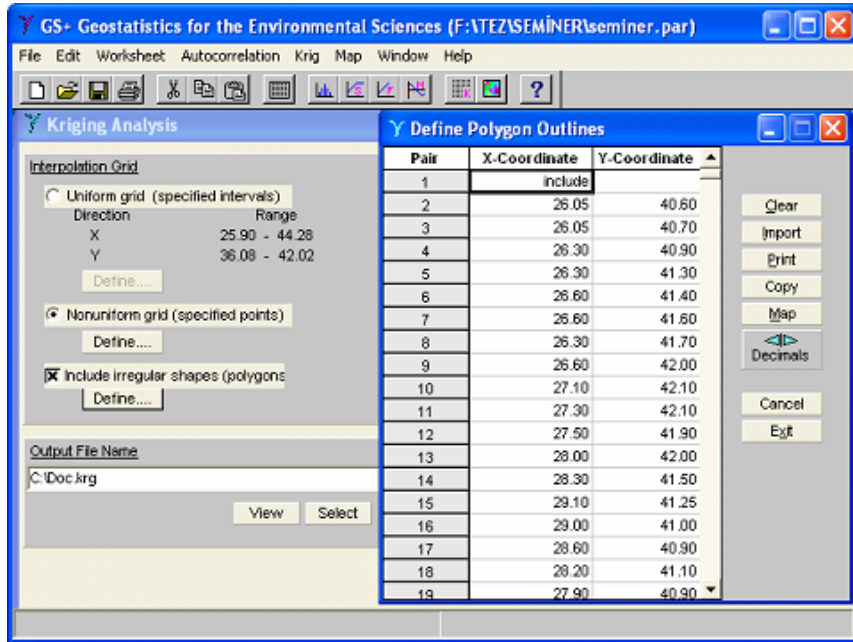


Şekil 5.8 : GS⁺ Programı Kriging Parametreleri Arayüzü.

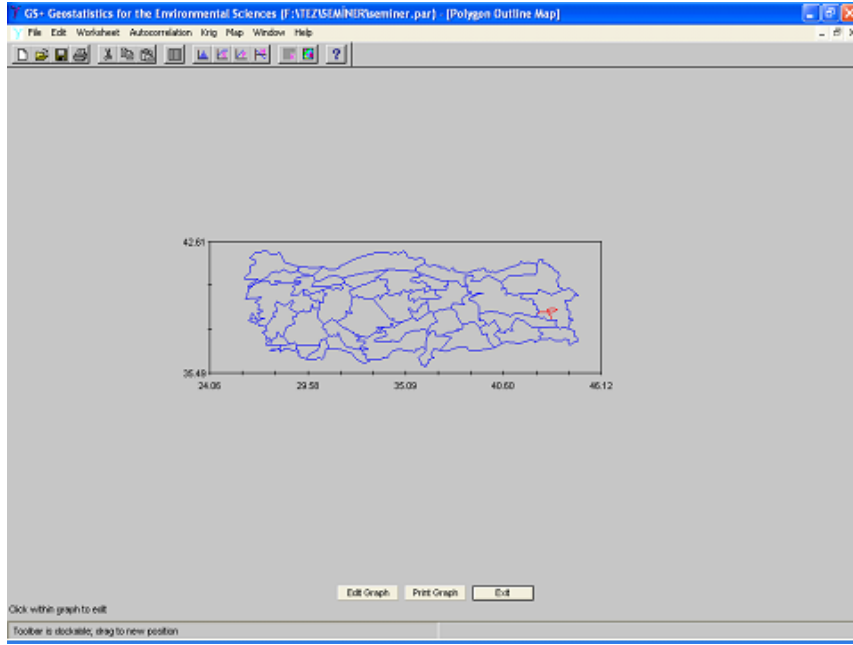
Kriging interpolasyonu arayüzünün bir parçası olan “bölge tanımlama arayüzü”, **Şekil 5.9**’da görüldüğü gibi, girilen veri koordinatlarının sonuçlarla birlikte çıktı sayfasında doğrudan elde edilmesini sağlamaktadır. Kriging interpolasyonu arayüzünün “poligon tanımlama arayüzü” ise, **Şekil 5.10**’da görüldüğü gibi, program tarafından adi (ordinary) kriginge tabi tutulacak bölgeleri tanımlar. **Şekil 5.10** bu çalışmadaki poligon tanımlama işleminin 0.01 derece enlem ve 0.01 derece boylam aralığında yapılarak, bölge sıcaklık değerlerinin bölge sınırları ve yakın civarındaki istasyonların sıcaklık verilerinin kriging kestirimiyle elde edilmesini göstermektedir. Böylece bu çalışmada tanımlanan 39 poligonun (veya jeolojik bölgenin) sıcaklık değerleri her bir poligon için ayrı ayrı çalıştırılarak elde edilir. Bu arayüz, tanımlı poligonları tümüyle grafiksel olarak gösterebilme yeteneğine sahiptir. Örneğin, bu çalışmadaki 39 poligonun bu arayüzle elde edilen grafik görüntüsü **Şekil 5.11**’de verilmektedir.



Şekil 5.9 : GS⁺ Programı Koordinat Tanımlama Arayüzü.



Şekil 5.10 : GS⁺ Programı Poligon Tanımlama Arayüzü.

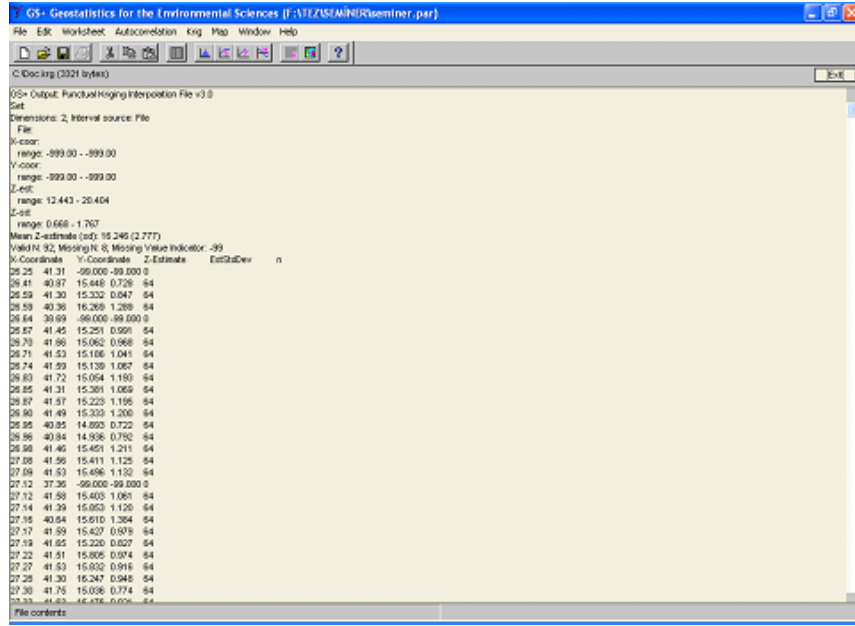


Şekil 5.11 : GS⁺ Programı Poligon Haritası Arayüzü.

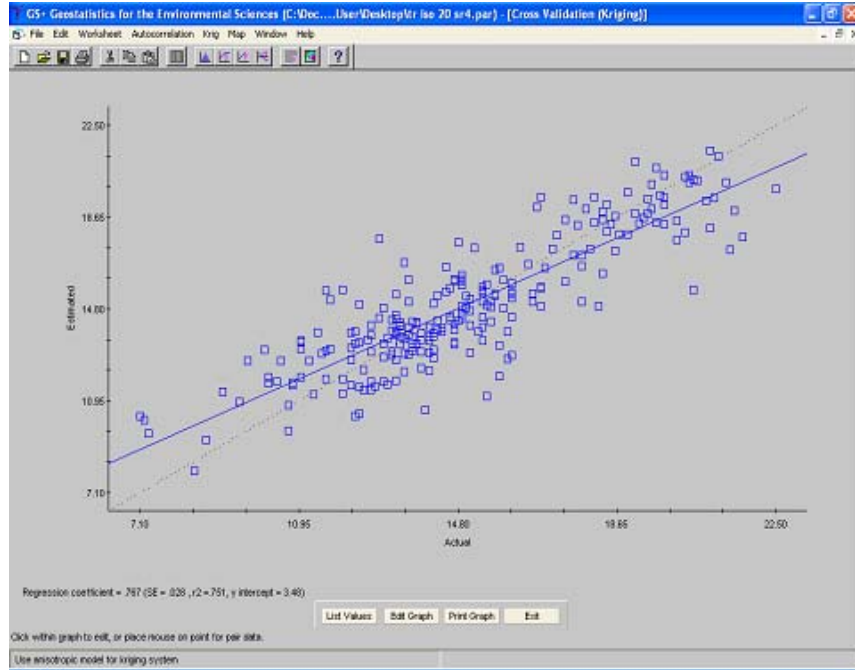
5.1.6. Çıktı Sayfası Arayüzü

Kriging arayüzünde tüm parametreler girilip seçenekler belirlendikten sonra hesaplama (calculate) düğmesine basılarak program çalıştırılır. Programın çalışma süresi tanımlanan koordinat aralığının büyüklüğüyle ters orantılıdır ; koordinat aralığı ne kadar küçük ise, programın çalışması o kadar uzun sürer. Programın çalışması bittikten sonra elde edilen çıktı sayfasına bir örnek **Şekil 5.12**'de görülmektedir. Çıktı sayfasında “x, y” koordinatları (enlem ve boylam), hesaplanan sıcaklıklar ve standart sapmaları ile, hesaplama giren nokta sayısı (komşuluk) yer almaktadır.

Şekil 5.13'te ise kullanılan 245 istasyonun sıcaklık verilerinin, bu programla elde edilen sıcaklık verileriyle uyumunu sınanan değer karşılaştırma (cross validation) arayüzü görülmektedir. Bu arayüzde bulunan ve çıktı değerlerinin gerçekçiliğini sınanan regresyon katsayısı ve standart hata gibi parametrelerin, sırasıyla, “1” ve “0” olması en ideal ve istenen durumdur. Bu çalışmada en uygun variogram modelini ve parametrelerini belirlemek amacıyla karşılaştırma arayüzüne sıklıkla başvurulmuş ve ideale en yakın olan model ve parametreleri araştırılmış ve seçilmiştir.



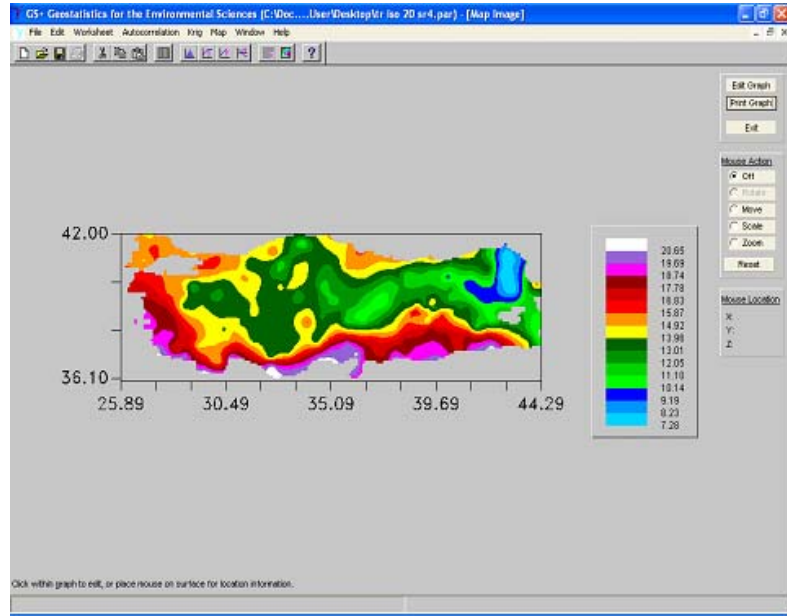
Şekil 5.12 : GS⁺ Programı Çıktı Değerleri Arayüzü.



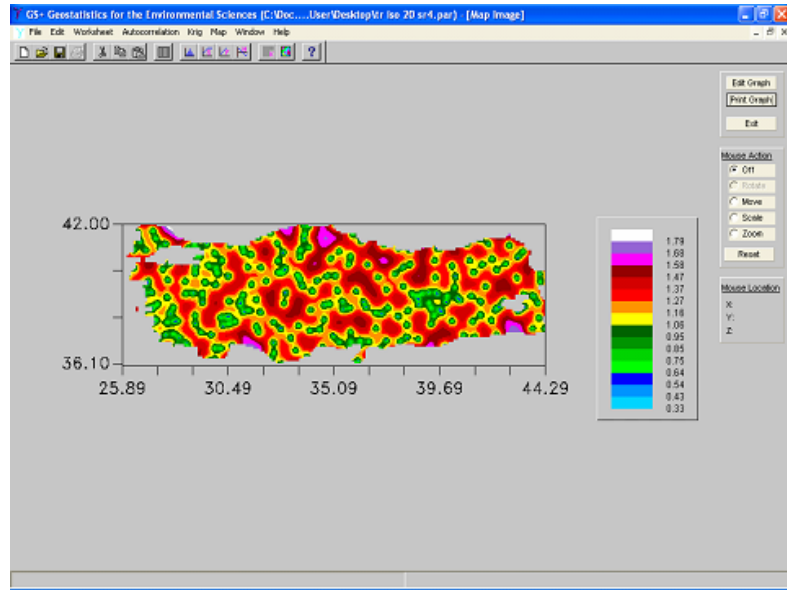
Şekil 5.13 : GS⁺ Programı Değer Karşılaştırma Arayüzü.

5.1.7. Haritalama Arayüzü

Programın kullanımı ile elde edilen son değerler bu arayüzle haritalanabilmektedir. **Şekil 5.14**, bu çalışmada 245 sıcaklık verisinin 0.01 derecelik enlem ve boylam aralığı ile kriginge sokulması sonucu elde edilen yüzey sıcaklığı dağılımının haritasını vermektedir. **Şekil 5.15** ise, hata (standart sapma) haritasını göstermektedir.



Şekil 5.14 : GS⁺ Programı Harita Arayüzü – Türkiye Yüzey Sıcaklık Dağılımı.



Şekil 5.15 : GS⁺ Programı Harita Arayüzü – Türkiye Yüzey Sıcaklık Hata Dağılımı.

6. TÜRKİYE YÜZEY SICAKLIK DAĞILIMI

Bu çalışmanın “Yeraltı Sıcaklık Gradyanı” başlıklı 3. bölümünde yapılan açıklamalar yeraltı sıcaklık gradyanının derin kuyu sıcaklık ölçümlerinden elde edilebilmesi için, hesaplama katılan kuyulardan her birinin bulunduğu noktadaki yüzey sıcaklığının bilinmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Tanım gereği, “yüzey sıcaklığı”nın aslında yüzeyin yaklaşık 10–20 m altında ölçülmüş ve atmosferdeki günlük (gündüz-gece) ve mevsimsel (yaz-kış) sıcaklık değişimlerinden etkilenmeyen sıcaklıktır. Oysa, Türkiye’de yerin 10–20 m derinliklerinde sıcaklık ölçümü yapılmamakta, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’ne bağlı 250 gözlem istasyonunda yerin en fazla “–1 m” derinliğinde düzenli (periyodik) sıcaklık ölçümleri alınmaktadır.

Dolayısıyla bu çalışmada “yüzey sıcaklığı” olarak –10 ile –20 m arası derinliklere ait sıcaklıklar yerine, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nün 250 gözlem istasyonunda 25-30 yıldan beri kaydedilen günlük yüzey (–1m) sıcaklık kayıtlarının kullanılması zorunlu olmuştur. Türkiye için yüzey sıcaklığı belirlemek üzere başka veri kaynağı ve sık yeraltı sıcaklık verisi yoktur.

Bu çalışmada öncelikle sıcaklık verisi alınan derin kuyuların bulunduğu koordinatlarıdaki yüzey sıcaklıklarını önyargısız ve güvenilir bir biçimde belirlemek üzere, bir Türkiye yüzey sıcaklık dağılımı çalışması ve bunun haritalaması yapılmıştır. Bu amaçla, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nden 250 gözlem istasyonunda 25-30 yıldan beri kaydedilen günlük yüzey (–1m) sıcaklık kayıtlarının aylık ortalamaları satın alınmıştır. Bu veriler tek tek incelenerek, koordinatlarında hata olanlar, “uzun süreli gözlem” kıstası ile “süreklilik” kıstasına uymayan veriler ayıklanmıştır. İki istasyonun koordinatlarında hata bulunmuş ve coğrafi Türkiye haritası üzerinden yerleri yaklaşık olarak bulunarak düzeltilmiş, beş gözlem istasyonunun sıcaklık verilerinin ise ya çok kısa süreli veya süresiz oldukları saptanmış ve elenmiştir.

Bu durumda, geriye kalan 245 gözlem istasyonunun yüzey sıcaklık verileri geçerli veri olarak dikkate alınmış, bunların yıllık ortalama değerleri hesaplanarak “ham yüzey sıcaklıkları” olarak kullanılmıştır. Kısaca özetlemek gerekirse, bu çalışmada

245 gözlem istasyonunun 25-30 yıllık sürekli ve düzenli olarak alınan günlük “-1m” sıcaklık kayıtlarının aylık ortalamalarının yıllık ortalamaları Türkiye yüzey sıcaklık dağılımının ve haritasının ortaya konulmasında ham veri olarak kullanılmıştır. Bu noktada dikkat edilmesi gereken nokta, bu verilerin topoğrafyanın etkisini de içeriyor olmalarıdır. Diğer bir deyişle, denize olan yüksekliğin yeraltı sıcaklığı üzerindeki etkisi bu veriler içinde doğal olarak bulunmaktadır.

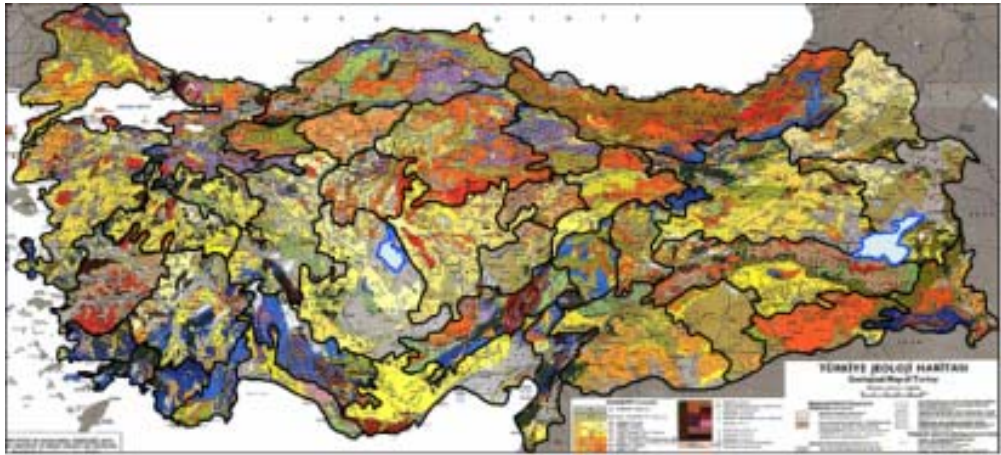
Türkiye yüzey sıcaklık dağılımını önyargısız (unbiased) bir biçimde ortaya koyabilmek için, bu veriler GS^+ yazılımı yardımı ile jeoistatistiksel olarak değerlendirilmiş ve tüm verileri kapsayan analiz yapılmıştır. Bilindiği gibi Türkiye yaklaşık olarak 36° ve 42° enlemleri ile 26° ve 45° boylamları arasında yer almakta olduğu için, variogram analizi $36.08^\circ - 42.02^\circ$ boylamları ve $25.90^\circ - 44.28^\circ$ enlemleri arasında, oldukça ayrıntılı bir biçimde 0.01° enlem ve 0.01° boylam aralıkları ile yapılmıştır. Variogram analizinde veriler GS^+ yazılımı yardımı ile hep birlikte jeoistatistiksel olarak değerlendirilmiş ve tüm verileri kapsayan analiz sonucunda eşiksiz üssel (eksponansiyel) izotropik en uygun model olduğu bulunmuştur. **Şekil 5.5** ve **Şekil 5.6**’da ayrışma aralığı $3A_0 = 6.93$, külçe (nugget) varyansı $C_0 = 0.01$, ve eşik (sill) değeri $C_0 + C = 10.82$ olarak elde edilmiş olan bu variogram modeli grafiksel olarak görülmektedir. **Şekil 5.7** ise bu sonuçları veren GS^+ arayüzünü göstermektedir.

Eşiksiz üssel izotropik modelin en uygun model olarak seçilmesine kılavuzluk eden ise, bu modelin kullanımıyla ham veri koordinatları için elde edilen kestirim değerleri ile variogramı oluşturan ham verilerin çapraz doğrulama (cross validation) işlemidir. Bu işlemde her bir veri noktası (koordinatı) için kestirim değerleri ile ham veri değerleri karşılıklı olarak çizilmişler ve **Şekil 5.13**’te görülen çapraz doğrulama grafiği elde edilmiştir. Bu grafikte görüldüğü gibi, ham veriler ile kestirim verileri birbirlerine oldukça yakın olup, bu durum $r^2 = 0.987$ olan regresyon katsayısı ile de kanıtlamaktadır. Bu variogram modelinin denenen diğer modellere göre en uygun model olduğu, ayrıca **Şekil 5.7**’de görüldüğü gibi diğer modellerin sonuçları ile karşılaştırıldığında ortaya çıkmaktadır. Diğer modellere göre, eşiksiz eksponansiyel (üssel) izotropik model en yüksek regresyon katsayısını ve beklenen en düşük RSS (indirgenmiş kareler toplamı $\equiv$ reduced sum of squares) değerini ($RSS = 2.941$) vermiştir. Variogram modelinin seçilmesinden sonra kriging işlemine geçilmiştir.

Türkiye’de yüzey (–1m) sıcaklığı ölçümü yapan istasyonlar arasında kalan ve 0.01° enlem ve 0.01° boylam aralıklarındaki noktalar (koordinatlar) için, seçilen variogram modeli yardımıyla ve adî (ordinary) kriging yöntemi kullanılarak yüzey sıcaklığı değerleri kestirilmiştir. Bu aşamada yüzey jeolojisinin yüzey sıcaklık verilerine olan etkisini de dikkate alabilmek için, 1/500 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerinde yüzey kayaç dağılımları **Şekil 6.1**’de görüldüğü gibi 39 ayrı karakteristik litolojik bölüme ayrılmış ve bunların her birisi birer poligon olarak dikkate alınmıştır.[16] Bu karakteristik 39 litolojik bölümün daha küçük ölçekli Türkiye jeoloji haritası üzerine projeksiyonu **Şekil 6.2**’de görülmektedir.[17]



Şekil 6.1 : Türkiye’nin Litolojik Olarak 39 Karakteristik Bölüme Ayrılması.

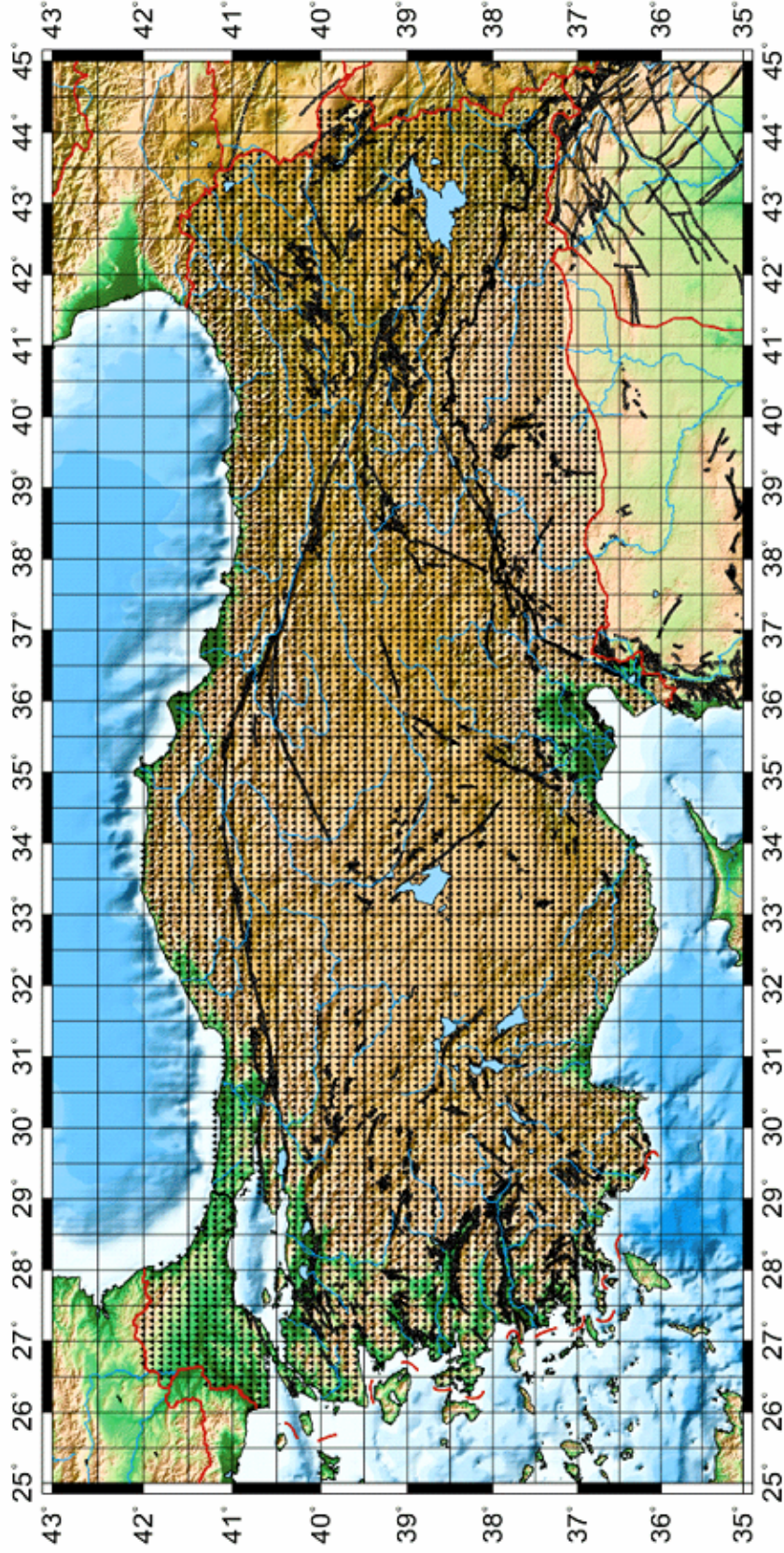


Şekil 6.2 : Litolojik 39 Bölümün Türkiye Jeolojik Haritası Üzerine Projeksiyonu.

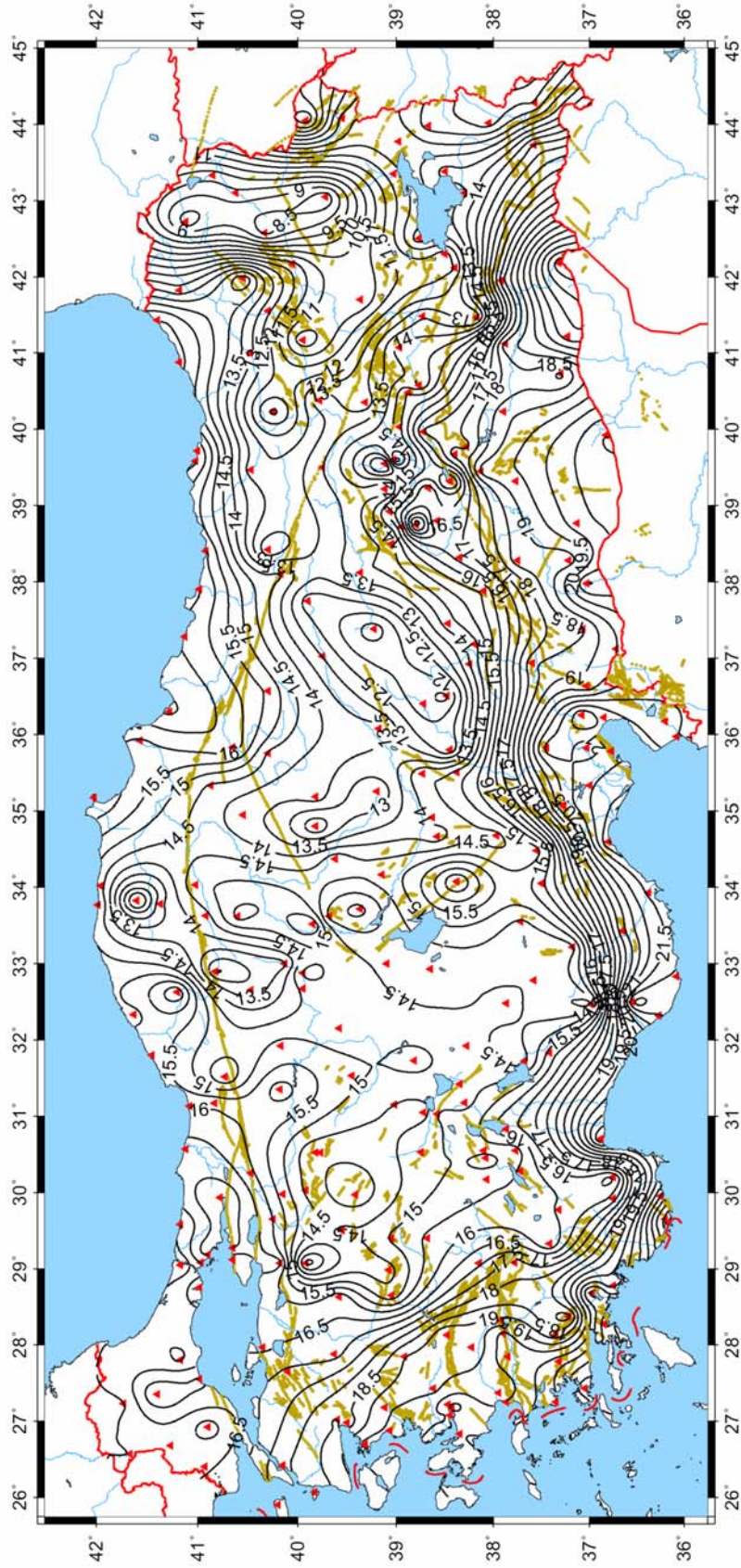
Türkiye'nin karakteristik 39 litolojik bölüme ayrılmasında kullanılan tek kıstas, her bir bölüme ki kayaç yapılarının ısı karakter olarak birbirine yakın özelliklere sahip olan kayaçlardan oluşmasıdır. Örneğin, belirli bir bölüm içinde başkalaşım kayaçları (metamorfik kayaçlar) elden geldiğince çökel (sedimenter) kayaçlardan ayrı tutularak o bölümün sınırları belirlenmeye çalışılmıştır. Karakteristik 39 litolojik bölümün her birisinin koordinatları çıkartılarak GS⁺ yazılımına girilmiş (**Şekil 5.11**) ve her bir bölümdeki yüzey sıcaklık ölçüm istasyonlarının konumları belirlenmiştir. Variogram analizi ile seçilmiş variogram modeli kullanılarak, her bir litolojik bölümün içinde veri olmayan 0.01° enlem ve 0.01° boylam aralıklı noktalar için yüzey sıcaklık değerleri kestirimi, kriging yöntemi ile ve o litolojik bölüm dışında ancak yakın çevresinde bulunan diğer veri noktaları da hesaplamada dikkate alınarak yapılmıştır.

Bu yöntemle tüm Türkiye yüzeyi boyunca yaklaşık 800 000 nokta için sıcaklık değeri kestirimi elde edilmiştir. Ancak bu kadar veri ile yapılacak haritalamanın, bu amaçla kullanılan GMT haritalama programının koşulduğu bilgisayarda gereksiz yüklenme ve zaman yitimi oluşturacağı ve ayrıca elde edilecek yüzey sıcaklık dağılımında bir etki yaratmayacağı düşünülerek, bu verilerden yalnızca 8000 adedi haritalamada dikkate alınmıştır. Anılan 8000 sıcaklık kestiriminin bulunduğu noktaların Türkiye yüzeyi boyunca dağılımları, GMT [8] yazılımı ile haritalandığı biçimi ile **Şekil 6.3**'te Türkiye topoğrafyası üzerinde siyah renkli üçgen noktalar olarak görülmektedir.

Elde edilen 8000 yüzey sıcaklık kestirim değeri GMT haritalama programı yardımıyla haritalanmış ve **Şekil 6.4**'te görülen "Türkiye Yüzey Sıcaklık Dağılımı" elde edilmiştir. Bu haritadaki eşsıcaklık eğrileri 0.5°C aralıklarla çizilmiş ve ham yüzey sıcaklık verilerinin alındığı gözlem istasyonlarının yerleri kırmızı renkli üçgen noktalarla simgelenmiştir. Haritada Türkiye üzerindeki diri faylar da çizilerek, faylar ile yüzey sıcaklıkları arasında bir ilişkinin varlığı sorgulanmak istenmiştir. Özellikle Ege Bölgesi'nde denize dik uzanan horst-graben yapısına karşılık yüzey sıcaklıkları buna dik bir uzanım serilemekte olduğundan, Ege Bölgesi'nde böyle bir ilişkinin olmadığı açıktır. Güney Doğu Anadolu'daki bindirme ve Doğu Anadolu fay hattı (DAF) boyunca yüzey sıcaklığı değişimlerinin bunlara uyumlu bir örüntü (pattern) gösterdiği görülmektedir. Orta Karadeniz Bölgesi için de geçerli bu durumun aslında diri fay hatları ile yüzey sıcaklık dağılımı arasında bir ilişki olmasından değil, ülke topoğrafyasının yüzey sıcaklıkları üzerindeki etkisinden olduğu anlaşılabilir.



Şekil 6.3 : Kriging İle Kestirimi Yapılan 8000 Yüzey Sıcaklık Verisinin Bulunduğu Noktaların Türkiye Boyunca Konumları.

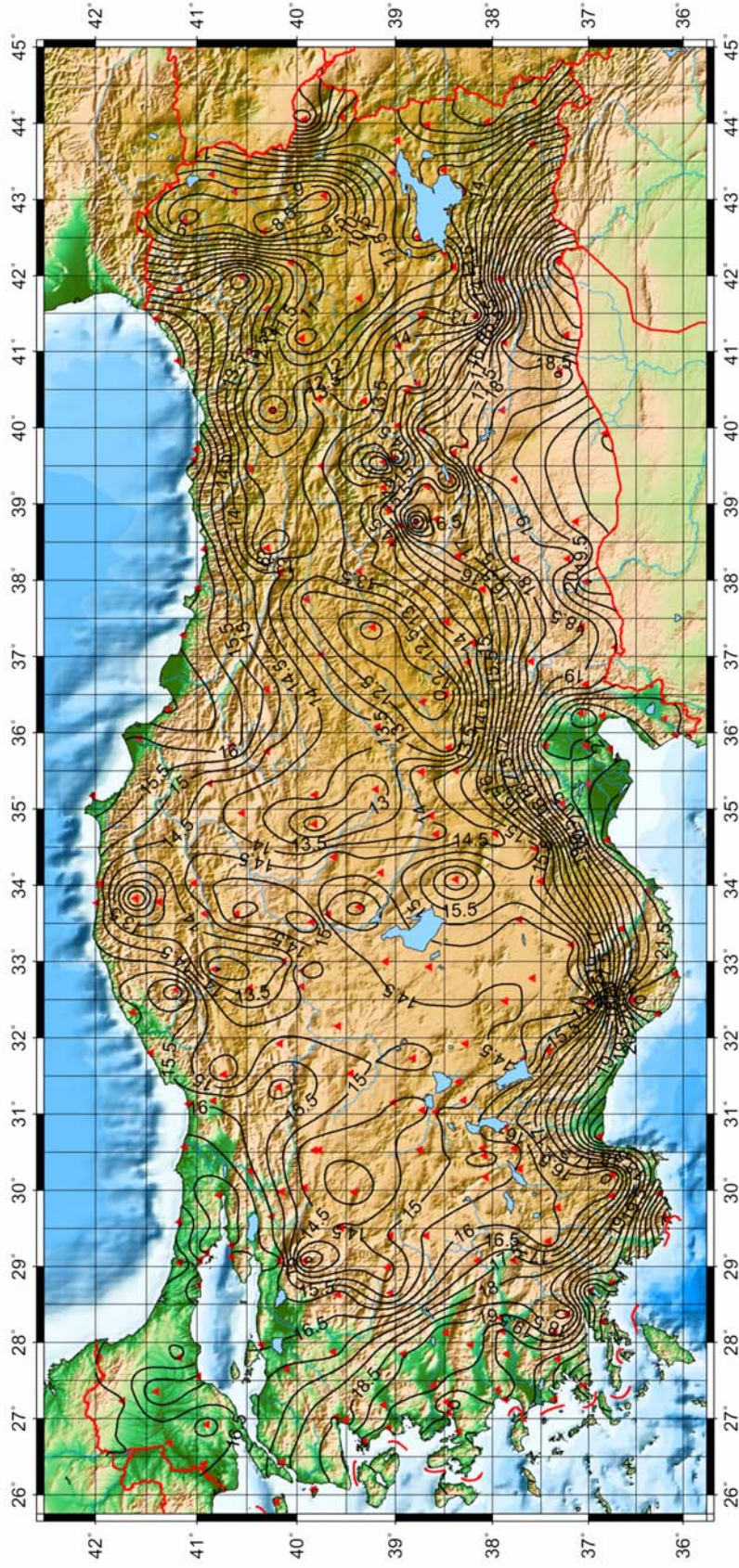


Şekil 6.4 : Türkiye Yüzey (– 1m) Sıcaklık Dağılımı ve Dirli Fay Haritası. (Eşsıcaklık Eğri Aralığı : 0.5°C)

Diğer bir anlatımla, fay hatlarının oluşumuna yol açan tektonizmanın aynı zamanda bugünkü yüzey morfolojisini ve var olan topoğrafyayı oluşturduğu bilinmektedir. Bu nedenle, diri fay hatları ile yüzey sıcaklıkları arasında varmış gibi görünen ilişki aslında denizden olan yükseltelerin (dağlar vs) yüzey sıcaklığı dağılımını üzerindeki etkilerini ortaya koymaktadır. Bu açıklama yalnızca ve özellikle Ege Bölgesi için geçerli değildir. Bu bölgede dağların denize dik uzanmalarına karşılık, bölgede yeraltındaki yüksek jeotermal aktiviteden yarattığı yüzeye ısı akışı nedeniyle olsa gerek, yüzey sıcaklıkları dağlara dik bir doğrultuda dağılım göstermektedirler.

Bu durumu daha iyi irdelemek üzere, **Şekil 6.4**'teki haritada görülen yüzey sıcaklık dağılımı ülke topoğrafyası ile birlikte çizilerek **Şekil 6.5**'teki harita elde edilmiştir. Ham yüzey sıcaklık verilerinin alındığı gözlem istasyonlarının yerleri harita üzerinde kırmızı renkli üçgen noktalarla simgelenmiştir. Eş sıcaklık eğrileri 0.5°C aralıklarla çizilmiş olan bu haritada, topoğrafyaya bağlı olarak yüksek yerlerdeki yüzey sıcaklıklarının denize yakın yerlerdekine göre daha düşük oldukları özellikle Doğu, Güney Doğu, Güney ve Kuzey Anadolu Bölgelerinde açıkça görülmektedir. Yukarıda da belirtildiği gibi, bu davranış Batı Anadolu bölgesinde de gözlemlenmekte ise de, ancak alçak kesimlerde jeotermal aktivite etkisi ile olsa gerek, eşsıcaklık eğrileri topoğrafyayı izlememektedir.

Bu çalışmada jeostatistiksel yöntemlerle elde edilen Türkiye yüzey sıcaklık dağılımı, eldeki verilere göre olası en önyargısız (unbiased) bir yaklaşımdır. **Şekil 6.4** ve **Şekil 6.5**'te sunulan bu dağılımın, daha önce Tezcan tarafından yayınlanan çalışmada sunulan[3] ve **Şekil 2.2**'de görülen dağılımdan olan farkı ortadadır. Tezcan da bu çalışmadaki aynı kaynaktan aldığı ve yalnızca 193 gözlem istasyonunda 1974 yılına kadar kaydedilmiş “-1m” sıcaklık ölçümlerinden yararlanarak, geliştirme yöntemini belirtmediği bir ilişkilendirme (korelasyon) denklemi ortaya koymuş ve istasyonlar arası noktalardaki yüzey sıcaklıklarını bu denklem yardımıyla kestirmiştir. Sonuçta oluşturduğu bu haritadan okunacak değerlere topoğrafya etkisini katmak üzere, haritada belirli bir noktada okunan yüzey sıcaklık değerinden her 100 m yükseklik için 0.488°C çıkartılmasını önererek bir düzeltme faktörü getirmiştir. Her ne kadar ülke boyunca her noktada Tezcan'ın haritasından düzeltme ile birlikte elde edilecek bir değer bu çalışmada geliştirilen dağılımdan elde edilecek değerle aynı olması beklenmese de, Tezcan'ın elindeki olanaklar çerçevesinde yaptığı bu çalışma takdir edilmektedir.

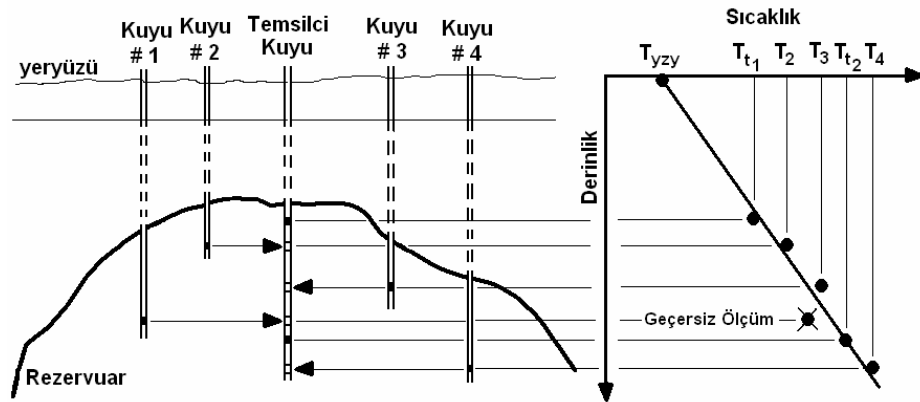


Şekil 6.5 : Türkiye Topğrafyası ve Yüzey (– 1m) Sıcaklık Dağılımı Haritası. (Eşsıcaklık Eğri Aralığı : 0.5°C)

7. TÜRKİYE YERALTI SICAKLIK GRADYANI DAĞILIMI

Yeraltı sıcaklık gradyanı hesaplamalarında belirli bir yörede delinmiş tek kuyu veya birden fazla kuyu olduğu durumlar için farklı yol izlenmiştir. Eğer belirli bir yörede delinmiş tek bir kuyu var ise, bu durumda o kuyunun konumunu veren koordinatı (enlem-boylam değeri) GS^+ yazılımına girilerek, daha önce yüzey sıcaklığı kestirimi için yapılmış olan kriging uygulaması yardımıyla o koordinattaki yüzey sıcaklığı hesaplanmıştır. Bu yüzey sıcaklığı değeri ile birlikte, kuyu içinde ölçülmüş sıcaklık ve ölçüm derinliği Denk.(3.3)'te işleme sokularak, kuyunun bulunduğu yer için yeraltı sıcaklık gradyanı elde edilmiştir. Bazı tek kuyularda farklı derinlikte birden çok sıcaklık ölçümü yapılmış olabilir. Bu durumda, farklı derinliklerde ölçülmüş sıcaklıkların en yüksek değere sahip olanlarından geçen en uygun (best fit) ve yüzey sıcaklığına bağlanan doğrunun eğimi yeraltı sıcaklık gradyanı olarak hesaplanmıştır.

Eğer bir yörede birbirine yakın birden fazla kuyu delinmiş ise, örneğin bir petrol, gaz veya jeotermal rezervuarına delinmiş birden fazla kuyu olması gibi; bu durumda tüm kuyularda farklı derinliklerde ölçülmüş sıcaklıklar, kuyular arasından *temsilci* olarak seçilen bir kuyuya (adeta o kuyuda ölçülmüşler gibi) ölçüm derinliği korunarak aktarılmış, veya diğer bir deyişle **Şekil 7.1**'de görüldüğü gibi sıcaklık ölçümü yapılan noktaların temsilci kuyu üzerine yatayda izdüşümleri alınmıştır.



Şekil 7.1: Birden Çok Kuyunun Sıcaklık Ölçümlerinin Temsilci Kuyuya İzdüşümü.

Böylece çok kuyuya sahip sınırlı bir alandaki kuyularda ölçülmüş olan sıcaklıklar, sanki temsilci kuyu içinde çeşitli derinliklerde ölçülmüşler gibi değerlendirilmişler ve tek kuyuda farklı derinliklerde sıcaklık ölçümü değerlendirilmesinde olduğu gibi tek bir yeraltı sıcaklık gradyanı hesaplanmıştır. Böyle bir uygulama ilk bakışta garip görünse de, Türkiye’deki petrol, gaz veya jeotermal rezervuarlarının birkaç kilometre kareden fazla alan kaplamadıkları ve bu kadar sınırlı bir alanda yeraltı sıcaklık gradyanının büyük farklılıklar göstermeyeceği dikkate alınır, bu uygulamanın geçerli bir varsayıma dayandığı anlaşılır.

Tek gerçek kuyuda çoklu sıcaklık ölçümü veya tek bir temsilci kuyuya izdüşürülmüş çoklu sıcaklık ölçümleri durumunda yeraltı sıcaklık gradyanının elde edilebilmesi için aynı yöntem uygulanmıştır. Bu durumlarda farklı derinliklerdeki sıcaklık ölçüm değerlerinden geçen ve yüzey sıcaklığına uzanan en uygun doğruyu elde etmek için, en küçük kareler yöntemi ile en uygun eğri geçirme tekniğini uygulamak üzere VB (Visual Basic) dilinde bir program yazılmıştır. Böylece, **Şekil 7.1**’in sağ tarafındaki grafikte görüldüğü gibi doğrunun üst ucu “-1m” derinlikte yüzey sıcaklığına sabit tutturulmuş ve doğru farklı derinliklerde ölçülmüş sıcaklıklardan en küçük kareler yöntemine göre olası en uygun biçimde geçirilmiştir.

Bu çalışma için toplanan 539 derin kuyudan 419 tanesinde alınmış sıcaklık ölçümleri hesaplamalarda kullanılmış, diğer kuyulardaki ölçümlerin yeterli süre beklenmeden alındığı ve bu nedenle civar kuyularda eş derinliklerde ölçülmüş sıcaklıklara göre daha düşük sıcaklık sergiledikleri gerekçesi ile geçersiz sayılmışlar ve hesaplamalara katılmamışlardır. Hesaplamalara katılan 419 kuyun için enlem, boylam, ölçülen sıcaklık, sıcaklık ölçüm derinliği, denizden yükseklik (rakım), yüzey sıcaklığı, ve de yeraltı sıcaklık gradyanı değerleri bu çalışmanın **Ek-A** bölümünde listelenmektedir.

Sıcaklık ölçümleri hesaplamalarda kullanılmayan 120 kuyu “en düşük baz sıcaklık” bilgisi gibi çok önemli bir yarar sağlamışlardır. Bu durumu en iyi açıklayan örnek, **Şekil 7.1**’deki grafikte sıcaklık değeri üzerine çarpı atılmış olan ve geçersiz sayılan “1” numaralı kuyudur (Kuyu # 1). Bu kuyuda sıcaklık ölçümü yapılırken kuyu içindeki akışkanın soğutma etkisinin azalması ve sıcaklığın duraylı duruma (steady-state) erişmesi için yeterince uzun süre kadar beklenmemiş, böylece bu derinlikte ölçülen sıcaklık, Kuyu # 3 içinde daha sığ derinlikte ölçülen sıcaklıktan düşük bulunmuştur. **Şekil 7.1**’in sağ tarafında bulunan ve derinliğe karşı çizilmiş rezervuar sıcaklığı grafiğine göre, bu hiç de gerçekçi bir durum değildir. Böylece Kuyu # 1’de ölçülmüş

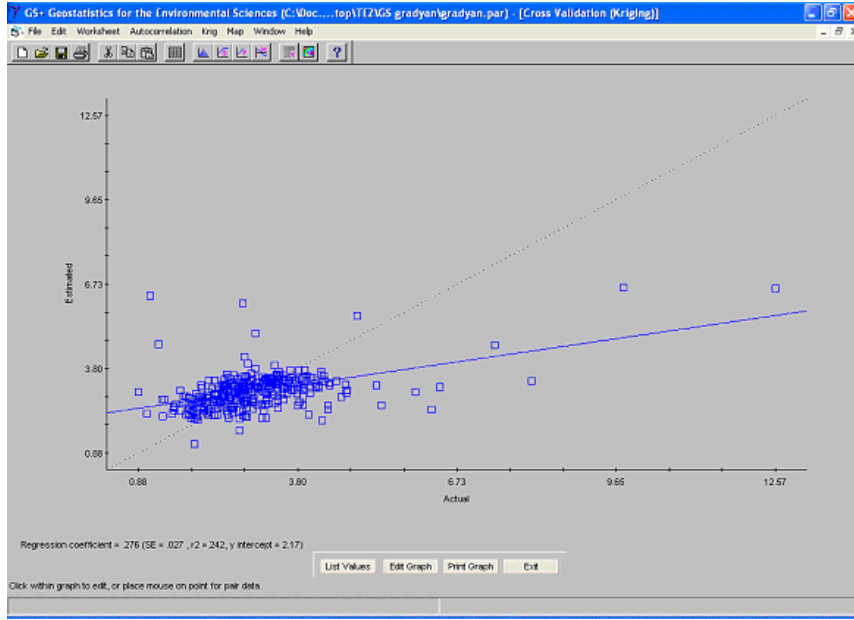
sıcaklık geçersiz sayılmış, ancak bu sayede diğer kuyulardaki ölçümlerin gerçek sıcaklık davranışını daha iyi sergiledikleri ortaya çıkmıştır. Dolayısı ile bu şekilde hesaplamalarda dikkate alınmayan kuyuların sıcaklıkları, diğer kuyularda ölçülen sıcaklıkların duraylı duruma (steady-state) daha yakın koşullarda ölçülmüş olduklarını ortaya koyan bir baz oluşturarak çalışmaya önemli katkılar sağlamışlardır.

Böylece yeraltı sıcaklık gradyanı hesaplanmış tek kuyu, çok sıcaklık ölçümlü tek kuyu ve birden fazla saha kuyusu (çoklu kuyu) sayısı ile buna karşılık gelen ve yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımını elde etmek için variogram analizine sokulacak yeraltı sıcaklık gradyanı sayısı 419'dan 333'e düşmüştür. Her bir kuyu veya petrol, gaz veya jeotermal saha için yeraltı sıcaklık gradyanı hesabında gerek duyulan yüzey sıcaklığı, tek kuyulu durumda o kuyunun koordinatlarının ve çok kuyulu durumda ise temsilci kuyunun koordinatlarının GS+ yazılımına girilerek, yüzey sıcaklığı dağılımı için yapılan adı (ordinary) kriging uygulamasından elde edilmiştir.

Henüz Germencik, Simav ve Tuzla (Çanakkale) ve diğer bazı jeotermal sahalarda delinmiş kuyuların jeotermal kuyuların sıcaklık ölçümleri elde yok iken yapılan ilk aşama gradyan dağılımı çalışmasında, variogram analizine giren yeraltı sıcaklık gradyanı verileri 0.88 ile 12.57 arasında kalmış ve bu durumda eşikli küresel izotropik modelin en uygun variogram modeli olduğu bulunmuştur. Bu model ile girdi verilerinin yeniden kestirimi yapılmış ve **Şekil 7.2**'de görülen çapraz doğrulama (cross validation) grafiği elde edilmiştir.

Bu grafiğe göre, girdi verileri ve bunların variogram modeli ile kestirimi arasındaki regresyon katsayısı $r^2 = 0.242$ gibi oldukça düşük bir değerdir. Bunun nedeni yeraltı sıcaklık gradyanı verilerinin çoğunlukla Güneydoğu Anadolu ile Trakya bölgelerinde yoğunlaşmış olması ve yer yer Batı ve Orta Anadolu'da dağınık halde bulunmasıdır. Diğer bölgelerde ise veri sayısı yok denecek kadar azdır. Yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının yüzey sıcaklığı verilerinin dağılımı kadar homojen olmadığı açıkça ortadadır. Oysa, kriging yönteminde dağılımın homojenliği önemlidir ve elde edilen sonuçları etkilemektedir.[18]

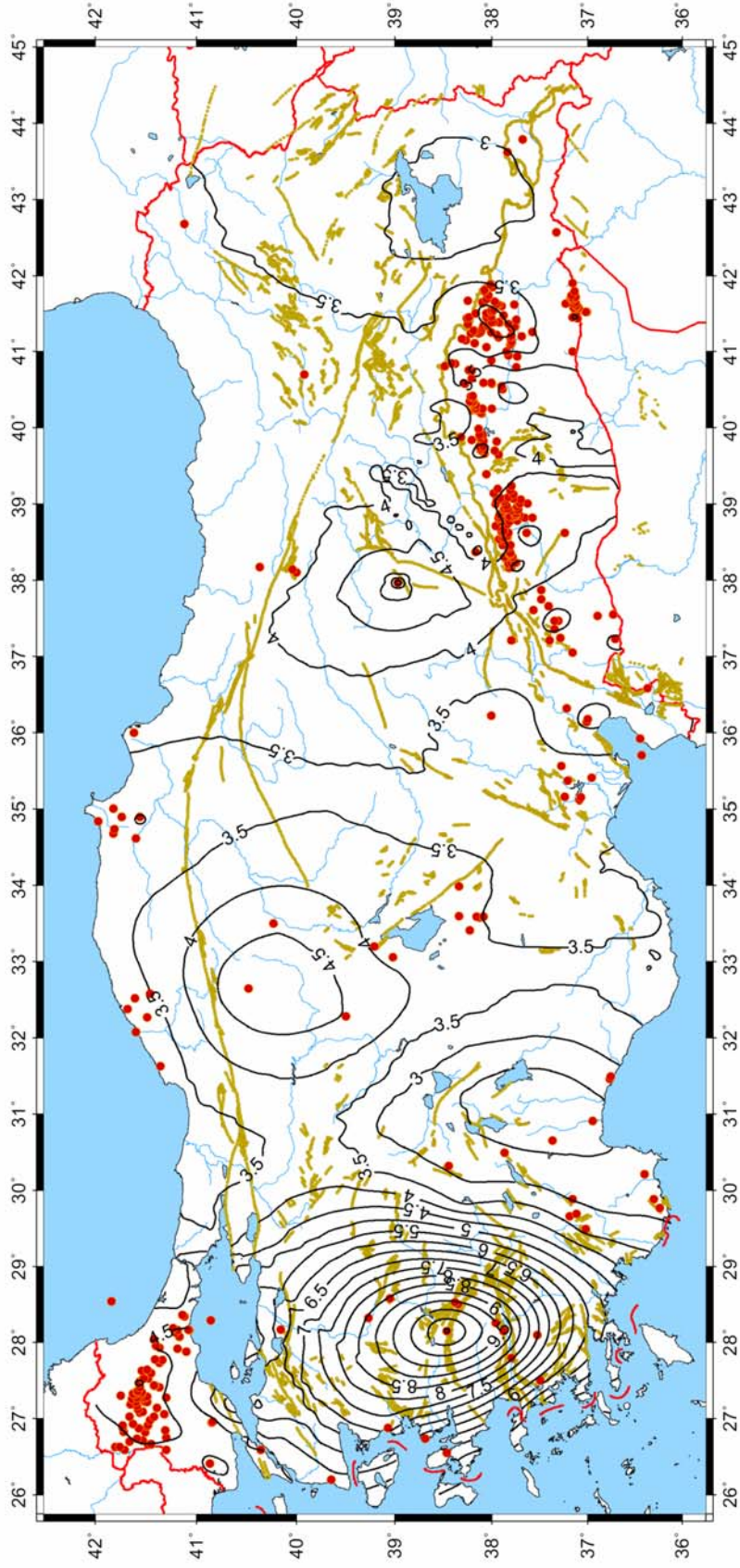
Daha önce yüzey sıcaklığı dağılımı çalışmasında olduğu gibi, burada da Türkiye jeolojisinin yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımına olan etkisini dikkate alabilmek için, **Şekil 6.2**'de görülen ve Türkiye jeoloji haritası üzerine projeksiyonu yapılmış olan 39 ayrı karakteristik litolojik bölüm içinde yeraltı sıcaklık gradyanı verisi olmayan ve



Şekil 7.2 : Gradyan Verilerinin İlk Aşama GS⁺ Çapraz Doğrulama Grafiği.

0.05° enlem ile 0.05° boylam aralıklı noktalar için, her bir litolojik bölümün dışında ancak yakın çevresinde bulunan diğer veri noktaları da hesaplamada dikkate alınarak, GS⁺ yazılımı yardımıyla ve seçilen eşikli küresel izotropik model kullanılmak üzere adî kriging yöntemi ile yeraltı sıcaklık gradyanı değer kestirimi yapılmıştır. Dolayısı ile, tüm Türkiye yüzeyi boyunca yaklaşık 800 000 nokta için yeraltı sıcaklık gradyanı değer kestirimi elde edilmiştir. Haritalamada ise yalnızca **Şekil 6.3**'te Türkiye haritası üzerinde yerleri gösterilen 8000 kadar noktadaki kestirilmiş gradyan değerleri GMT yazılımına girilmiş ve **Şekil 7.3**'te görülen birinci aşama Türkiye yer-altı sıcaklık gradyanı dağılım haritası çizilmiştir.[8]

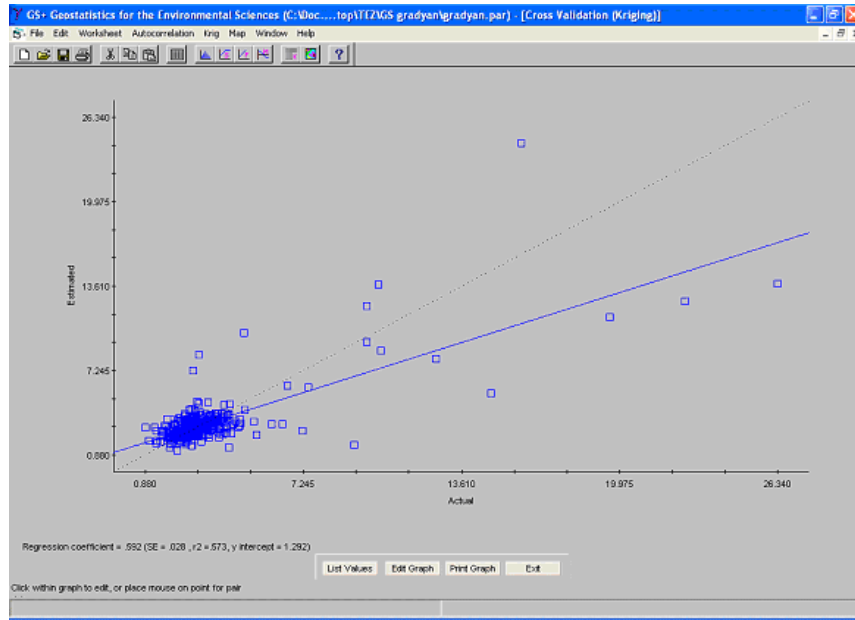
Bu haritada, kırmızı renkli noktalar kuyu konumlarını simgelemektedir ve verilerin homojenlikten uzak dağılımını açıkça göstermektedir. Bu haritada ilk dikkati çeken nokta, yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının Batı Anadolu'da Gediz grabeni civarını merkez alan iç içe eş sıcaklık gradyanı eğrilerinin oluşmasıdır. Her ne kadar jeotermal aktivitenin Gediz grabeni civarında yüksek olduğu bilinmekte ise de, elde edilen bu sonucun biraz garip olduğu ve gerçeği pek yansıtmadığı düşünülmüştür. Diğer bölgelerde görülen eş sıcaklık gradyanı eğrileri ve dağılımları ise kabul edilebilir niteliktedir.



Şekil 7.3 : İlk Elde Edilen Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı ve Diri Fay Haritası. (Gradyan Kontur Aralığı 0.5°C/100m)

Bunun üzerine derhal yeni veri arayışlarına geçilmiş ve Germencik, Simav ve Tuzla (Çanakkale) jeotermal sahaları ile diğer bölgelerdeki bazı petrol, gaz veya jeotermal amaçlı delinmiş kuyularındaki sıcaklık ölçüm verileri toplanmıştır. Ek olarak, jeotermal aktivitenin yüksek olduğu bazı Yunan adalarındaki gradyan değerlerinin de bu dağılımı daha gerçekçi hale getireceği savlanmış, çeşitli yayınlardan Milos, Nisiros, Lesvos ve Santorini adalarında delinmiş derin kuyularda yapılan ölçümlerden elde edilen yeraltı sıcaklık sıcaklık gradyanı değerleri çalışmaya katılmıştır.[19,20] Böylece toplam veri sayısı 539 düzeyine ve variogram analizinde dikkate alınan veri sayısı ise 333 düzeyine erişmiştir.

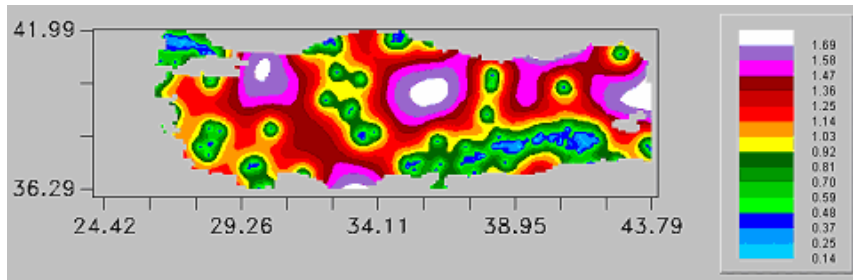
Yeni verilerin de eklenmesiyle, yeraltı sıcaklık gradyanı dağılım çalışmasının ikincil aşamasına geçilmiş ve yine en uygun variogram modelinin eşikli küresel izotropik model olduğu bulunmuştur. İkinci aşamada sonuçlar biraz daha iyileşmiş ve çapraz doğrulama grafiği **Şekil 7.4**'te görüldüğü gibi elde edilmiştir.



Şekil 7.4 : Gradyan Verilerinin İkinci Aşama GS⁺ Çapraz Doğrulama Grafiği.

Çapraz doğrulama (cross validation) grafiğine göre, girdi verileri ve bunların variogram modeli ile kestirimi arasındaki regresyon katsayısı $r^2 = 0.573$ düzeyine yükselmiş ve bir önceki variogram analizinden yaklaşık iki buçuk kat daha iyi sonuç alın-

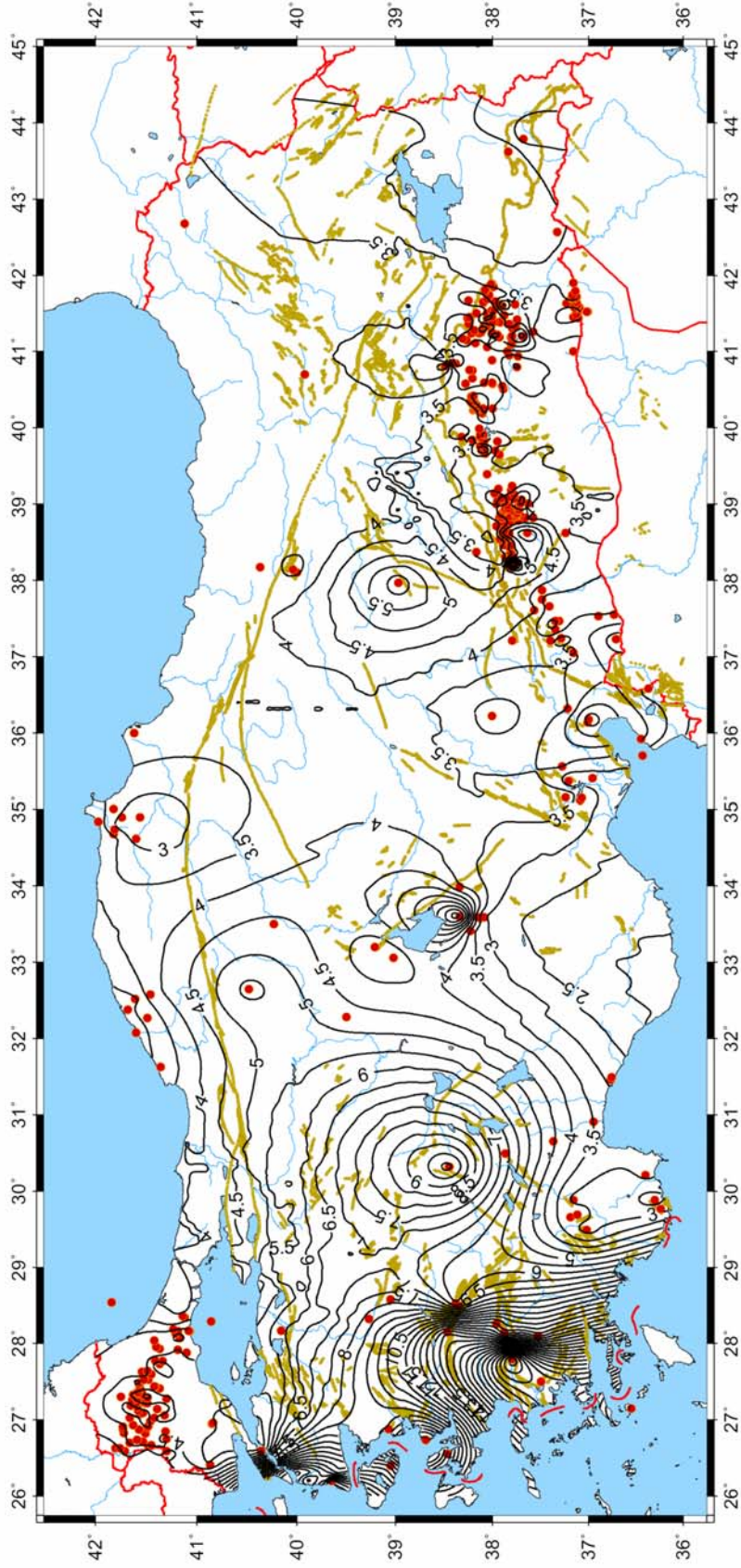
mıştır. Ne var ki, verilerin dağılımındaki heterojenlik bozulmadığı için, **Şekil 7.5**'te görülen ve bir ilk aşamada elde edilenden biraz farklı bir standart sapma dağılımı ortaya çıkmıştır. Yeraltı sıcaklık gradyanı değerlerindeki standart sapma Trakya ve Güneydoğu Anadolu bölgelerinde 0.14–0.81 arasında değişen değerlerle en düşük ; Marmara bölgesinin doğusu, Akdeniz bölgesinin orta kısmı, Orta Anadolu bölgesinin doğusu, ve Doğu Anadolu bölgesinin doğusunda 1.36–1.69 arasında değişen değerlerle en yüksektir. Daha önce de belirtildiği gibi bunun nedeni, yüksek standart sapma gösteren yörelerde az veri oluşudur.



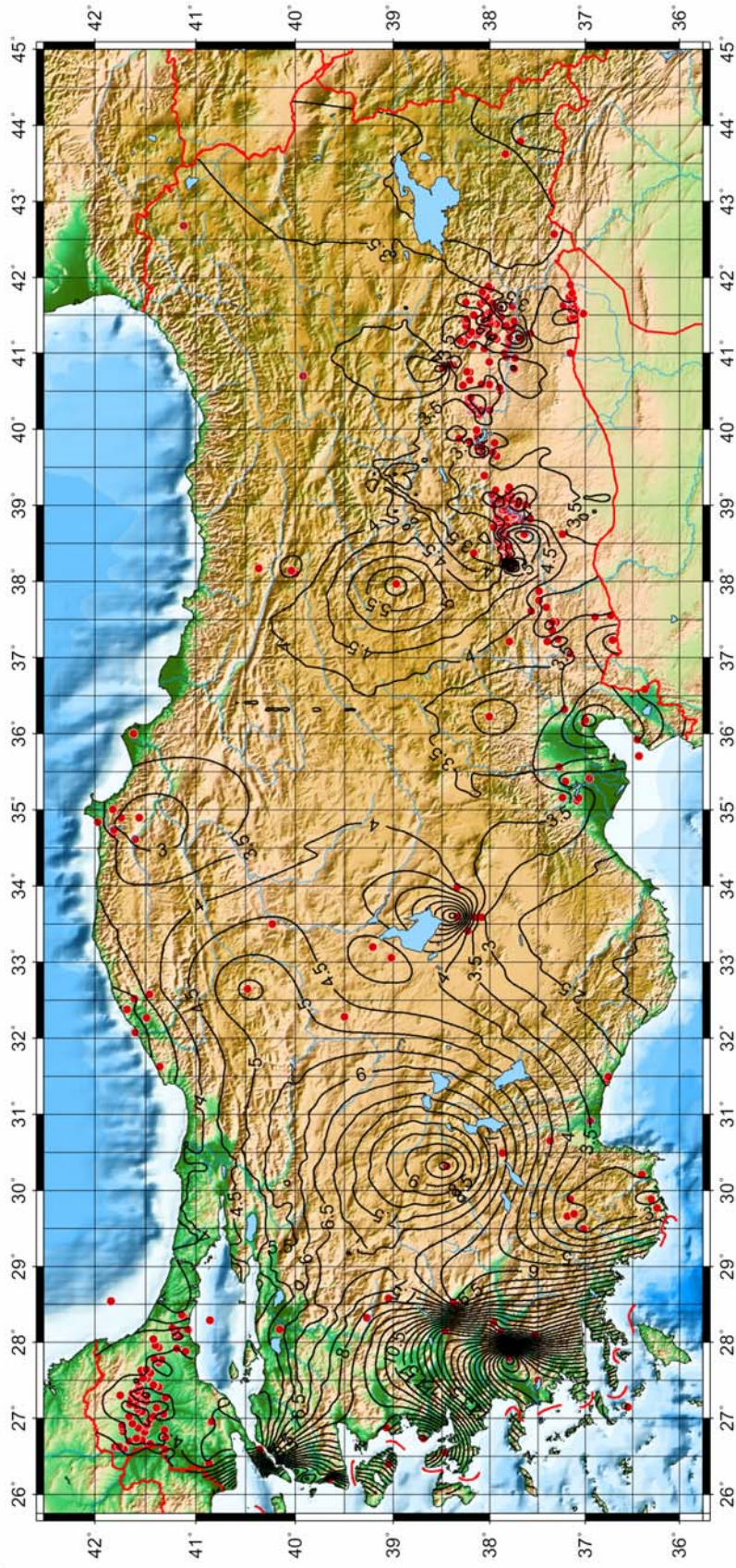
Şekil 7.5 : Gradyan Verilerinin İkinci Aşama GS⁺ Standart Sapma Dağılımı.

Yeraltı sıcaklık gradyanı dağılım çalışmasının ikinci aşamasında da yeraltı sıcaklık gradyanı değerleri bulunmayan noktalardaki gradyan değerleri yine 39 karakteristik litolojik bölgenin her biri için, 0.05° enlem ve 0.05° boylam aralıkları ile ve eşiksiz küresel izotropik variogram modeli kullanılarak adı kriging ile kestirilmiştir. Elde edilen verilerden yalnızca yaklaşık 8000 tanesi **Şekil 7.6**'da görüldüğü gibi GMT yazılımı kullanılarak ikinci aşama Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımını haritalamak üzere çizilmiştir.[8] Bu haritada, kırmızı renkli noktalar kuyu konumlarını simgelemektedir ve verilerin homojenlikten uzak dağılımını açıkça göstermektedir. **Şekil 7.7**'de ise aynı haritanın Türkiye topoğrafyası üzerine çizilmiş hali görülmektedir. Her iki haritada eş yeraltı sıcaklık gradyanı eğrileri (kontur) aralıkları aynı olup, 0.5°C/100m olarak seçilmiştir.

İkinci ve son aşama bu dağılımın **Şekil 7.3**'te elde edilmiş dağılıma göre çok daha kabul edilebilir ve gerçeği yansıtan bir niteliğe sahip olduğu ortadadır. Özellikle Batı Anadolu'da Gediz grabeni yanında Menderes grabeni ve Çanakkale güneyinde Tuzla jeotermal alanı belirgin olarak ortaya çıkmıştır. Bu yörelerde 12°C/100m düzeyini



Şekil 7.6 : İkinci Aşama Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı ve Diri Fay Haritası. (Eş Gradyan Eğri Aralığı 0.5°C/100m)



Şekil 7.7 : İkinci Aşama Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Dağılımı ve Topoğrafya Haritası. (Eş Gradyan Eğri Aralığı 0.5°C/100m)

aşan eş yeraltı sıcaklık gradyanı eğrileri, Menderes grabeninde $19.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ düzeyine kadar yükselmekte ve Yunan adalarındaki yüksek gradyanların etkisi ile Ege Denizine doğru yönelmektedir. Bunun hemen güney doğusunda değerleri giderek azalan eş yeraltı sıcaklık gradyanı eğrileri, Teke yarımadasında yerin 3000–4000 m altına kadar uzanan karstik yapıda $3^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ düzeyinin altında değerler almaktadır.

Gediz ve Menderes grabenlerinde topoğrafyaya uyum gösteren eş sıcaklık gradyan eğrileri doğuya doğru biraz azalarak, Afyon civarı merkez olmak üzere yine yükselmekte ve o yöredeki aktif fayları onurlandırırçasına $10^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ değerine erişmektedir. Yeraltı sıcaklık gradyanı değerleri Orta Anadolu'ya doğru azalmakta, ancak Kızılcahamam civarında $5.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ değerine erişerek bir yoğunluk göstermekte ve sonra doğuya doğru azalmasını sürdürmektedir. İlginçtir ki, eğriler Kuzey Anadolu Fayı'nın (KAF) yalnızca batı kesiminde KAF'ı izlemekte ve Orta Karadeniz bölgesinde KAF'ın varlığından etkilenmemiş görünmektedirler. Bu bölgenin güneyinde Tuz Gölü civarında yeraltı sıcaklık gradyanının $5-7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ arası değerler alabilmesi ile bu yöredeki diri fayların varlığı arasında bir ilişki olduğunu göstermektedir.

Bu arada 36° ve 37° boylamları arasında KAF'ın hemen güneyinde görülen, alt alta dizilmiş çok küçük ve kapalı gradyan uzantılarının gerçekte var olmayan ve ancak bu yöredeki veri eksikliğinden kaynaklanan yapay oluşumlar olduğu açıktır. Onların hemen güney doğusunda Sivas ve Malatya arasında kalan yörede yeraltı sıcaklık gradyanının $6^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ düzeyine erişen bir noktaya kadar iç içe halkalar oluşturması ise bir rastlantı değildir ve bu yöredeki faylar üzerinde gerçekte var olan sıcak su çıkışlarını (ılıca ve kaplıcalardan) kanıtlamaktadır.

Güneydoğu Anadolu'da pek çok veri olması, buradaki bindirmenin karmaşık yapısını ortaya çıkartmakta ve özellikle Adıyaman civarında küçük bir alanda yoğunlaşan eş sıcaklık gradyan eğrileri buradaki oldukça yüksek jeotermal aktiviteyi belirtmektedir. Yeraltı sıcaklık gradyanlarının bu yoğunlaşması Karakuş petrol sahası ve civarını merkez almakta, yaklaşık $6.5^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ düzeyine erişmektedir. Doğu Anadolu Fayı (DAF) güneyinde kalan bu yöredeki orta-yüksek sıcaklık gradyanları Diyarbakır ve Batman'a doğru $3-4^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ arası değerler göstererek dağılmaktadır. Hakkari ve civarında ise yeraltı sıcaklık gradyanının oldukça düşük değerler aldığı görülmektedir. Benzeri bir davranış Van Gölü civarından başlamak üzere Doğu Karadeniz

bölgesine doğru görülmekteyse de, bu yöredeki veri azlığı nedeniyle bu bölge için iddialı yorum yapmanın doğru olmayacağı ortadadır.

Şekil 7.6 ve **Şekil 7.7** ile verilen Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının yer yer diri fay hatlarını ve zaman zaman da bunlara bağlı olarak topoğrafyayı izlediği görülmekte, fakat bu davranışın belirli bir kuralı olmayan bir örüntü (pattern) sergilediği anlaşılmaktadır. Buna karşılık, eldeki bu dağılımlardan yola çıkılarak her bir bölge veya yöreyi içine alan daha büyük ölçekli haritalarda daha sınırlı ancak ayrıntılı irdeleme ve değerlendirmeler yapılabilir.

“Avrupa Jeotermal Kaynaklar Atlası”nda (Atlas of geothermal resources in Europe) yer alan “-1000 m” derinlik için sıcaklık dağılımını veren haritanın Türkiye’yi kapsayan parçasının biraz büyütülmüş hali **Şekil 7.8**’de sunulmaktadır.[21] Bu harita Türkiye’deki yeraltı sıcaklık dağılımını çok kabaca verse de, bu çalışmada **Şekil 7.6** ve **Şekil 7.7**’de görülen çok daha rafine yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı ile genel örüntü (pattern) benzerlikleri göstermesi açısından ilgi çekicidir ve bu çalışmadaki sonuçları destekler niteliktedir.



Şekil 7.8 : Avrupa Jeotermal Kaynaklar Atlası’na Göre Türkiye -1000m Yeraltı Sıcaklık Dağılımı.[21]

8. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye yeraltı sıcaklık gradyan dağılımı ve haritası derin delinmiş 539 kuyuda 1000 m ve daha derinlerde ölçülmüş sıcaklık verilerinden yararlanılarak ve jeostatistiksel yöntemler kullanılmak üzere doğrudan ilk kez elde edilmiştir. Önceki çalışmalardan olan önemli bir fark, yüksek jeotermal aktivitesi olan bazı Yunan adaları için yayınlanmış yeraltı sıcaklık gradyanı değerlerinin de burada kullanılmasıdır.

1. Haritalanmış olarak ortaya konulan Türkiye yeraltı sıcaklık gradyan dağılımının oluşturulmasında, en uygun olarak seçilen eşikli küresel variogram modelinin Türkiye üzerinde belirlenmiş 39 karakteristik litolojik yapının her birinde veri olmayan noktalardaki gradyan değerlerinin kriging ile kestiriminde kullanılmasıyla, Türkiye yüzey jeolojisinin etkisi de dikkate alınmıştır.
2. Yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımının elde edilmesinde kullanılan yeraltı sıcaklık gradyanı verileri, tek kuyuların her biri için veya birden fazla kuyusu bulunan petrol, gaz veya jeotermal sahaların tüm kuyularını temsil eden bir kuyu için ayrı ayrı hesaplanmış ve variogram analizi bunlar üzerinde yapılmıştır.
3. Her bir kuyudaki yeraltı sıcaklık gradyanını hesaplamak için gerekli olan yüzey sıcaklığı, ilk başta yapılan Türkiye yüzey (–1 metre derinlik) sıcaklık dağılım çalışmasından elde edilmiştir.
4. Yüzey sıcaklık verileri 245 meteoroloji gözlem istasyonunda günlük kaydedilmiş sıcaklık verilerinin 25-30 yıllık aylık ortalamalarının yıllık ortalamasıdır. Yüzey sıcaklık dağılımının oluşturulmasında, en uygun olarak seçilen eşiksiz üssel izotropik variogram modelinin Türkiye üzerinde belirlenmiş 39 karakteristik litolojik yapının her birinde veri olmayan noktalardaki yüzey sıcaklık değerlerinin kriging ile kestiriminde kullanılması, Türkiye yüzey jeolojisinin etkisini dikkate almıştır.
5. Gerek yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı hesaplamalarında 0.05° enlem ve 0.05° boylam aralıkları için veri kestirimleri yapılmış, ancak haritalamada yalnızca 0.1° enlem ve 0.1° boylam aralıkları ile kestirilmiş değerler kullanılmıştır. Yüzey sıcaklık dağılımı hesaplamalarında ise 0.01° enlem ve 0.01° boylam aralıkları için

veri kestirimleri yapılmış, ancak haritalamada yalnızca 0.1° enlem ve 0.1° boylam aralıkları ile kestirilmiş değerler kullanılmıştır. İstendiği takdirde haritalama için küçük aralıklarla kestirilmiş veriler kullanılabilirse de, bu uygulamanın haritalamaya farkedilir bir etkisi olmayacağı açıktır.

6. Geliştirilen yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı haritasında eş sıcaklık gradyan eğrileri $0.5^\circ\text{C}/100\text{m}$ aralıklarla çizilmişlerdir. Geliştirilen yüzey sıcaklık dağılım haritasında ise eş yüzey sıcaklık eğrileri 0.5°C aralıklarla çizilmişlerdir.
7. Çalışma ile ortaya konulan ve haritalanan yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı daha önce yapılmış yeraltı sıcaklık veya ısı akışı dağılımı çalışmalarında elde edilmiş sonuçlarla desteklenir bir görünüm sergilemekte olup, kullanılan jeostatistiksel yöntemlerle onlardan daha rafine ve güvenilir niteliğe sahiptir. Elde edilen yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı Türkiye’de bilinen jeotermal aktif alanları belirlemekte, belirli bir örüntü (pattern) göstermeden yer yer bazı fay hatlarına ve topoğrafyaya uyumlu eş yeraltı sıcaklık gradyanı eğrileri oluşmasını sağlamaktadır.
8. Burada sunulan Türkiye yeraltı sıcaklık gradyanı dağılımı ve haritası Türkiye’de istenilen yörelerde derin yeraltı sıcaklık değerlerinin kestiriminde, ısı akışı veya ısı akısı hesaplamalarında, ve yarı jeotermal alanların belirlenmesinde önceki çalışmalara göre daha güvenilir sonuçlar elde edilmesi için veri sağlamaktadır.
9. Çalışmada variogram analizi ve kriging hesaplamalarında GS+ yazılımı, haritalamada GMT yazılımı kullanılmış, çok kuyulu sahalar için veya tek kuyuda farklı derinliklerde birden fazla sıcaklık ölçümü olduğu durumlar için yeraltı sıcaklık gradyanı hesaplaması için bir VB yazılımı geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] **Ünalın, G., Öngür, T.**, 1979. "Geothermal Gradient and Temperature Investigation at 1000 m Depth at Some of Basins of Turkey" Geocome-1 1st Geological Cong. of the Mid. East, org. by Geological Soc. of Turkey and MTA (Mineral Res. Exp. Inst.), Ankara, Turkey, pp. 637-648.
- [2] **Tezcan, A.K., Turgay M.I.**, 1992. "Catalogue of Heat Flow Density Data: Turkey", In: "Geothermal Atlas of Europe", E. Hurtig, V. Cermak, R. Haenel and V. Zui Ed., International Association for Seismology and Physics of the Earth's Interior, Hermann Haack Verlagsgesellschaft mbH-Geographisch-Kartographische Anstalt Gotha, Germany, pp. 84-85.
- [3] **Tezcan, A.K.**, 1995. "Geothermal Explorations and Heat Flow in Turkey," chapter in Terrestrial Heat Flow and Geothermal Energy in Asia, (Eds.) Gupta M.L. and Yamano M., Oxford and IBH Pub. Co., Pvt. Ltd., New Delhi, India, pp. 23-42.
- [4] **İlkışık, O.M.**, 1992. "Silica Heat Flow Estimates and Lithospheric Temperature in Anatolia," Proceedings of XI. Congress of World Hydrothermal Organization, İstanbul, pp.92-104.
- [5] **Mihçakan, İ.M., ve Öcal, M.**, 2000. "A Survey on Geothermal Gradient Distribution in Turkey," *Turkish Journal of Oil and Gas*, Vol.6, No.3, pp. 41-53.
- [6] **Taşçı, M.H.**, 2000. "Türkiye Yeraltı Sıcaklık Gradyanı", *bitirme çalışması* No. 615, Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul.
- [7] **Smith, W. H. F., and Wessel, P.**, 1990. "Gridding With a Continuous Curvature Surface in Tension", *Geophysics*, 55, USA, pp. 293-305.
- [8] **Wessel, P., and Smith, W. H. F.**, 2002. "GMT (*Generic Mapping Tools*) Version 3.4.1, *A Map-Making Tutorial*", School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawai'i at Mānoa, Hawaii, USA.
- [9] **Carslaw, H.S., and Jaeger, J.C.**, 1989. "Conduction of Heat in Solids", 2nd ed., Oxford Science Publications, Oxford University Press, New York, N.Y., USA, p. 81.
- [10] **Cermak, V., Safanda, J. Kresl, M., Dedecsek, P., and Bodri, L.**, 2000. "Recent Climate Warming: Surface Air Temperature Series and Geothermal Evidence", *Stud. Geophysics. Geod.*, **44**, pp. 430-441.
- [11] **Tercan, A.E., ve Saraç, C.**, 1998. "Maden Yataklarının Değerlendirilmesinde Jeostatistiksel Yöntemler", TMMOB Jeoloji Müh. Odası, Yayın No.48, Ankara.

- [12] **Erçelebi, S.G. ve Nasuf, E.,** 2000. “Sistematik Maden Arama ve Rezerv Hesaplama Yöntemleri”, Madenlerde Fizibilite ve Proje Yönetimi Eğitim Semineri, Yurt Madenciligini Geliştirme Vakfı, 26-28 Nisan, İstanbul.
- [13] **Clark, I.,** 1979. “The Semivariogram – Part 1”, Geostatistics, Part 2 of A Series, *Engineering an Mining Journal*, Mining Media, Denver, Colorado, USA, May issue, pp. 90-94.
- [14] **Walpole, R.E. and Myers, R.H.,** 1985. “Probability and Statistics for Engineers and Scientists”, 3rd Ed., Macmillan Pub. Co., New York, N.Y., USA, pp. 76, 84, 184-189, 215.
- [15] **Robertson, G.P.,** 1998. “GS⁺ Geostatistics for the Environmental Sciences”, vers. 3.1, software for Windows, Gamma Design Software, Plainwell, Michigan, USA.
- [16] **M.T.A.,**2002. “1:500,000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası”, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [17] **M.T.A.,**1989. “1:2,000,000 Ölçekli Türkiye Jeoloji Haritası”, Maden Tetkik ve Arama (MTA) Genel Müdürlüğü, Ankara.
- [18] **Brooker, P.I.,** 1979. “Kriging”, Geostatistics, Part 4 of A Series, *Engineering an Mining Jou.*, Mining Media, Denver, Colorado, USA, September issue, pp. 148-153.
- [19] **Fytikas, M.,** 1977. “Geology and Geothermics of the Island of Milos”, PhD Thesis, Univ. of Thessaloniki, Greece.
- [20] **Ungemach P.,** 2002. “Energy Development Problematics in the Mediterranean. The Aeolian and Aegean Islands Region. The Geothermal Energy Case”, Int. Workshop on the Possibilities of Geothermal Development of the Aegean Islands Region, Int. Geothermal Days “Greece 2002”, Milos, Greece, September 5-8.
- [21] **Hurter S. And Schellschmidt R.,** 2003. “Atlas of Geothermal Resources in Europe”, *Geothermics*, 32, Pergamon Press, Elsevier Ltd. Holland, pp. 779-787.

EKLER

EK – A.1

Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Haritası İçin Seçilen Tek Derinlikteki Sıcaklık Değerleri
Ölçülmüş Kuyuların Koordinatları, Derinlikleri, Sıcaklıkları, Zemin Kodları ve
Gradyan Değerleri

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri.

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _r
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
1	Abalar 1	26.71	41.53	2205.5	77.8	132.4	15.19	2.84
2	Abdülaziz 1	39.88	38.32	2880	68.3	1095.8	16.48	1.80
3	Adıyaman 4	41.62	37.77	1719.5	64.4	876.9	17.05	2.76
4	Afjet 1	30.32	38.45	905.0	98.00	B/D	14.01	9.28
5	Ahmetbey 1	27.60	41.45	2749	107.2	134.9	15.70	3.33
6	Akbaş 1	26.87	41.57	1221.5	55.6	190.9	15.22	3.30
7	Akçeli 1	38.77	37.82	2540.3	88.9	716.8	17.62	2.81
8	Akıncılar 1	27.64	41.49	B/D	B/D	B/D	15.56	3.36
9	Akköy 1	40.94	37.74	2569	70.0	624.4	17.75	2.03
10	Akpınar 15	38.82	37.58	3405	112.8	1143.1	18.28	2.78
11	Aksaray 1	33.99	38.34	3500	120.0	955.0	15.64	2.98
12	Aksu 1	30.91	36.95	1568.5	53.33	28.0	19.48	2.16
13	Aktaş-1/A	33.20	39.21	1877	62.8	1120.0	13.29	2.64
14	Akveren-1	34.74	41.81	4645	101.1	992.9	14.38	1.87
15	Akyar 2	35.12	37.09	1865	56.7	198.3	20.23	1.95
16	Alacaoğlu 1	27.28	41.30	1192	60.0	45.0	16.25	3.67
17	Alaşehir 1	28.53	38.38	2111.3	119.44	B/D	16.89	4.86
18	Alçık 2	40.30	38.17	1170	61.1	704.5	16.68	3.80
19	Aliğa	26.55	38.47	1146.5	95.00	B/D	19.22	6.61
20	Alipaşa 1	28.17	41.08	B/D	B/D	B/D	15.20	3.89
21	Altınyayla 1-A	29.49	37.02	2292	55.6	268.0	16.26	1.71
22	Amasra-1	32.38	41.68	2226	57.8	57.3	14.39	1.95
23	Anbarcık 101	40.80	37.75	2558	52.2	632.0	17.46	1.36
24	Araban 2	37.66	37.41	2256	70.0	539.0	17.44	2.33
25	Araplı 1	41.63	37.15	1474.2	52.2	558.7	20.34	2.16
26	Ardahan-1	42.68	41.12	3048	87.8	3220.0	7.47	2.63
27	Ardıç 1	28.16	41.19	700.5	41.1	205.4	15.12	3.71
28	Arızbaba 1	26.93	41.63	B/D	B/D	B/D	15.18	3.24
29	Aşkale-1	40.70	39.92	2350	80.0	3682.0	13.01	2.85
30	Avşar 1	38.62	37.24	1203.9	48.9	844.0	18.67	2.51
31	Babaeski 1	26.98	41.46	1717.2	60.0	83.2	15.45	2.59
32	Badut-1	36.00	41.62	2607	90.0	3.0	15.13	2.87
33	Bağlıca 1	37.75	37.49	1562.5	55.6	789.9	17.29	2.45
34	Bahçedere 1	27.77	41.34	3586.2	131.1	149.0	15.23	3.23
35	Bakacak 1	38.85	37.72	1992.0	68.9	635.9	17.96	2.56
36	Bakacık 1	41.58	37.13	823.4	35.6	492.6	20.29	1.85
37	Bakraçlı 1	38.62	37.64	1036.0	72.22	485.5	17.98	5.24
38	Ballı 1	26.96	40.84	2188.3	76.67	120.1	14.94	2.82
39	Bartın 1	32.27	41.49	3938.0	98.89	292.8	14.63	2.14
40	Batı Aviran 1-A	40.35	38.23	2234	73.9	782.4	16.36	2.58
41	Batı Azıklı 3	39.72	38.09	811.0	55.56	742.0	17.53	4.69
42	Batı Darabi 1	41.25	38.01	1180.8	53.89	730.0	15.45	3.26

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_r : yeraltı sıcaklık gradyanı, T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
43	Batı Hazro 1	40.58	38.28	2380.0	65.56	865.6	15.64	2.10
44	Batı Karabağ 1	37.47	37.35	1929.0	52.22	1003.2	17.29	1.81
45	Batı Kentalan 4	41.60	37.90	1513.5	28.89	982.2	15.61	0.88
46	Batı Migo 3	39.71	38.12	2538.0	107.78	542.6	17.41	3.56
47	Batı Raman 320	41.24	38.21	1860.5	67.2	786.6	13.63	2.88
48	Batı Şelmo 3	41.24	38.22	1809.0	64.44	687.0	13.63	2.81
49	Bayramdere 1	27.33	41.63	1473.5	66.67	193.2	15.48	3.47
50	Bayramlı 1	26.25	41.31	2333.0	115.56	66.0	15.60	4.28
51	Belaşa 3-A	41.17	38.31	4063.0	112.22	932.4	13.69	2.43
52	Beşikli 9	38.85	37.75	1935	73.33	598.9	17.88	2.87
53	Beşyamaç 1	39.20	37.94	2656.0	90.56	873.5	17.75	2.74
54	Beşyol 1	41.88	38.02	2458.5	64.44	861.1	15.21	2.00
55	Beybuni 1	40.34	38.20	2031.0	68.89	756.5	16.49	2.58
56	Beyciler 1	28.13	41.21	1185.0	62.22	17.6	15.09	3.98
57	Beyçayır 1	41.39	38.00	2482.0	76.67	697.3	14.58	2.50
58	Beykan	39.91	38.10	1548.0	46.67	787.8	17.24	2.00
59	Bezirci-1	33.58	38.13	4275	136.7	985.0	14.05	2.87
60	Boğaz 1	39.39	38.06	2958.0	98.89	601.1	18.08	2.73
61	Boliş 1	40.65	38.21	2858.0	75	841.0	15.83	2.00
62	Boyabat 4	34.90	41.56	3813.5	71.11	533.6	14.22	1.49
63	Boyluca 1	41.67	38.25	880.0	40.56	1288.0	12.24	3.22
64	Bölükayla	38.46	37.89	B/D	B/D	B/D	17.29	2.79
65	Bucak 1	39.07	37.88	2340.0	85.56	777.6	17.70	2.90
66	Budak 1	40.84	38.38	1676.0	46.67	770.0	14.60	1.91
67	Büyük Pirin 1	38.30	37.80	1477.6	58.89	685.1	17.57	2.80
68	Büyük Yoncalı 1	27.93	41.37	1352.4	66.67	131.0	15.06	3.82
69	Büyükalın 1	29.66	37.19	1802.0	52.78	1134.3	15.30	2.08
70	Cendere 10	38.64	37.90	2926	104.4	1078.0	17.32	2.98
71	Cengiz 1-A	26.95	40.85	2659.0	104.44	150.5	14.89	3.37
72	Cepkenli 1-A	43.62	37.84	2995.0	58.89	2670.4	13.11	1.53
73	Cevizköy 1	27.63	41.54	633.0	43.33	209.8	15.53	4.39
74	Cilesiz 1	41.58	37.15	1707.8	37.78	524.0	20.27	1.03
75	Coşkunsel 2	38.82	37.89	2998.6	102.22	874.8	17.42	2.83
76	Cumalar 1	36.32	37.22	3031.5	93.33	411.0	19.92	2.42
77	Çağla 1	39.01	37.63	1627.0	68.33	608.7	18.33	3.07
78	Çamlık 1	35.41	36.96	1593.0	48.89	27.5	20.40	1.79
79	Çınar 1	35.70	36.43	4490.0	102.78	-82.3	20.45	1.83
80	Çınarcık 1	38.17	37.80	425.5	31.67	822.6	17.17	3.41
81	Çınarlı 1	40.85	38.42	4538.0	73.89	888.8	14.40	1.31
82	Çobanpınar 1	38.86	37.92	2637.2	71.11	822.6	17.35	2.04
83	Çukurtaş	38.56	37.87	B/D	B/D	B/D	17.39	3.21
84	Dara 1	41.00	37.16	1204.0	48.89	714.0	18.70	2.51

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı,
T : "D" derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
85	Değirmencik 1	27.17	41.59	3660.4	121.11	147.2	15.43	2.89
86	Delen 1	27.73	41.37	2512.0	78.89	116.0	15.35	2.53
87	Demre 1	29.88	36.30	1667.0	65.56	84.3	14.41	3.07
88	Destek 1	39.13	37.78	859.6	45.56	674.2	18.07	3.20
89	Deveçatağı 5	27.32	41.61	1477.20	71.11	254.8	15.55	3.76
90	Dicle 1	40.95	37.83	1432.0	40	541.3	17.56	1.57
91	Didan 1	40.89	38.01	3804.0	111.67	695.3	16.60	2.50
92	Dikili J.	26.88	39.07	1500.0	130.00	B/D	18.60	7.43
93	Dikmetaş 1	38.84	37.82	2255.0	76.67	666.0	17.66	2.62
94	Doğu Beşikli	38.93	37.73	B/D	B/D	B/D	18.00	3.75
95	D. Bölükyayla 1A	38.52	37.89	2908.0	86.67	839.6	17.31	2.39
96	Doğu Çamurlu 1	41.65	37.13	2411.0	60	548.2	20.38	1.64
97	Doğu Kavakdere 1	27.30	41.75	2300.5	93.33	162.0	15.04	3.40
98	Doğu Malabadi 1	41.28	38.11	2904.0	88.89	651.5	14.13	2.57
99	Doğu Raman 2	41.42	37.75	1423.0	56.67	992.9	17.25	2.77
100	Doruk 1	40.24	38.19	1600.0	46.67	795.0	16.71	1.87
101	Dumrul 2	40.33	38.20	2062.0	65.56	707.4	16.51	2.38
102	Edirne 1	26.59	41.71	B/D	B/D	B/D	15.00	3.82
103	Ekinveren 1	34.62	41.60	3004.0	67.78	1175.6	13.80	1.80
104	Elbeyi 1	38.78	37.74	2403.5	91.11	617.2	17.85	3.05
105	Elbeyli 1	37.55	36.73	1984.5	67.78	576.9	18.83	2.47
106	Emelcik 1	35.16	37.24	1387.2	63.33	136.7	19.75	3.14
107	Emirali	27.53	41.48	B/D	B/D	B/D	15.84	3.64
108	Erbil 1	41.85	37.99	2700.4	83.33	608.9	15.48	2.51
109	Ereğli 1	31.63	41.36	2435.0	65.56	194.7	14.63	2.09
110	Erfelek-1	35.01	41.82	4510	120	175.4	14.90	2.33
111	Ertuğrul 1	27.47	41.57	896.2	41.11	192.8	15.72	2.83
112	Esence 1	38.31	37.87	1828.2	60	1258.3	17.25	2.34
113	Eskipolatlı-1	32.28	39.50	3509	143.3	935.7	13.63	3.70
114	Esmekaya-1	33.41	38.23	4609	140.6	993.0	13.79	2.75
115	Eşmeli 1	39.07	37.78	1524.0	77.78	628.9	18.00	3.92
116	Fasılı-1	34.68	41.82	2626	86.1	433.0	14.28	2.74
117	Filyos 1	32.08	41.60	3103.5	68.89	11.4	14.60	1.75
118	Foça 1	26.64	38.69	2223.0	81.67	-73.8	19.32	2.80
119	Garzan 94	41.48	37.88	1455.30	52.2	1032.0	15.82	2.50
120	Geçkinli 1	26.88	41.73	B/D	B/D	B/D	15.05	3.98
121	Gedik 2	39.00	37.96	3005.0	112.22	744.3	17.32	3.16
122	Gegendere 1	32.52	41.61	2964.0	70	409.5	14.65	1.87
123	Gelibolu 1	26.59	40.36	1701.4	67.78	50.4	16.27	3.03
124	Gercüş 2	41.26	37.58	1675.0	47.78	933.8	18.46	1.75
125	Germencik J.	27.80	37.80	1026.7	222.00	B/D	19.62	19.58
126	Gilbaş 1	35.37	37.21	2856.0	63.33	308.4	19.90	1.52

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı,
T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
127	Girmeli 1	41.44	37.11	3512.1	88.89	480.8	20.12	1.96
128	Göldere	27.52	41.53	B/D	B/D	B/D	15.76	4.15
129	Görümlü 1	42.57	37.33	3407.0	85	953.5	18.93	1.94
130	Göztepe 1	41.52	37.01	1012.4	43.33	175.9	20.23	2.28
131	Güney Azıklı 1	39.76	38.09	2715.0	93.33	773.5	17.44	2.80
132	Güney Bakük 1	41.45	37.16	1748.0	43.33	628.3	20.09	1.33
133	Güney Dinçer	41.71	37.16	B/D	B/D	B/D	20.44	2.60
134	Güney Hazro 1	40.76	38.24	1886.00	61.1	954.0	15.48	2.42
135	Güney Karakuş 2	38.62	37.83	2205.00	110	642.1	17.53	4.19
136	Güney Kayaköy 1	40.25	38.00	2582.20	76.7	771.4	17.40	2.30
137	Güney Kayaköy ?	41.24	38.14	B/D	B/D	B/D	14.20	2.43
138	Güney Kınık 1	38.46	37.81	2586.3	83.33	794.0	17.56	2.54
139	Güngörmez 1	39.03	37.87	2301.0	73.89	862.2	17.68	2.44
140	Günyayla 1	41.54	38.01	967.0	43.89	683.7	14.09	3.08
141	Gürbüz 1	39.68	38.09	2769.0	85.56	832.2	17.63	2.45
142	Güven 1	38.94	37.84	2448.0	87.78	561.7	17.68	2.86
143	Güzeltepe 1	41.52	37.02	1012.4	43.33	B/D	20.23	2.28
144	Habibler 2	26.70	41.66	2967.0	116.67	103.5	15.06	3.42
145	Halof 1	38.54	37.92	2221.8	61.11	1412.4	17.22	1.98
146	Havşa 1	26.82	41.51	B/D	B/D	B/D	15.26	3.53
147	Hayat 1	41.52	38.00	2241.0	82.22	622.3	14.22	3.03
148	Haznemir West 1	41.22	37.95	563.0	42.22	840.0	16.34	4.60
149	Hisaralan	28.32	39.27	752.1	96.1	395.0	15.51	10.72
150	Histur 1	38.71	37.96	2620.0	73.33	983.8	17.14	2.14
151	Hosan 1	39.84	38.21	1753.0	60	863.8	16.75	2.47
152	İğneada 1	28.54	41.84	3119.0	92.22	-280.0	15.04	2.47
153	İmamköy J.	27.50	37.50	1500.0	160.00	B/D	19.65	9.36
154	İnce 1	27.03	41.66	B/D	B/D	B/D	15.16	3.28
155	İpek 1	41.68	37.16	1060.5	43.33	479.0	20.39	2.16
156	İpsala 1	26.41	40.87	2101.0	78.89	56.8	15.45	3.02
157	İskenderun 2	35.92	36.45	3315.0	125.56	17.8	20.09	3.18
158	Kadıköy	28.36	41.14	B/D	B/D	B/D	15.28	2.43
159	Kaldırım 1	39.82	37.95	1819.6	67.78	873.5	17.88	2.74
160	Kanun 1	27.12	37.36	1938.0	40.56	468.8	19.48	1.09
161	Karaağaç	27.49	41.56	1022.3	37.78	185.0	15.73	2.16
162	Karaali 3	41.06	38.06	3027.0	87.78	666.6	15.99	2.37
163	Karabağ 1	41.69	38.06	3281.0	104.44	1031.5	13.97	2.76
164	Karacaoğlan 1	27.08	41.56	1888.0	73.33	129.4	15.41	3.07
165	Karaçalı 2	27.92	41.19	2205.0	91.11	119.2	14.98	3.45
166	Karadut 1	38.81	37.93	2963.7	98.33	923.0	17.28	2.73
167	Karagöl 1	37.36	37.35	2953.6	68.33	907.6	17.21	1.73
168	Karakavak 1	27.06	41.32	B/D	B/D	B/D	15.67	3.64

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı,
T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
169	Karakuyu 1	35.15	37.07	1774.0	65	480.0	20.30	2.52
170	Karapınar 1	39.65	37.93	2505.5	75	1021.9	18.20	2.27
171	Karasu-1	34.84	41.97	1733	63.3	82.8	14.85	2.80
172	Kaş 1	29.77	36.24	4455.0	36.7	B/D	21.44	1.67
173	Kartaltepe 1	38.37	38.17	2004.0	63.89	718.3	16.21	2.38
174	Kartaltepe 8	38.17	40.37	2009.2	72.22	749.0	12.80	2.96
175	Kavakdere 3	27.28	41.59	2118.4	95.6	173.0	15.58	3.78
176	Kayabağlar 1	41.66	37.97	2211.4	71.11	759.2	14.92	2.54
177	Kayadibi 1	41.44	38.26	4267.0	111.11	1229.0	11.91	2.32
178	Kayayolu 1	40.59	38.09	2575	72.2	707.0	16.47	2.17
179	Kepirtepe 2	27.41	41.37	1404.5	56.67	63.0	16.38	2.87
180	Kınık 1	38.43	37.82	3304.5	121.11	746.3	17.52	3.13
181	Kıran 1	40.81	38.49	922.0	53.33	823.0	14.17	4.25
182	Kırcaoğlu 1	36.58	36.37	3938.6	106.67	92.8	19.34	2.22
183	Kırıklı 1	38.16	37.82	958.0	58.89	937.6	17.05	4.37
184	Kırklareli 1	27.19	41.65	1815.9	61.11	168.0	15.22	2.53
185	Kırkpınar 1	29.88	37.16	2052.5	54.4	1913.7	15.15	1.91
186	Kızılcıkdere 1	27.26	41.64	B/D	B/D	B/D	15.33	3.46
187	Kızıldere R-1	28.26	37.96	2161.0	242.00	154	18.42	10.35
188	Kızkapını 1	37.24	37.29	2865.8	115.56	882.2	17.32	3.43
189	Kırtepe 1	39.99	38.14	1957.0	61.11	769.0	17.07	2.25
190	Kocadere 1	27.41	41.56	B/D	B/D	B/D	15.80	3.29
191	Kozluk 2	41.50	38.17	3447.0	103.33	684.8	11.82	2.65
192	Kulecik 1	37.05	37.16	B/D	B/D	B/D	17.66	2.33
193	Kuleli 1	26.92	41.48	2053.0	65.56	1282.4	15.36	3.05
194	Kuleli 2	26.90	41.49	1300.0	53.33	83.5	15.33	2.92
195	Kumrular 2	27.22	41.49	B/D	B/D	B/D	15.87	3.53
196	Kumrular 4	27.22	41.51	3102.6	126.67	99.0	15.80	3.57
197	Kurşunlu (Salihli) J.	28.15	38.47	1189.0	168	B/D	18.48	12.57
198	Kurtalan 1	41.55	37.98	2129.5	87.78	739.2	14.52	3.44
199	Kurtdere 1	27.78	41.41	2391.0	92.22	115.5	15.26	3.22
200	Kuyubaşı 1	30.65	37.37	1587.0	32	973.3	16.48	0.98
201	Kuzey Abalar 1	26.74	41.59	3459.0	130.56	100.4	15.14	3.34
202	Kuzey Adıyaman 4	38.23	37.80	2881.7	93.33	983.3	17.40	2.63
203	Kuzey Akçeli 1	38.74	37.84	2561.0	101.67	737.7	17.54	3.29
204	Kuzey Dinçer 1	41.70	37.18	2652.5	75.56	618.6	20.40	2.08
205	Kuzey Eşmeli 1	39.09	37.83	2399.2	81.67	754.5	17.88	2.66
206	Kuzey Halof 1	38.54	37.93	3396.5	86.11	963.4	17.19	2.03
207	Kuzey Hamitabat 1	27.27	41.53	1917.3	78.89	119.0	15.83	3.29
208	Kuzey Karadut 1	39.04	37.95	2676.5	94.44	969.0	17.41	2.88
209	Kuzey Kaya 1	37.47	37.31	3666.3	103.33	626.2	17.37	2.34
210	Kuzey Mağrip 2	41.62	37.95	2045.0	68.89	764.4	15.04	2.63

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı,
T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
211	Kuzey Mağrip	41.63	37.95	B/D	B/D	B/D	15.07	3.55
212	Kuzey Marmara 1	28.29	40.68	931.0	42.22	116.5	15.35	2.89
213	Kuzey Marmara ?	28.16	41.07	B/D	B/D	B/D	15.19	3.50
214	Kuzey Migo 3	39.73	38.12	2471.7	94.44	805.4	17.36	3.12
215	Kuzey Migo ?	39.76	38.13	B/D	B/D	B/D	17.24	4.03
216	Kuzey Osmancık 1	27.36	41.58	1231.8	55.6	167.8	15.72	3.23
217	Kuzey Pirin 1	38.31	37.79	2430.0	100.00	650.7	17.62	3.39
218	Kuzey Raman 4	41.31	37.80	1564.0	60.00	834.0	17.15	2.74
219	Kuzey Suvarlı	37.61	37.57	1301.0	57.78	917.5	16.78	3.15
220	Mağrip 45	41.62	37.93	1754	67.8	821.0	15.29	2.99
221	Malabadi 1	41.25	38.12	1729.0	58.89	669.6	14.29	2.58
222	Malahermo 9	41.11	38.18	1031.4	38.33	734.6	14.77	2.28
223	Manavgat 1	31.46	36.77	2287.0	62.22	5.0	18.62	1.91
224	Manavgat 2	31.49	36.76	2250.0	47.78	5.0	18.59	1.30
225	Melikşah J.	33.50	40.23	1296.0	61.00	B/D	14.25	3.60
226	Mercan 1	41.34	38.09	1248.6	56.67	692.0	13.80	3.43
227	Meriç 1	26.67	41.45	2541.8	90.00	93.4	15.25	2.94
228	Meriç 2	26.66	41.48	B/D	B/D	B/D	15.22	4.30
229	Minnetler 1/A	27.03	41.42	B/D	B/D	B/D	15.57	3.85
230	Miyadin 1	39.91	38.13	1738.0	52.22	782.7	17.11	2.02
231	Mollacabahir	40.51	37.89	2909.0	88.89	608.4	17.23	2.46
232	Muratçalı 1	26.63	41.80	B/D	B/D	B/D	14.99	4.23
233	Mutlu 1	38.55	37.89	2963.4	100.56	802.5	17.32	2.81
234	Narlı 1	37.21	37.40	1904.3	71.11	685.9	17.20	2.83
235	Nasrettin 1	38.82	37.66	1863.5	78.89	588.0	18.09	3.26
236	Nazar 1	41.39	37.98	2261.0	71.11	564.5	14.85	2.49
237	Niğde Aksaray	33.60	38.34	1700.0	137.00	B/D	14.29	7.22
238	Ocaklı 1	41.79	37.14	1681.0	55.56	621.5	20.58	2.08
239	Oluklu 3	38.22	37.83	3645.0	115.56	721.2	17.22	2.70
240	Osmancık 12	27.36	41.59	B/D	B/D	B/D	15.67	3.75
241	Oyuktaş 1	41.50	38.06	2337	81.1	612.5	13.34	2.90
242	Ördekli 1	39.18	37.81	2097.0	78.89	774.1	18.06	2.90
243	Örensu 1	41.46	38.01	1067.6	77.78	591.7	14.15	5.96
244	Özgüner 1	41.63	37.23	3105.0	77.78	905.0	20.20	1.85
245	Özpınar 1	36.22	38.01	3768.0	76.67	1849.2	14.45	1.65
246	Pancarköy 1	27.14	41.39	3212.7	111.11	57.7	15.85	2.97
247	Papur 1	41.45	38.24	4170.0	123.33	1056.0	11.83	2.67
248	Pehlivan köy 1	26.85	41.31	2003.5	79.44	71.3	15.38	3.20
249	Perdeso 2	37.97	38.97	611.0	45.56	586.0	12.91	5.34
250	Piyanko 4	38.98	37.85	1948.0	78.89	588.2	17.69	3.14
251	S. Garzan	41.47	37.88	B/D	B/D	B/D	15.83	3.35
252	Salavathı 1 J.	28.15	37.88	1510.0	167.00	B/D	19.13	9.79

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı, T : "D" derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
253	Salavatlı 2 J.	28.10	37.53	1600.0	156.00	B/D	18.25	10.25
254	Sarıcak 9	40.25	38.18	1702.0	51.11	763.4	16.73	2.02
255	Sarı 2	39.66	38.08	2857.0	98.89	795.5	17.73	2.84
256	Sarıkaya 2	38.70	37.93	3251.0	91.67	1368.4	17.24	2.29
257	Sarıköz 1	28.50	38.35	2120.0	160.00	B/D	17.07	6.74
258	S. Sinan	41.00	37.85	B/D	B/D	B/D	17.60	2.58
259	S. Sinan 2	41.34	38.05	1285	46.7	629.2	14.28	2.52
260	Savaştepe-1	33.59	38.16	3031	87.80	963.3	14.11	2.43
261	Sevinçli 2	35.56	37.28	1548.0	60.00	159.9	19.85	2.59
262	Seyhamamı J.	32.65	40.48	1556.5	86.00	B/D	12.21	4.71
263	Seymen 2	28.17	40.16	751.0	52.22	81.2	15.40	4.90
264	Sezgin 1	41.36	37.83	1707.0	58.89	891.0	16.69	2.47
265	Silivri 1	28.34	41.12	B/D	B/D	B/D	15.28	2.83
266	Simav J.	28.58	39.05	958.0	157.47	B/D	14.12	14.97
267	Sinekli 1	28.19	41.23	1816.5	72.22	221.0	15.12	3.14
268	Sivritepe 1	40.24	38.13	2574.0	70.00	686.9	16.93	2.06
269	Sobutepe 1	30.49	37.87	1741.0	25.00	B/D	14.15	0.62
270	Sofular 1	26.63	41.76	B/D	B/D	B/D	15.00	3.93
271	Soğuksu-1	34.90	41.74	2767	66.67	1233.9	14.56	1.88
272	Subaşı 1	43.79	37.68	2851.0	91.11	2642.1	13.14	2.73
273	Sultanhanı-1	33.59	38.09	3464	84.4	1018.0	14.01	2.03
274	Susamış 2	41.15	38.27	1145.5	50.00	853.4	13.98	3.14
275	Suvarlı 3	37.87	37.49	750.8	37.78	792.1	17.47	2.71
276	Süloğlu 1	26.91	41.73	B/D	B/D	B/D	15.05	3.43
277	Sütlüce 2	27.53	41.52	1394.6	50.00	198.0	15.76	2.46
278	Şahankaya 1	27.22	41.60	B/D	B/D	B/D	15.45	3.43
279	Şelmo 104	41.28	38.19	2228.6	76.67	735.6	13.47	2.84
280	Şerbetli 2	38.14	40.04	1790.0	53.33	812.5	12.44	2.28
281	Talan 1	41.36	38.25	3095.8	70.56	1201.9	12.49	1.88
282	Taşkapı 1	39.08	37.91	2654.0	105.56	893.2	17.61	3.31
283	Taşlık 1	38.92	37.79	2016.0	77.22	574.4	17.82	2.95
284	Telhasan 1	41.49	37.13	2915.3	75.56	522.9	20.17	1.90
285	Tepecik 1	40.23	38.20	2008.0	62.22	776.4	16.69	2.27
286	Terzili 2	27.09	41.53	2982.0	96.67	96.0	15.50	2.72
287	Tokaris 2	38.84	37.76	2348	86.70	651.0	17.84	2.93
288	Tuğrul 1	40.33	38.22	2409.0	63.89	754.1	16.44	1.97
289	Tura 1	41.19	37.93	2287.0	82.22	735.0	16.77	2.86
290	Tuzla (Çanakkale) J.	26.24	40.09	1020	168.00	B/D	16.81	14.82
291	Tümay 1	38.45	37.84	3363.0	116.67	728.7	17.46	2.95
292	Tütün 1	41.74	38.04	2796.0	104.44	741.0	14.41	3.22
293	Ulaş 4	39.83	38.09	2493.0	71.11	771.0	17.33	2.16
294	Ulus 1	32.58	41.46	774.0	36.67	693.8	15.06	2.79

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı,
T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.1: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Tek Kuyuların Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _r
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
295	Ümur 1	26.83	41.72	1198.8	56.67	157.4	15.05	3.47
296	Umurca 2	29.69	37.12	1534.0	54.44	87.0	15.43	2.54
297	Uzunçayır 1	41.31	38.10	1870.4	50.00	751.6	13.96	1.93
298	Uzunköprü 1	26.59	41.30	2029.0	97.78	66.2	15.33	4.06
299	Uzunpınar 1	39.14	37.98	2443.5	96.67	979.1	17.47	3.24
300	Üçtaş 1	39.70	37.97	2086.0	68.89	909.2	18.01	2.44
301	Ünsaldi 1	41.45	38.06	1152.0	60.00	661.6	13.44	4.04
302	Üzümcük 1-A	39.24	37.80	2469.0	84.44	773.7	18.16	2.68
303	Varınca 1	40.75	38.21	1765.0	61.11	886.1	15.65	2.58
304	Yakacık 1	37.53	36.90	2607.0	84.44	640.8	18.43	2.53
305	Yasince 1	40.55	37.90	1979.0	57.22	580.0	17.15	2.02
306	Yayık 2	40.34	38.19	1820.6	56.67	711.1	16.53	2.20
307	Yeniceoba-1	33.06	39.02	4130	122.20	1085.0	13.33	2.64
308	Yenimahalle 1	27.12	41.58	3214.0	105.56	147.9	15.40	2.81
309	Yeşilgöl 1	27.35	41.54	2935.3	121.11	157.0	15.89	3.58
310	Yolaçan 1	41.90	37.16	2130.7	67.22	644.0	20.78	2.18
311	Yuvalı 1	28.04	41.42	B/D	B/D	B/D	15.05	3.94
312	Yüzyıl Alakır	30.21	36.40	998.9	40.00	B/D	18.55	2.15
313	Yüzyıl Alakır	30.21	36.40	2199.0	35.00	80.0	18.55	0.75
314	Zey 1	38.21	37.82	1837.5	67.78	983.5	17.24	2.75
315	B/D 1	38.10	40.00	1959.0	48.89	765.6	12.36	1.86
316	Milos (Yunanistan) J.	24.42	36.73	1101.0	309.00	B/D	B/D	26.34
317	Nisiros (Yunanistan) J.	27.10	36.40	1547	350.00	B/D	B/D	22.62
318	Santorini (Yunanistan) J.	25.40	36.40	1000.0	160.00	B/D	B/D	16.00
319	Lesvos (Yunanistan) J.	26.23	39.33	1000.0	98.00	B/D	B/D	9.80

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_r : yeraltı sıcaklık gradyanı,
T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

EK – A.2

Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Haritası İçin Seçilen, Birden Fazla Derinlikteki Sıcaklık
Değerleri Ölçülmüş Kuyuların Koordinatları, Derinlikleri, Sıcaklıkları, Zemin
Kodları ve Gradyan Değerleri

Tablo A.2: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Saha Kuyularının Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri.

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
1	Adıyaman 31	37.21	37.80	1771.7	66.7	975.1	15.73	2.88
2	Adıyaman 51	38.21	37.79	1636.1	122.2	886.7	17.36	6.41
3	Akpınar 5	38.83	37.91	1007.0	50.0	973.4	17.4	3.60
4	Akpınar 1	38.77	37.90	3455.0	114.4	1403.7	17.4	3.60
5	Batı Fırat 9	38.92	37.87	849.0	44.4	772.0	17.6	3.81
6	Batı Fırat 20	38.93	37.87	2232.2	75.6	709.0	17.6	3.81
7	Batı Fırat 4	38.94	37.87	2484.0	100.0	763.2	17.6	3.81
8	Batı Kozluca 15	41.72	37.13	1512.6	50.6	549.0	20.5	4.01
9	Batı Kozluca 1	41.71	37.13	2538.0	107.8	542.6	20.4	4.01
10	Batı Raman M/1	41.20	37.69	1451.0	49.4	977.0	18.1	4.36
11	Batı Raman 257	41.11	37.80	1320.0	53.9	803.1	17.9	4.36
12	Batı Raman 154/A	41.14	37.80	1381.0	61.1	846.6	17.9	4.36
13	Batı Raman 91	41.19	37.81	1301.9	61.7	752.0	17.6	4.36
14	Batı Raman 317	41.09	37.81	1368.0	65.6	813.0	17.9	4.36
15	Batı Raman 184	41.21	37.80	1402.7	66.7	818.8	17.6	4.36
16	Beşikli 2	38.87	37.75	1805.6	64.4	600.9	17.9	4.13
17	Beşikli 17	38.88	37.75	1816.0	77.8	564.2	17.9	4.13
18	Beşikli 10	38.85	37.76	1939.0	81.1	582.6	17.9	4.13
19	Beşikli 14	38.87	37.76	2008.0	88.3	560.0	17.9	4.13
20	Celaliye 1	27.33	41.54	2309.2	75.6	155.6	15.9	3.45
21	Celaliye 1	27.33	41.54	2933.5	104.4	155.6	15.9	3.45
22	Çamurlu 1	41.60	37.12	1350.4	59.4	491.0	20.3	2.84
23	Çamurlu 108	41.56	37.14	2588.0	65.6	501.8	20.3	2.84
24	Çamurlu 102	41.61	37.12	2645.3	72.2	492.0	20.3	2.84
25	Çaylarbaşı 4	39.06	37.70	1603.0	70.0	607.4	18.2	4.68
26	Çaylarbaşı 6	39.01	37.71	1620.5	77.8	582.8	18.1	4.68
27	Çaylarbaşı 5	39.01	37.72	1630.0	79.4	554.8	18.1	4.68
28	Çelikli 12	41.64	38.10	3321.5	104.4	1142.2	13.3	3.26
29	Çelikli 20	41.65	38.10	3407.0	115.6	744.2	13.3	3.26
30	Çemberlitaş 30	38.36	37.81	743.5	48.9	727.0	17.6	3.54
31	Çemberlitaş 50	38.33	37.81	2688.0	87.8	774.3	17.5	3.54
32	Çemberlitaş 8	38.36	37.81	2731.0	91.1	741.8	17.6	3.54
33	Çemberlitaş 38	38.34	37.82	2790.0	96.7	780.3	17.5	3.54
34	Çemberlitaş 35	38.36	37.82	2937.5	104.4	780.2	17.5	3.54
35	Çemberlitaş 41	38.35	37.82	3124.0	117.2	802.0	17.5	3.54
36	Çorlu 2	27.88	41.10	521.0	40.6	405.0	15.1	3.67
37	Çorlu 3/A	27.96	41.40	3616.7	136.1	85.7	15.1	3.67
38	Değirmenköy 2	28.08	41.17	1504.0	68.3	139.6	15.1	4.24
39	Değirmenköy 1	28.07	41.17	2477.0	102.2	150.0	15.1	4.24
40	Dodan 15/S	41.79	38.08	1131.8	35.6	1064.2	14.2	2.98
41	Dodan 6/G	41.79	38.08	1861.2	55.6	1076.7	14.2	2.98
42	Dodan 7/M	41.81	38.08	2506.0	73.3	1102.3	14.2	2.98

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı, T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.2: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Saha Kuyularının Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
43	Doğu Beşikli 8	38.97	37.74	1680.0	72.2	607.7	18.0	4.25
44	Doğu Beşikli 3	38.93	37.73	1801.0	80.0	527.5	18.0	4.25
45	Doğu Beşikli 1	38.92	37.74	2012.0	82.2	529.8	18.0	4.25
46	G.Adıyaman 2	38.23	37.76	1492.0	61.7	673.1	17.6	4.04
47	G.Adıyaman 7	38.23	37.75	1649.7	65.6	665.6	17.6	4.04
48	G.Sarıcak 5	40.26	38.17	1627.5	52.2	740.0	16.8	3.05
49	G.Sarıcak 3	40.24	38.17	1811.0	52.8	779.0	16.8	3.05
50	G.Şahaban 11	40.20	38.12	1581.5	48.3	635.5	17.0	3.21
51	G.Şahaban 15	40.19	38.11	1585.0	53.3	611.0	17.1	3.21
52	Germik 20	41.39	37.93	2001.0	54.4	864.5	15.5	3.12
53	Germik 2	41.38	37.92	2184.0	75.6	897.0	15.6	3.12
54	Gökdere 6	36.18	37.00	1914.3	97.8	157.3	20.7	4.35
55	Gökdere 5	36.14	37.01	2924.4	118.9	70.4	20.7	4.35
56	Güney Dinçer 38	41.74	37.17	1721.5	60.0	623.8	20.5	2.73
57	Güney Dinçer 101	41.70	37.17	2589.0	73.9	506.0	20.4	2.73
58	Güney Dinçer 1	41.70	37.16	3302.5	81.1	599.2	20.4	2.73
59	Güzelsu 1	38.92	37.88	1347.5	73.9	904.8	17.5	3.89
60	Güzelsu 2	38.90	37.89	3005.0	107.8	874.8	17.5	3.89
61	Hamitabat 28	27.29	41.49	2397.0	124.4	145.0	16.0	4.51
62	Hamitabat 15	27.28	41.51	3200.0	132.2	125.0	15.9	4.51
63	Hançerli 3	39.87	38.12	1636.0	64.4	771.4	17.2	3.84
64	Hançerli 2	39.87	38.13	2058.0	77.8	769.0	17.1	3.84
65	İkizce 5	38.84	37.79	1958.5	82.2	603.1	17.8	4.19
66	İkizce 1	38.83	37.79	2297.8	96.1	617.6	17.7	4.19
67	İkiztepe Sp3	41.58	37.10	1417.0	44.4	473.8	20.3	3.22
68	İkiztepe CI	41.57	37.10	1479.5	48.9	466.3	20.3	3.22
69	K.Karakuş 15	38.62	37.89	1406.0	72.8	844.4	17.3	3.79
70	K.Karakuş 6	38.62	37.89	2355.0	82.2	844.4	17.3	3.79
71	K.Karakuş 11	38.65	37.88	2726.5	98.9	881.7	17.4	3.79
72	Karakuş 9	38.56	37.84	2377.5	85.0	855.4	17.5	3.74
73	Karakuş 3	38.57	37.84	2401.1	85.6	852.3	17.5	3.74
74	Karakuş 32	38.59	37.84	2582.0	96.1	773.2	17.5	3.74
75	Karakuş 30	38.58	37.84	2646.0	107.2	829.7	17.5	3.74
76	Kastel 3	40.58	38.00	2401.0	82.2	2320.0	16.8	3.44
77	Kastel 6	40.59	38.01	2364.0	96.1	657.0	16.8	3.44
78	Kayaköy N.4	40.25	38.10	1770.0	55.6	769.5	17.0	3.39
79	Kayaköy N.1	40.29	38.18	1944.0	70.0	756.0	16.7	3.39
80	Mehmetdere 1	40.41	38.22	1923.5	56.7	732.5	16.3	3.00
81	Mehmetdere 7	40.41	38.22	1958.0	60.0	763.0	16.3	3.00
82	O.Sungurlu 4	38.82	37.93	2563.0	94.4	904.3	17.3	3.51
83	O.Sungurlu 2	38.82	37.93	3160.0	107.2	890.0	17.3	3.51
84	Raman 234	41.33	37.76	1372.0	62.8	1234.5	17.4	3.90

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı,
T : "D" derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

Tablo A.2: Sıcaklık Ölçümleri Yeraltı Sıcaklık Gradyanı Hesabında Kullanılan Saha Kuyularının Koordinat, Derinlik, Sıcaklık, Rakım ve Gradyan Değerleri. (devam)

		Kuyu Koordinatı		D	T	H	T _{zy}	g _T
#	Kuyular	Boylam	Enlem	(m)	(°C)	(m)	(°C)	(°C/100m)
85	Raman B-1/A	41.33	37.77	2903.0	108.9	1226.9	17.3	3.90
86	Silvanka 1	41.36	38.04	841.0	40.6	577.8	14.3	3.52
87	Silvanka 7	41.34	38.05	2258.0	76.7	657.1	14.3	3.52
88	Silvanka 4	41.38	38.04	2504.0	85.6	652.0	14.1	3.52
89	Soğuktepe 1	39.70	38.11	1497.0	71.1	804.3	17.5	3.79
90	Soğuktepe 1	39.70	38.11	3474.0	125.6	804.3	17.5	3.79
91	Umurca 01	27.43	41.42	1240.0	27.8	100.0	16.3	3.34
92	Umurca C-3	27.44	41.42	1647.7	58.9	88.0	16.2	3.34
93	Umurca 4	27.44	41.42	2205.0	81.1	81.0	16.2	3.34
94	Umurca 3	27.44	41.41	2494.0	83.9	85.0	16.2	3.34
95	Umurca 1	27.44	41.42	3387.7	110.6	100.0	16.2	3.34
96	Yananköy 2	37.23	36.71	1737.3	66.7	548.7	18.5	3.90
97	Yananköy 1	37.23	36.71	1788.5	71.1	536.5	18.5	3.90
98	Yeniköy 7	40.42	38.20	1853.6	63.3	718.3	16.3	3.26
99	Yeniköy 25a	40.42	38.20	1902.1	71.1	719.5	16.3	3.26
100	Yeniköy 8	40.40	38.20	2632.8	76.7	769.0	16.4	3.26

D : derinlik, H : denizden yükseklik (rakım), J : jeotermal kuyu, g_T : yeraltı sıcaklık gradyanı, T : “D” derinliğinde ölçülen sıcaklık, T_{zy} : yüzey sıcaklığı.

ÖZGEÇMİŞ

1979 yılında İstanbul’da doğdu. İlköğretim ve lise eğitimlerini İstanbul’da tamamladı. Kartal Anadolu İ.H.L’den mezun olduktan sonra, İTÜ Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Bölümünü Haziran 2003’te bitirdi. Bunu izleyen dönemde İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü’nde Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği Programı’nda Yüksek Lisans öğrenimine başladı. Temmuz 2006’da Petrol ve Doğal Gaz Mühendisliği’nde Yüksek Lisans derecesini aldı. Halen Açık Öğretim İşletme Fakültesi 3. sınıf öğrencisi olarak öğrenimini sürdürmektedir.