

# JEOFİZİK YÖNTEMLERLE GÜLBAHÇE KÖRFEZİNDEKİ JEOTERMAL POTANSİYELİN ARAŞTIRILMASI

Bade PEKÇETİNÖZ  
Cem GÜNAY  
Mustafa EFTELİOĞLU  
Erdeniz ÖZEL

## ÖZET

Çalışma alanı Gediz grabeni' in bir parçası olan Gülbahçe Körfezini kapsamaktadır. Ege Bölgesinde kıyıda yapılan çalışmalarda elde edilen verilerden jeotermal enerjiye sahip rezervuarların deniz altında devam etme olasılığının yüksek olduğu düşünülmese de henüz bu konuda yapılan çalışmalar yok sayılabilir. Bu amaçla Gülbahçe körfezinde, yüksek ayrımlı sismik (3.5 kHz) ve sonar çalışmaları, geoteknik çalışmalar ile ısı akısı ölçümleri yapılarak körfezdeki jeotermal kapasitenin belirlenmesi amaçlanmıştır. Körfezde doğal çıkışların olduğu alanlardaki sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 30-35°C olarak ölçülmüştür. Kara verileri derindeki rezervuar sularının 100°C ve üzerinde olduğunu göstermektedir. Hem kara verileri hem de Gülbahçe Körfezinden elde edilen veriler, çalışma alanının jeotermal açıdan aktif olduğunu ve gelecekte yüksek potansiyelli alternatif enerji üretim merkezi olma olasılığının yüksek olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Gülbahçe Körfezi, jeotermal potansiyel.

## ABSTRACT

The area of study is consists of Gülbahçe Gulf which is a part of Gediz graben. Even though it is considered according to the data acquired in the studies carried out in Aegean Region at the coast that the reservoirs that have geothermal energy most probably continue under the sea, it can be said that there is not yet a research or study carried out in this regard. For that purpose, high-differential seismic (3.5 kHz) and sonar studies, geotechnical studies and heat flow measures were carried out in the gulf in order to determine the geothermal capacity in the gulf. The temperature values in the areas where there are natural discharges in the gulf were measured to be approximately 30-35°C. Land data shows that the reservoir waters in the depths of the sea have a temperature of 100°C and more. Both land data and the data gathered from Gülbahçe Gulf have shown that the area of study is the active field in sense of geothermal resources thus the location has a high possibility of being an alternative energy production center with high potential in the future.

**Key Words:** Gülbahçe gulf, geothermal potential.

## 1. GİRİŞ

Ülkemiz jeotermal kaynaklar açısından zengin ve buna elverişli jeoloji ortamlarına sahiptir. Batı Anadolu graben sisteminin bir parçası olan İzmir ve çevresi tektonik açıdan oldukça aktif olup, jeotermal potansiyeli yüksek olan bir bölgedir. İzmir Körfezini çevreleyen kara parçası ve özellikle Karaburun Yarımadası üzerindeki birçok yerde sıcak su çıkışları bulunmaktadır. İzmir Körfezinin Batı



## 2. ÇALIŞMA ALANININ JEOLJİK YAPISI

Ege'nin aktif tektonizması iki önemli jeolojik olayın etkisi altındadır. Bunlar, Ege dalma-batma sistemi ve Arabistan levhasının Bitlis Sütur Zonu boyunca Anadolu'yu kuzey yönünde sıkıştırmasıdır. Ege bölgesinden uzakta olmasına rağmen, Arabistan ile Avrasya levhalarının, yaklaşık 40 milyon yıl önce Bitlis Sütur Zonu boyunca çarpışmaları [14] ve yakınlaşmaya devam etmeleri, hem Anadolu'nun hem de Ege Bölgesinin jeolojik gelişiminde önemli rol oynamıştır [15].

Egedeki neotektonik yapısal hareketi başlatan sistemin Anadolu/Arap levhalarının çarpışmasından oluştuğu düşünülürse, Afrika levhasına göre daha hızlı hareket eden Arap levhasının Anadolu'yu batıya doğru hareketinin Yunan makaslama zonu tarafından engellenmesi sonucu, bölgede genel bir doğu-batı sıkışmaya neden olmaktadır. Bu doğu-batı sıkışması kuzey-güney açılma ile karşılaşmaya başlanmıştır [16-17]. Bu sistemin sonucu olarak Batı Anadolu'da, batıdan doğuya doğru grabenler meydana gelmiştir. Egedeki grabenleşme genç Miosen ve Pliyosenden başlayarak evrimlerini pleistosen de sürdürmüşlerdir. Bu arada ayrıca Pleistosen içinde de yeni doğu-batı doğrultulu grabenlerde oluşmuştur. Bunlardan Küçük Menderes grabeni Pleistoseni en iyi şekilde belgelemektedir. Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin oluşum zamanlarının geç Miosen-erken Pliosen, Edremit grabeninin ise tam çözülmemiş olmasına rağmen oluşumunun Miosende başladığı ve Kerme grabeninin Pliyosen yaşlı olduğunu vurgulanmaktadır. Egedeki doğu-batı grabenlerinin oluşum ve gelişmeleri ile, neotektonik öncesi zamandan (paleotektonik) kalan kuzey-kuzeydoğu yönlü, verve-eğim atımlı faylarda görev yapmış ve grabenleri bağlayıcı özellik göstererek, genel kuzey-güney yönlü genişlemeye katkıda bulunmuşlardır [18-19]. Bunun sonucu Gülbahçe Körfezi, orta doğu Ege çöküntüsünü oluşturan ve batıdan doğuya doğru genelleştirilmiş sıra ile Karaburun yükseltisi, Foça yükseltisi, Yamanlar yükseltisi, Akhisar yükseltisi ve Menderes yükseltisi çizgisel basamaklardan olan Karaburun yükseltisi ile Foça çöküntüsü arasındaki yapısal eşiği oluşturmaktadır.

## 3. ARAŞTIRMA YÖNTEMLERİ

Bu çalışmanın amacı, Gülbahçe Körfezinin jeotermal kapasitesini araştırmaya yönelik olup aynı zamanda körfez civarında karada yapılan çalışmaların devamı olacaktır. Bu amaçla, jeotermal sistemin belirlenmesi ve aktif tektonizmanın belirlenip jeomorfolojik özelliklerin (sıcak su çıkışları v.b.) çıkarılması için Dokuz Eylül Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü'nün Piri Reis araştırma gemisiyle yüksek ayrımlı (3.5 kHz) sığ sismik yansıma çalışması yapılmıştır. Yüksek ayrımlı (3.5 kHz) sistemler, deniz tabanından itibaren ortalama 30 m derinliklere kadar olan üst tortul katmanın yüksek ayrımlı sismik görüntüsünün sürekli şekilde elde edilmesini sağlarlar ve yüksek ayrımlı deniz tabanı araştırmalarında ana yöntemlerden biri olarak geniş çapta kullanılırlar.

Deniz tabanının morfolojik yapısının belirlenmesi amacıyla da, yüksek ayrımlı (3.5 kHz) sığ sismik yansıma çalışmasında koşulan aynı hatlar üzerinde yanal taramalı sonar çalışması yapılmıştır. Sistemin çalışma ilkesi, geminin her iki yanına bakan transduserler (tow-fish) yardımıyla üretilen yüksek frekanslı (10-500 kHz) ses sinyallerinin, dar ve yelpaze şekilli ışınlar şeklinde yayılması esasına dayanmaktadır.

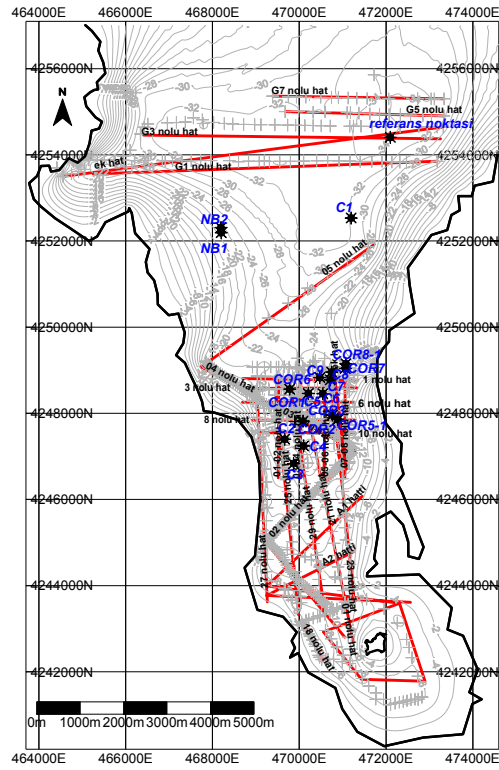
Su içerisinde tespit edilen sıcak su bacalarının sıcaklığını ölçmek (0°C'den 70°C'ye kadar) ve ortam termik dengesi hakkında bilgi edinebilmek ve doğru olarak kaydetmek için, tasarlanan 12 adet sıcaklık kaydedici cihaz kullanılmıştır. Hem bacaların yerleri hem de sıcaklık kaydedici cihazların konum denetlemesi Robot Kamera (ROV) ile yapılmıştır. Sıcak su çıkış noktalarından alınan jeolojik örneklemeler grab örnekleyici ve gravity core ile gerçekleştirilip tane boyu analizleri yapılmıştır.

#### 4. VERİLERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

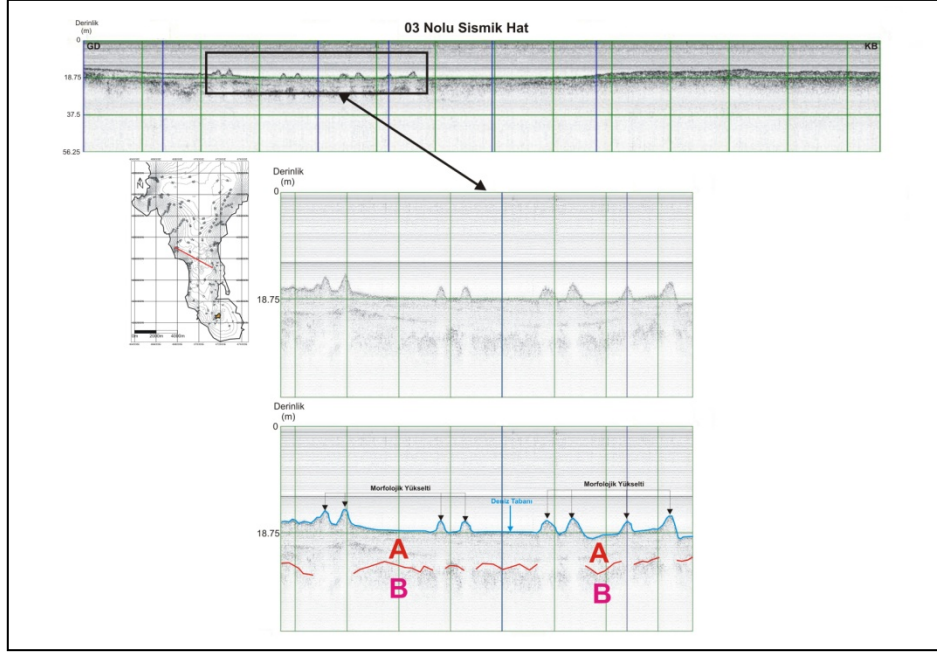
Bölgede yaklaşık olarak toplam 52 km uzunluğundaki hatlar üzerinde yüksek ayrımlı 3.5 kHz sığ sismik ve yanal taramalı sonar çalışmaları yapılmıştır (Şekil 2). Aktif tektonizma ve güncel yapılar araştırılmaya çalışılmıştır.

Sismik kesitlerde deniz tabanı üzerindeki yükselti 'Morfolojik Yükselti' olarak adlandırılmıştır (Şekil 3). Bu yükselti akustik sinyalin yayılımını etkilemektedir. Zaman zaman da sinyalin derine nüfus etmesine izin vermektedir. Kesitlerin bazılarında taban yüzeyi ekosu alınmış olup bu yükselti taban üzerinde bir birikinti şeklinde yorumlanabilmiştir. Bu karmaşayı net olarak çözmek için yapılan gravite türü örnek alımıyla metaryelin yapısı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmış, bu birikintilerin mercan kümelenmesinden kaynaklandığı saptanmıştır.

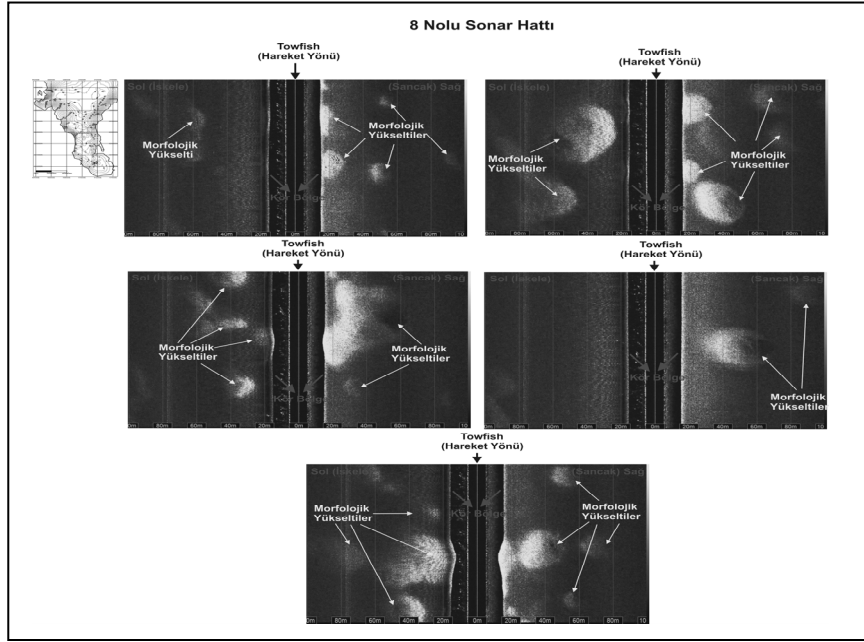
Yanal Taramalı Sonar kesitlerinin hem sancak hem de iskele tarafında morfolojik yükselti koni ve dairesel şekilli bir görüntü vermektedir (Şekil 4). Konik yayılım gösteren bu yükseltilerin yüksekliklerinin birkaç metre, çaplarının da 1 metre ile 20 metre arasında değiştiği tespit edilmiştir.



**Şekil 2.** Gülbağçe Körfezinde Sismik ve Yanal Taramalı Sonar Veri Toplama Çalışmalarının Gerçekleştirildiği Hatları Gösteren Veri Haritası.



Şekil 3. 03 nolu 3.5 kHz Yüksek Ayrımlı Sismik Kaydı.



Şekil 4. 8 Nolu Yanal Taramalı Sonar Kaydı.

Çalışma alanındaki 18 noktadan (Şekil 2) gravite örnekleyicisi (gravity core) yardımıyla deniz tabanından numune alımı sağlanmıştır. Örnekler taban yapısına bağlı olarak yaklaşık 50-250 cm uzunluğundadır. Morfolojik yükseltilerin üzerinden alınan numunelerde bir takım mercan türleri tespit edilmiştir (Şekil 5). Numunelere uygulanan geoteknik ve sedimantolojik laboratuvar değerlendirilmesi ile yapılan incelemelerde bu mercan türünün *Cladocora caespitosa* olduğu belirlenmiştir. Bu türün varlığı bölgedeki termal aktivitenin varlığını konusunda yapılan çalışmaları desteklemektedir.



**Şekil 5.** Sediment Örneklerinde Tespit Edilen Mercanlar (*Cladocora Caespitosa*).

Gülbahçe Körfezinde hem sismik hem de sonar kesitlerinde gözlenen morfolojik yükseltmeler üzerindeki 26 noktada deniz tabanı sıcaklık ölçümü yapılmıştır. 26 noktadaki sıcaklık ölçümleri aynı gün içinde ve aynı iklim koşullarında gerçekleştirilmiştir. Normal deniz tabanındaki su sıcaklığı ortalaması 21 °C iken sıcak su çıkışlarının olduğu alanlarda, su sıcaklığı ortalamasının 0.695 standart sapma ile 22.880 °C' dir. Bu durum yaklaşık 30-35 °C olan çıkışların bölgesel olarak ortamda 1°C ve üzeri sıcaklık artışına neden olduğunu göstermektedir.

## SONUÇ

Gülbahçe Körfezi ve çevresi mevcut konumuyla jeotermal kapasitenin geniş bir alana yayıldığı bir sıcak su kaynak alanıdır. Türkiye' nin batısındaki diğer jeotermal sistemlerde olduğu gibi, Gülbahçe körfezindeki termal suların yayılımı büyük faylar ve kırılma zonlarıyla yakından ilişkilidir. Deniz suyu ve civardaki meteorik sular, faylar ve kırılma zonları boyunca rezervuar kayacı doldurup derinde ısınarak konveksiyon akımları yardımıyla tektonik hatlar boyunca yüzeye doğru çıkarlar. Körfezde doğal çıkışların olduğu alanlardaki sıcaklık değerleri yaklaşık olarak 30-35°C olarak ölçülmüştür. Kara verileri derindeki rezervuar sularının 100°C ve üzerinde olduğunu göstermektedir. Bu alanın, gelecekte yüksek potansiyelli alternatif enerji üretim merkezi olması beklenmektedir. Deniz tabanı üzerinde morfolojik yükseltmelere neden olan mercan grubunun (*Cladocora caespitosa*), 3.5 kHz yüksek ayrımlı sismik kesitlerden tespit edilen KD-GB doğrultulu atımlı aktif fayın her iki bloğunda, fay düzlemine yakın bölgelerde kümelenmiş olduğu tespit edilmiştir. Bunun sonucunda; fay düzlemi boyunca oluşan sıcak su çıkışları, bu mercan türünün gelişmesi için uygun bir ortam hazırlamıştır.

## KAYNAKLAR

- [1] ERDOĞAN B, GÜNGÖR T., "Menderes Masifi'in Kuzey Kanadının Stratigrafisi ve Tektonik Evrimi", TPJD Bül, 1992, 4-1:9-34
- [2] FEURICH, H., "Saniteartechnik", Krammer Verlag, 1995.
- [3] HETZEL R, PASSCHIER CW, RING U, DORA OÖ., "Divergent extension in orogenic belts: the Menderes Massif (southernwestern Turkey)". *Geology*, 1995, 23-5:458-544.
- [4] ÖZER, M., "Yapı Akustiği ve Ses Yalıtımı", Birsen Yayınevi, 1979.
- [5] EMRE T., "Gediz Havzasının hidrojeolojisi". Devlet Su İşleri (DSİ) 2. Bölge Müdürlüğü raporu, İzmir, pp 1-310, 1996.
- [6] KARAMANDERESİ İH., 'Detail geology and geothermal energy feasibility of the Urganlı Kaplıcaları (Manisa-Turgutlu) and surrounding area (In Turkish)', 1972.
- [7] Yılmaz S., "Kursunlu-Sart sıcak su kaynaklarının (Salihli) hidrojeoloji ve jeokimyasal özellikleri", Isparta Mühendislik Fakültesi Dergisi, 1988, 5:242-266, 1988.

- [6] FİLİZ S, GÖKGÖZ A, TARCAN G., "Hydrogeologic comparisons of geothermal fields in the Gediz and Büyük Menderes Grabens", Congress of the World Hydrothermal Organisation, İstanbul-Pamukkale, Turkey, 1993, pp 129-153, 13-18 May 1992.
- [7] YILMAZER S, KARAMANDERESİ İH., "Kursunlu jeotermal alanının (Salihli-Manisa) jeolojisi ve jeotermal potansiyeli". In: Dünya Enerji Konseyi Türkiye 6. Enerji Kongresi Türk Milli Komitesi, 17-22 Ekim 1994, İzmir, Teknik Oturum Teblipleri I, pp 68-181, 1994.
- [8] IRMAK U., "High boron content in the aquifer systems of Salihli: Alaşehir palins". MSc Thesis, DEU, 1994, İzmir.
- [9] FİLİZ S, TARCAN G., "High boron content in the aquifer systems of Gediz Basin". In: Piskin Ö, Ergün M, Savaşcin MY, Tarcan G (eds) Proc International Earth Sciences Colloquium on the Aegean Region, İzmir-Güllük, Turkey, pp 681-692, 1997.
- [10] KARAMANDERESİ İH., "Salihli-Caferbeyli (Manisa İli) jeotermal sahası potansiyeli ve geleceği", In: Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Türkiye 7. Enerji Kongresi teknik oturum bildiri metinleri, pp 247-261, 1997.
- [11] TARCAN G, FİLİZ S., "Hydrogeology of the Turgutlu geothermal field", Turk J Earth Sci, 6-2:43-64, 1997.
- [12] TARCAN G, FİLİZ S, GEMİCİ Ü., "Geology and Geochemistry of the Salihli Geothermal Fields, Turkey", In: Books of Proceedings, R-922. WGC-2000 World Geothermal Congress 28 May-10 June 2000, Kyushu-Tohoku, Japan, pp 1829-1834, 2000.
- [13] TARCAN G, GEMİCİ Ü, AKSOY N., "Hdrogeological and geochemical assessments of the Gediz Graben Geothermal Areas, Western Anatolia, Turkey", Environ Geol, 47:523-534, 2004.
- [14] YILMAZ, Y.. "New evidence and model on the evolution of the South East Anatolian orojen", Geol. Soc. America Bull. 105, 251-271, 1993.
- [15] YILMAZ, Y., GENÇ, Ş., GÜRER, F., KARACIK, Z., ALTUNAYAK, Ş., BOZCU, M., YILMAZ, K. VE ELMAS, A. "Ege Denizi ve Ege Bölgesinin Jeolojisi ve Evrimi Türkiye Denizlerinin Çevre Alanlarının Jeolojisi", Tübitak Ulusal Deniz Jeoloji ve Jeofiziği Prog., 211-236, 1998.
- [16] MCKENZIE, D.P. "Active tectonics of the Mediterranean regions", Geophys. J. R. Astr. Soc., 30, 109-185 p., 1972.
- [17] DEWEY, J. F. AND ŞENGÖR. A.M.C. "Aegean and surrounding regions: complex multi-plate and continuum tectonics in a convergent zone", Geol. Soc. America Bull. Part 1. 90., 84-92 p., 1979.
- [18] KAYA, O. "Ortadoğu Ege çöküntüsünün (Neojen) stratigrafisi ve tektoniği", Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 22, 35-58, 1979.
- [19] KETİN İ. "Über die tektonisch-mechanischen folge rungen aus den grossen Anatolischen erdbeben des letzten dezenniums", Geol. Rundsch., 36, 77-83, 1948.

## ÖZGEÇMİŞ

### Bade PEKÇETİNÖZ

1979 yılı İzmir doğumludur. 2001 yılında D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. D.E.Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği programında 2004 yılında Yüksek Mühendis ünvanını almıştır. Aynı programda 2004 den beri doktora eğitimini sürdürmektedir. 2008 yılından beri Piri Reis Uluslararası Deniz Araştırma Hizmetleri şirketinde Jeofizik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

### Cem GÜNAY

1965 yılı İzmir doğumludur. 1988 yılında D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. D.E.Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği programında 1992 yılında Yüksek Mühendis, 1998 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1998 yılından beri D.E.Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsünde Uzman Jeofizik Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

**Mustafa EFTELİOĞLU**

1954 yılı Manisa doğumludur. 1979 yılında D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. D.E.Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği programında 1983 yılında Yüksek Mühendis, West Virginia Üniversitesi Geoteknik bölümünde 1994 yılında Doktor ünvanını almıştır. 1980 yılından beri D.E.Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsünde Öğretim Görevlisi olarak görev yapmaktadır.

**Erdeniz ÖZEL**

1955 yılı Ankara doğumludur. 1980 yılında D.E.Ü. Mühendislik Fakültesi Jeofizik Mühendisliği Bölümünü bitirmiştir. D.E.Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsü, Deniz Jeolojisi ve Jeofiziği programında 1985 yılında Yüksek Mühendis, 1992 yılında Doktor ünvanını almıştır. D.E.Ü Deniz Bilimleri ve Teknolojisi Enstitüsünde 1986-1994 yılları arasında Araştırma Görevlisi olarak, 1994-2000 yılları arasında Yrd. Doç. Dr. olarak, 2000-2008 yılları arasında Doç. Dr. olarak görev yapmıştır. 2008 yılından beri Prof. Dr. olarak görev yapmaktadır.