

Jeoelektrik DES (Düşey Elektrik Sondaj) yöntemi ile Nevşehir -Kozaklı Jeotermal Sahası'nın 1 boyutlu model çözümü

Hamdi GÜLŞEN¹, Sedat ÖZTÜRK² ve Engin PURTUL³

1. Giriş

Çalışma, Nevşehir ilinin kuzeyinde yer alan Kozaklı ilçesi Hamamorta Köyü mevkiinde (Şekil 1) Nevşehir İl Özel İdaresi ile Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü arasında 2007/18 No.lu jeotermal kaynak arama ruhsatı kapsamında gerçekleştirilmiştir.

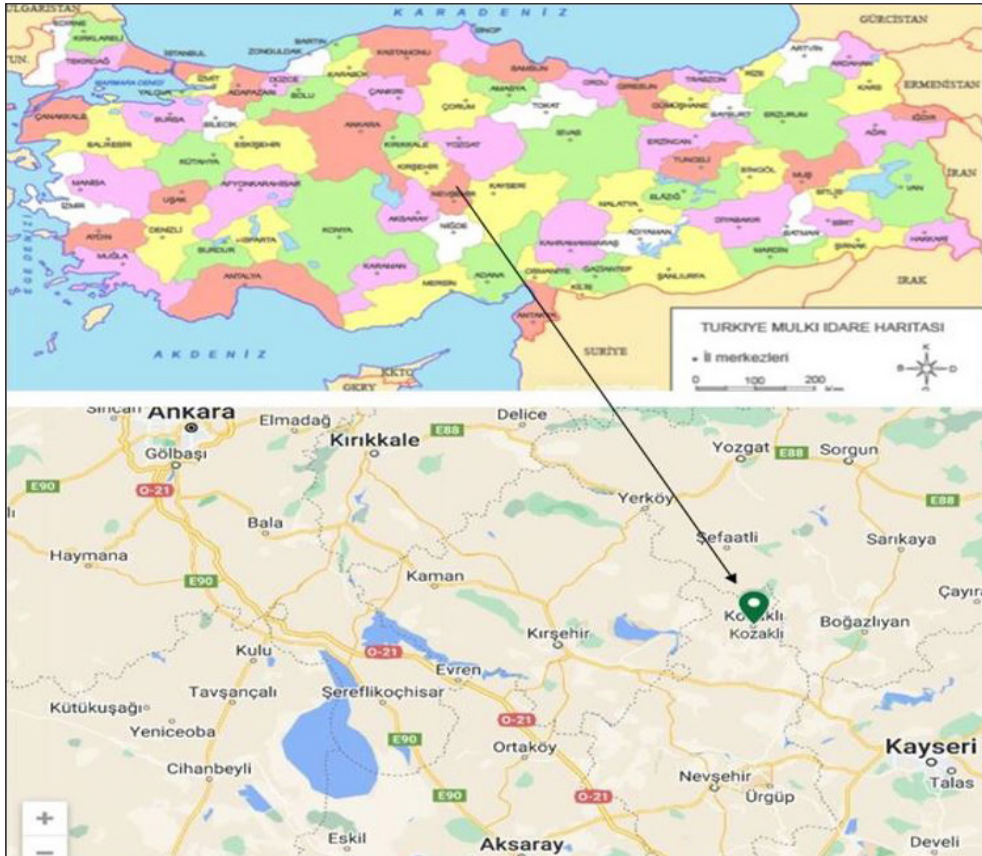
Ruhsat sahasında jeotermal enerji potansiyelinin araştırılması ve akışkan elde edilmesine yönelik 1:25.000 ölçekli YOZGAT J33- c1, c2 topoğrafik paftalarında yaklaşık 40 km²'lik alanda "Jeofizik Jeoelektrik (Özdirenç) Yöntemi" ile ölçüm yapılmıştır.

2. Çalışma Sahasının Jeolojisi

Kozaklı jeotermal sahası ve çevresinde, jeolojik olarak Paleozoyik yaşlı metamorfikler ile bunları

uyumsuzlukla örten Senozoyik yaşlı çökel birimleri bulunmaktadır. Paleozoyik yaşlı metamorfikler temeli oluşturmaktadır. Bunlar Kırşehir Masifi'nin doğu uzantılarıdır. Masifin genel olarak en alta değişik türde gnays ve şistlerle başladığı bilinmektedir. Daha üst seviyelerine doğru mermer bant ve mercikleri ile şistlerin ardalanması hakimdir. En üstte ise şeker dokulu kristalize kireçtaşı, mermerler ve bunlarla uyumlu olarak kuvarsitler bulunur.

Kozaklı jeotermal alanı yakın çevresinde, masife ait kristalize kireçtaşı-mermer birimi Yiğitler Köyü güneydoğusunda yüzeylenir. Birim beyaz, kirli beyaz, gri renkli, orta-iri kalsit kristalli, orta-kalın katmanlı, bazen masif ve yoğun kırıklı-çatlaklı kristalize kireçtaşı ve mermerlerden oluşur. Bu temel birimin üzerine uyumsuz olarak Paleojen-Neojen yaşlı çökeller gelir. Bu birimleri, Eosen yaşlı kireçtaşı, kumtaşı, konglomera ve marnlar, Oligosen yaşlı marn, kil, konglomera, kumtaşı, jipsler, Üst Miyosen-



Şekil 1- Çalışma alanına ait yer bulduru haritası.

¹Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Orta Anadolu II. Bölge Müdürlüğü, Konya

²Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeofizik Etütleri Dairesi Başkanlığı, Ankara

³Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Enerji Hammadde Etüt ve Arama Dairesi Başkanlığı, Ankara

Pliyosen yaşlı kireçtaşı, marnlı kireçtaşı ve tüfler temsil eder. Sahada en genç birimler olarak traverten, akarsu taraçaları ve alüvyon yüzeylenmektedir. Traverten bölgeyi denetleyen tektonik hareketlerin etkisiyle oluşan kırılmalar sonucunda sıcak su çıkışlarına bağlı olarak oluşmuştur (Şekil 2) (Erişen ve Özgür, 1999). Kozaklı sahasında, 2007 yılında jeoloji müh. İsmail Kara (2007) tarafından yazılan rapor ile MTA tarafından yapılan K4 sondajına ait veriler (Şekil 2)'de sunulmaktadır.

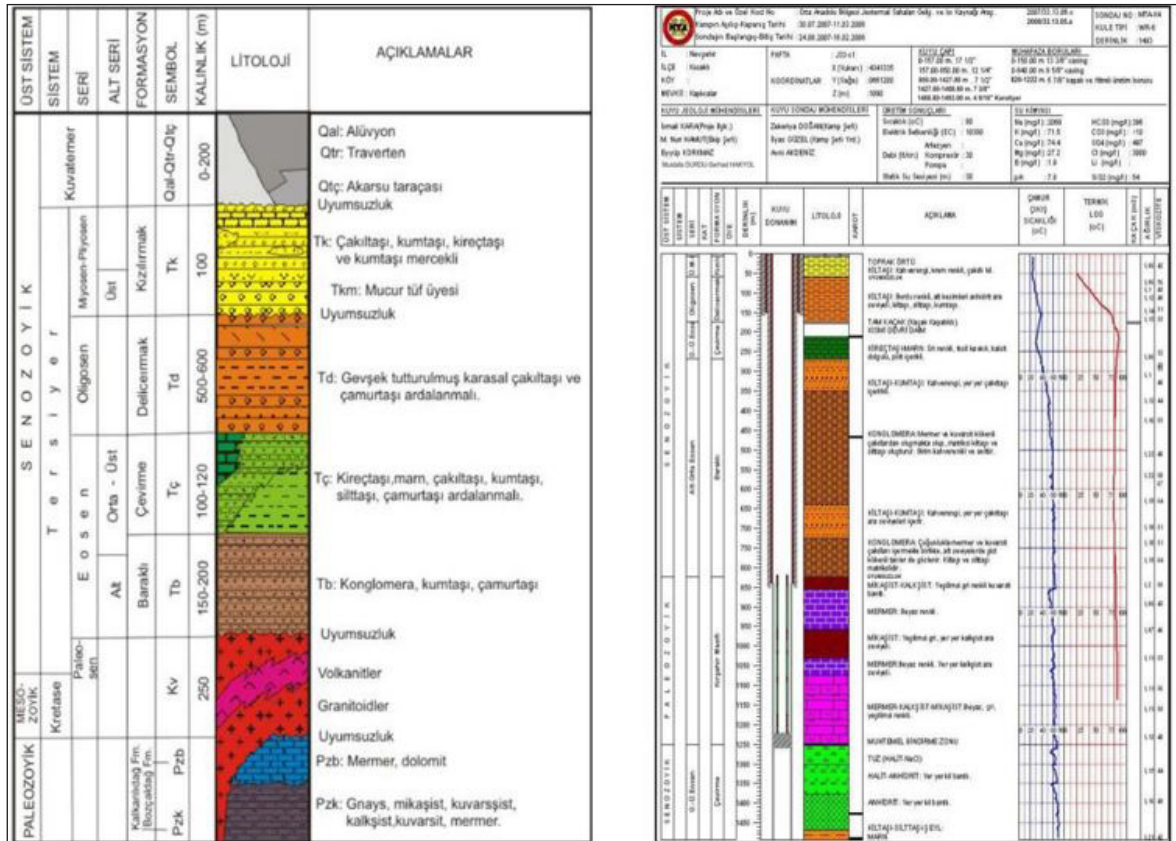
3. Kozaklı Hamamorta Mevkii Jeotermal Sahası

İnceleme alanı; Orta Anadolu Kapadokya Bölgesi'nin kuzey kesiminde yer alan Nevşehir ili ve çevresinde önemli jeotermal potansiyele sahip sahalardan biridir. Bu bölge Kuzey Anadolu Fayı ile Doğu Anadolu Fayı'nın sınırlarını çizdiği Anadolu Bloğu'nun kuzeyinde bulunmaktadır. Orta Anadolu'da volkanizma faaliyetleri Miyosen döneminde başlamış, fakat esas faaliyet Kuvaterner döneminde gerçekleşmiştir (Erciyes ve Hasandağ volkanizması). Kozaklı jeotermal sahasında eskiden pek çok su kaynağının varlığı bilinmekle birlikte şu an herhangi bir kaynak bulunmamaktadır.

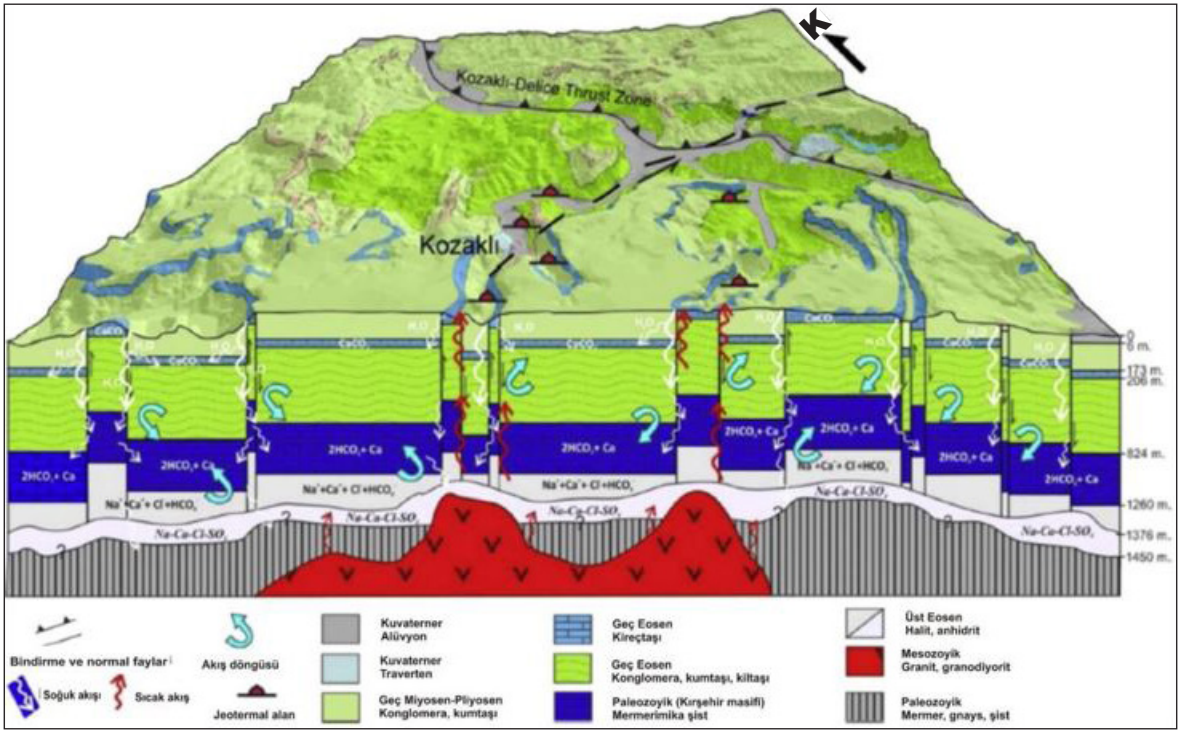
Alanda yapılan jeolojik-jeofizik etütlerde, Eşe Deresi ve Bağlıca Deresi'nin kesiştiği yerlerde gruplar halinde toplanmış kuyularda, 42-92°C arasında değişen sıcaklıklarda toplam debileri yaklaşık 30-94,2 l/s olarak ölçülmüştür.

Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında, ısı kaynağı olarak yorumlanabilecek genç volkanik oluşumlara rastlanmaktadır. Bölgenin regional havadan manyetik haritasına bakıldığında Kozaklı İlçesi'nin KKD kesiminde bir anomalinin olduğu ve bu anomalinin de yeraltında magmatik bir sokulum veya endojen bir dome karşılık gelebileceği, bundan dolayı da ısıtıcı kayaç olarak düşünülebileceği kabul edilmiştir.

Kozaklı sahasının jeotermal modeli olarak, derinlerde yerleşmiş olan soğumamış magmatik intrüzyon kütlelerinden kabukta yayılan ısı enerjisinin fay düzlemleri boyunca derinlere inen ve rezervuar kayalarda depolanmış olan meteorik kökenli suların ısınmasını, mineraller ve erimiş gazlarla zenginleşmesini sağladığı düşünülmektedir. Isınan ve minerallerce zenginleşen bu sular basıncın da etkisiyle fay zonları, kırık ve çatlaklar boyunca yüzeye çıkarak mineralize sıcak su kaynaklarını oluşturmaktadır (Şekil 3).



Şekil 2- Kozaklı havzasının genişletilmiş stratigrafik kesiti ve 2007 yılına ait sondaj lokasyon takip formu.



Şekil 3- Kozaklı jeotermal sahasının jeotermal modeli (ölçeksiz).

4. Jeoelektrik Özdirenç (DES) Yöntemi

Çalışma alanında daha önceki yıllarda yapılan Türkiye Isı Akısı Haritası'ndan (Öztürk, 2005), Türkiye Rejyonel Gravite ve Manyetik Haritaları'ndan (Arslan, 2009) ve Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi Nevşehir ve Çevresi Jeofizik Etüt Raporu, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Raporu (Arslan, 2009) çalışmalarından faydalanılmıştır.

Sahada elektrik özdirenç yöntemi ile "Düsey Elektrik Sondaj (DES)" ölçüleri alınmıştır. Çalışmalarda Schlumberger elektrot dizilimi kullanılmıştır. Aşağıdaki şekilde gösterilen elektrot diziliminde doğrusal bir hat üzerinde merkez noktasına göre simetrik dizilmiş dört elektrot kullanılır. A ve B akım elektrotları, M ve N ise potansiyel elektrotlarıdır (Şekil 4).

A ve B noktalarından yere verilen akımın (I) oluşturduğu elektrik alanın potansiyel gradyenti M ve N elektrotları ile ölçülür. Potansiyel elektrotları ile akım elektrotları arasındaki oran 1/5 ile 1/30 arasındadır.

Hesaplamalarda aşağıdaki bağıntılar kullanılmıştır (Ergin, 1985).

$$\rho_a : \text{Görünür özdirenç (Ohm. m)}$$

$$\Delta V : \text{Ölçülen potansiyel farkı (mV)}$$

$$I : \text{Yere uygulanan akım (mA)}$$

$$K : \text{Geometrik faktör}$$

$$AB/2 : \text{Akım elektrotları yarı açıklığı (m)}$$

$$MN/2 : \text{Pot elektrotları yarı açıklığı (m)}$$

4.1. Kullanılan Donanımlar

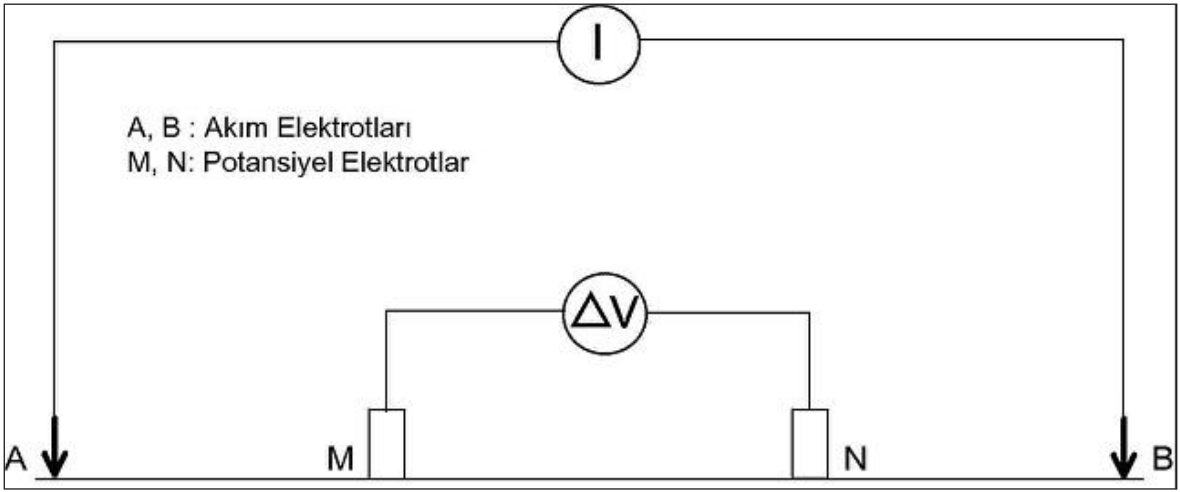
Nevşehir-Kozaklı jeotermal enerji aramalarında Kozaklı ilçesinde (bir ruhsat), yapılan araştırmalarda uygulanan jeofizik yöntemlerde farklı amaçlara yönelik olarak kullanılan cihaz ve donanımlar aşağıda belirtilmiştir.

Arazi uygulamalarında ölçü alınacak DES noktalarının yerleri GPS Cihazı (Magellan Explorist 600 GPS) ile ölçülmüştür. Cihaz ölçülen noktanın koordinatlarını $\pm 4m$ hatayla verir.

4.1.1. Jeoelektrik DES donanımları ve ölçümleri

4.1.1.1. Alıcı:

ZRV40 Özdirenç ölçüm sistemi alıcısı (Zrv40), jeofizik etütleri için tasarlanmış zemin özgül direncinin ölçülmesinde kullanılan bilgisayar ile veya tek başına çalışabilen ve HPS2005 ölçüm sistemi vericisini kontrol ederek otomatik ölçüm yapabilen yüksek teknoloji ürünü bir cihazdır.



Şekil 4- Schlumberger elektrot dizilimi.

Arazi çalışmalarında arazi DES ölçümleri Şekil 5'te fotoğrafları verilen ZRV40 tipi donanım kullanılarak alınmıştır. Jeofizik cihazları tamamen yerli olup MTA tarafından imal ettirilmiştir.

4.1.1.2. Jeneratör:

Akım kaynağı olarak 5,5 KVA gücünde 50 Hz. frekanslı 200 – 220 ACV çıkışlı Honda marka motor jeneratörden yararlanılmıştır.

4.1.1.3. Akım elektrotları:

Akım vermede kullanılan paslanmaz çelikten yapılmış çubuk elektrotlar kullanılmaktadır.

4.1.1.4. Potansiyeli elektrotlar:

Potansiyeli ölçmede kullanılan elektrotlar ise bakır sülfat içerikli polarize olmayan elektrotlardır.

4.1.1.5. Kablolar:

Ölçümler için çift izoleli kablolar (10 Bakır, 3 çelik) kullanılmıştır.

4.1.1.6. Telsiz:

Haberleşme için Aselsan el telsizleri kullanılmıştır.

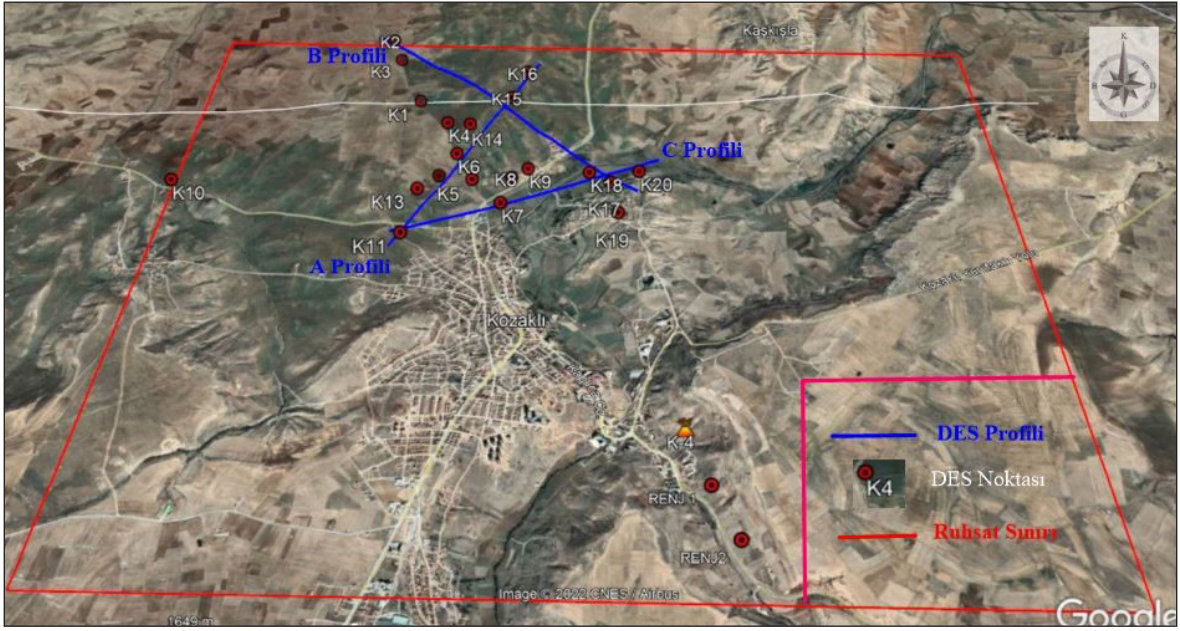
Çalışma sahasında, Schlumberger elektrot dizilimi ile Nevşehir-Kozaklı ilçesinde 20 değişik noktada DES ölçümü yapılmıştır. Bu ölçümlerde, ölçü nokta aralıkları topoğrafyanın durumuna ve hedeflenen araştırmaya bağlı olarak 300 m ile 1.000 m arasında değişmektedir. Yöntemin düşey ölçüm derinliği, 1.000 m ile 2.000 m arasında yapısal özelliğe bağlı olarak değişmektedir. Ayrıca verilerin değerlendirilmesi esnasında haritalar üzerinde kesitler alınarak, eş öz direnç haritaları ile birlikte yorumlanmıştır. Jeofizik DES ölçüm noktaları ve yapı kesitlerinin çıkartıldığı doğrultular, lokasyon haritalarında (Şekil 6) verilmiştir.

4.2. DES Seviye (1 Boyutlu Ters Çözüm) ve Jeelektrik Yapı Kesit Haritalarının Yorumu

Jeelektrik Etüdü: DES lokasyon haritalarında (Şekil 10, 11) işaretlenen Düşey Elektrik Sondaj (DES) ölçüm noktalarının belirli doğrultularda



Şekil 5- DES çalışmalarında kullanılan öz direnç donanımı.



Şekil 6- Nevşehir-Kozaklı sahası Jeofizik DES ölçüm noktaları ve profillerinin Google Earth'deki görüntüsü.

birleştirilmesiyle elde edilen profillerde, “Eş Özdirenç ve Jeoelektrik Yapı Kesitleri” hazırlanmış ve DES noktalarının ölçüldüğü alanı içine alacak şekilde “Eş özdirenç Seviye Haritaları” oluşturularak değerlendirilmeye alınmış ve yorumlanmıştır. Jeoelektrik yapı kesitlerinde, tabakalarının kalınlık ve özdirenç değerleri belirtilmiş, yüksek öz dirençli (jeoelektrik temel) birimlerin paleotopoğrafyası, jeoelektrik yapı kesitlerinin en alt bölümünde görülen yüksek özdirençli seviye değerleri belirtilerek tanımlanmıştır. Kesitlerdeki jeoelektrik seviyeler litostratigrafi birimleriyle korele edilerek jeolojik yapı modelleri ortaya konulmuştur.

Buradan alınan ölçümlerden elde edilen haritalar, jeoelektrik kesitleri, eş özdirenç kesitleri ve seviye haritaları kendi içerisinde yorumlandıktan sonra sahanın geneli için değerlendirme yapılmıştır.

Değerlendirmede Paleozoyik ve Paleozoyik dönem öncesi kayaların jeoelektrik özellikleri, elektrik yapı kesitleri boyunca çıkartılmıştır.

Çalışma sahasında ölçülen DES noktalarına göre hazırlanan eş özdirenç seviye haritalarından bazılarının (AB/2=50, 100, 300, 500, 750, 1.000, 1.250, 1.500 ve 1.750 m eş özdirenç haritaları) üst üste görüntüsü Şekil 7’de verilmiştir.

4.3. Nevşehir-Kozaklı A Profili 1 Boyutlu Ters Çözüm ve Yapı Kesiti Yorumu

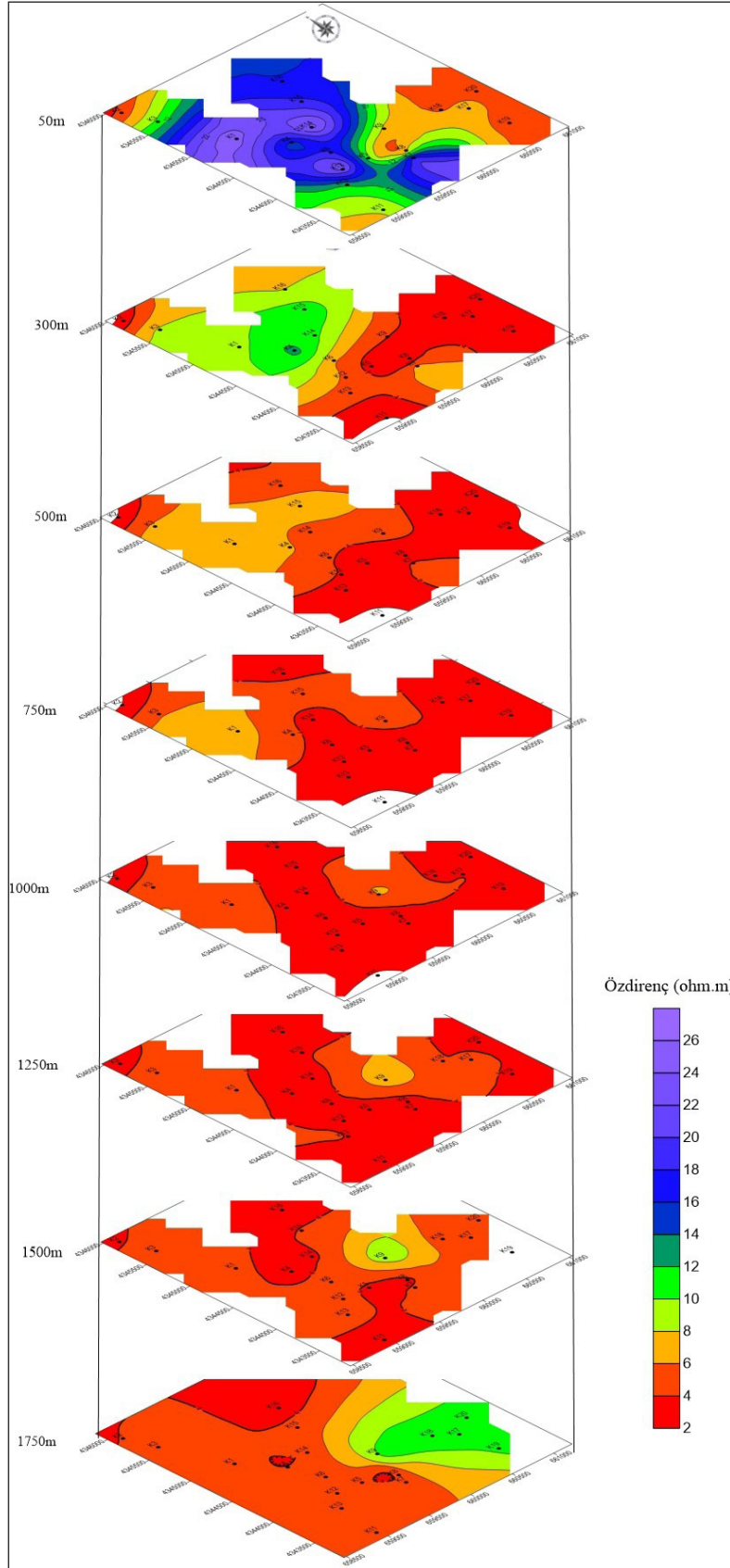
Güneybatıdan kuzeydoğuya doğru alınan A profiline çalışma sahasının ortasında yer almaktadır. A profiline

ait 1 boyutlu ters çözüm kesitine bakıldığında (Şekil 8), güneybatıda K11 DES noktasından başlayıp kuzeydoğuda K16 DES noktasında sona erdiği görülmektedir. 7 adet DES ölçüsü içeren 2.250 m uzunluğunda bir profildir. K12-K15 DES noktaları arasında yüzeyde (Kızılırmak formasyonuna ait çakıltaşı) yüksek özdirenç ($\geq 15 \Omega m$) değerleri görülmekte diğer DES noktalarında yüzeyden itibaren düşük özdirenç değerleri alt kısımlara doğru devam etmektedir. Profilin en düşük öz dirençli ve örtünün kalın olduğu kısımda profilin orta kısmı görülmektedir. En düşük özdirenç değeri K11 DES noktasında ($\leq 3 \Omega m$) görülür.

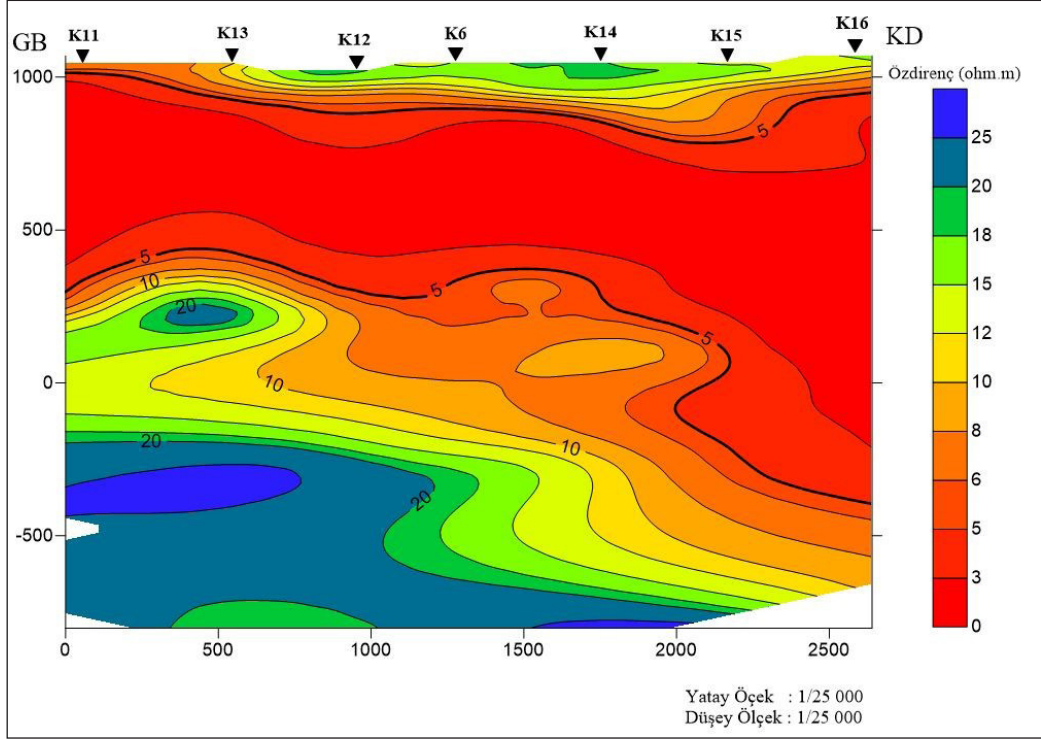
A profiline ait jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında (Şekil 9) profildeki DES ölçüleri Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak ve Deliceirmak formasyonları üzerinden alınmıştır.

Yüksek öz dirençli (10-30 Ωm) temel birimlerin seviyelerinin yaklaşık kalınlığı 1000-1800 m arasında değişmektedir. En derin yer K16 DES noktasında (1.800 m), en sığ yer ise B11 DES noktasında (1100 m) görülür.

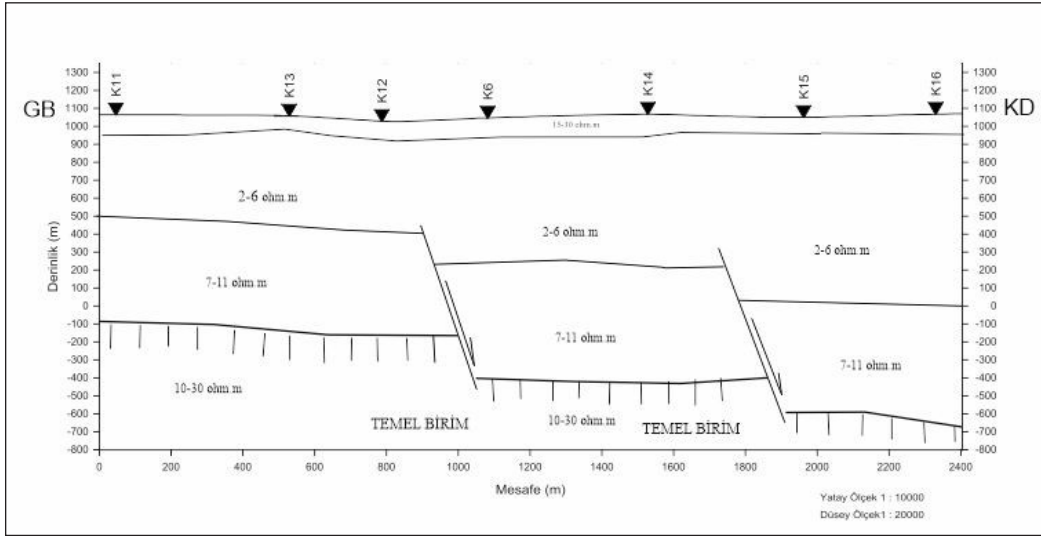
Kesitte görülen K11, K6 ve K15 DES noktalarındaki düşük özdirenç değerleri ($\leq 5 \Omega m$) çalışma sahasında 100 m derinlikten sonra başlar ve kalınlığının 600-700 m arasında olduğu düşünülmektedir.



Şekil 7- Nevşehir-Kozaklı sahası üst üste eş özdirenç seviye haritası.



Şekil 8- Nevşehir-Kozaklı sahası A profili 1 boyutlu ters çözüm kesiti.



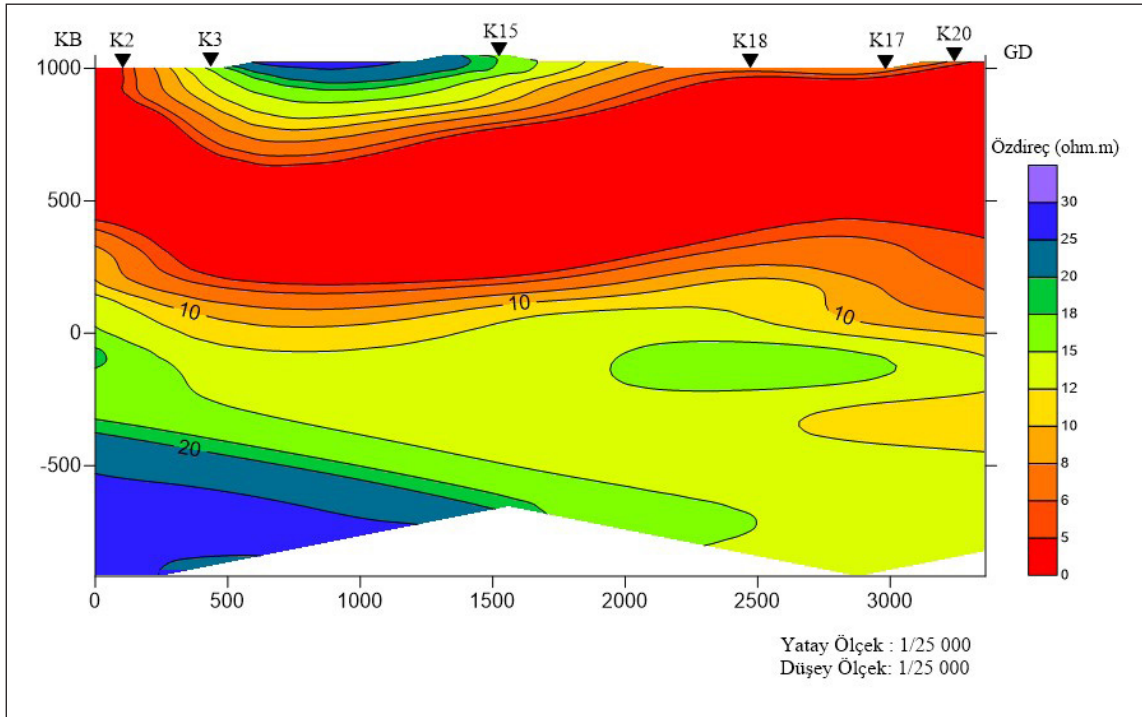
Şekil 9- Nevşehir-Kozaklı sahası A profili jeoelektrik yapı kesiti.

4.4. Nevşehir-Kozaklı B Profili 1 Boyutlu Ters çözüm ve Yapı Kesiti Yorumu

Kuzeybatı güneydoğuya doğru alınan B profili çalışma sahasının kuzeyinde yer almaktadır. 6 adet DES ölçü noktasından ibarettir ve uzunluğu 3.000 m'dir. B profiline ait 1 boyutlu ters çözüm kesitine bakıldığında (Şekil 10), K3-K15 No'lu

DES noktasında yüzeyde yüksek öz direnç ($\geq 20 \Omega\text{m}$) değerleri görülmekte, bu DES noktasının dışında kalan diğer DES noktalarında ise biraz daha düşük öz direnç (3-7 Ωm) değerleri görülmektedir.

B profiline ait jeoelektrik yapı kesitine bakıldığında (Şekil 11) kesitin güneydoğusundan kuzeybatısına doğru temel derinliği artmaktadır



Şekil 10- Nevşehir-Kozaklı sahası B profili 1 boyutlu ters çözüm kesiti.

(1800 m). Kuvaterner yaşlı eski alüvyonlar ve Üst Miyosen-Pliyosen yaşlı Kızılırmak formasyonu üzerinde görülmektedir.

Yüksek öz dirençli (40-70 Ωm) seviyelerin yaklaşık derinliği K17, K18 ve K20 DES noktalarında en sığ 700m, K15 DES noktasında ise en derin yeridir (1700 m).

5. Nevşehir-Kozaklı Sahası Jeoelektrik Temel Derinlik Haritası ve Yorumu

Yüksek öz dirençli (>20 Ohm.m) rezervuar kayaların temel topoğrafyasını görmek için jeoelektrik temel derinlik haritası hazırlanmıştır (Şekil 12). Bu derinlik değerleri deniz seviyesine göre hesaplanmıştır. Mavi-yeşil renkler örtü kalınlığının en çok ve temel birimlerin en derin olduğu yerleri temsil etmektedir. Kırmızı-sarı renkler ise örtü kalınlığının en az ve temel birimlerin en sığ olduğu bölgeleri temsil etmektedir.

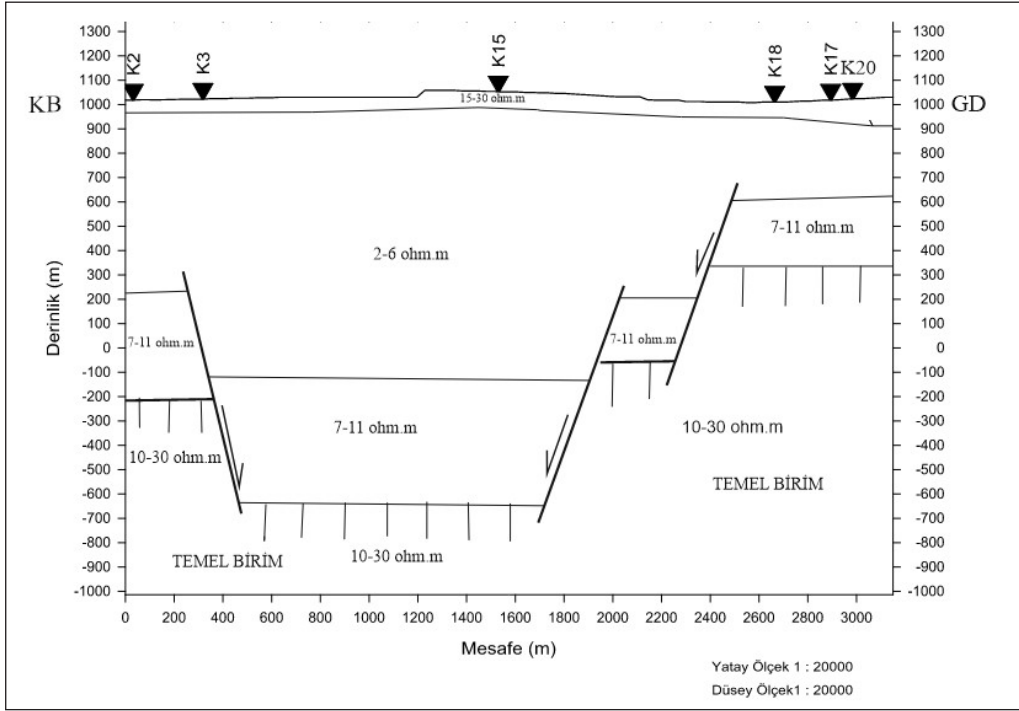
Sahanın KKB kesimlerinde K1 DES noktası civarında mavi renkli temelin en derin (>1.750 m) olduğu görülmektedir. Sahanın güney kesiminde K11, K17 ve K13 DES noktası civarında görülen kırmızı renkler temelin sığ olduğu yerlerdir (800 m). Çalışma alanının geri kalan bölümlerinde örtü birim kalınlığı yaklaşık 900-1400 m arasında değişmektedir. Bu iki renk ayırımında kontur sıklaşmalarının olduğu yerlerden süreksizliklerin geçtiği söylenebilir.

Düşük öz dirençli ($\leq 3 \Omega\text{m}$) rezervuar kayaların düşük öz direnç değerlerini görmek için jeoelektrik temel öz direnç haritası hazırlanmıştır (Şekil 13). Bu öz direnç değerleri, rezervuar kayacın giriş derinlik değerlerine göre hesaplanmıştır. Mavi-yeşil renkler rezervuar temel birimlerinin yüksek öz dirençli (3,5-4,4 Ωm) değerlerini temsil etmektedir. Kırmızı-sarı renkler ise rezervuar kayacın en düşük öz direnç (2,3-3 Ωm) değerlerini temsil etmektedir. Rezervuar kayacın en düşük öz direnç değerlerine (2,3-2,5 Ωm) sahip K11, K17 noktalarında ve kısmen öz dirençli yüksek (2,9-3,2 Ωm) K6 DES noktalarında üretim sondajı yapılmasının uygun olabileceğine karar verilmiştir (Şekil 13, 14).

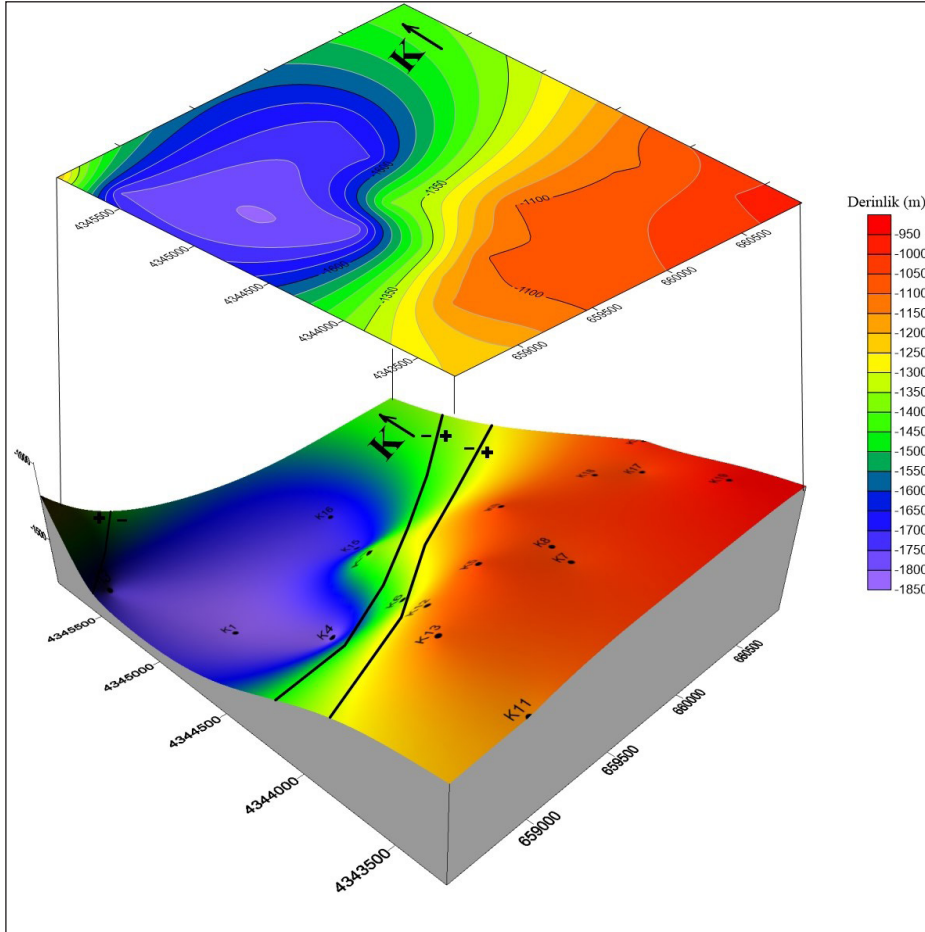
6. Sonuçlar

Jeolojik olarak ruhsat sahasının hemen dışında, kuzey-doğu tarafında yer alan volkanik kayalarda, jeotermal aktivitenin varlığı, bu bölgede farklı zamanlarda yapılan sondajlarla belirlenmiştir. Jeotermal olarak aktif olan bu bölgenin dışına çıkıldıkça, jeotermal akışkanın ancak tektonik yapılar boyunca yayıldığı ve jeotermal akışkanın elde edilebilmesi için bu tektonik yapıya denk gelecek şekilde sondajlar yapılması gerektiği anlaşılmaktadır.

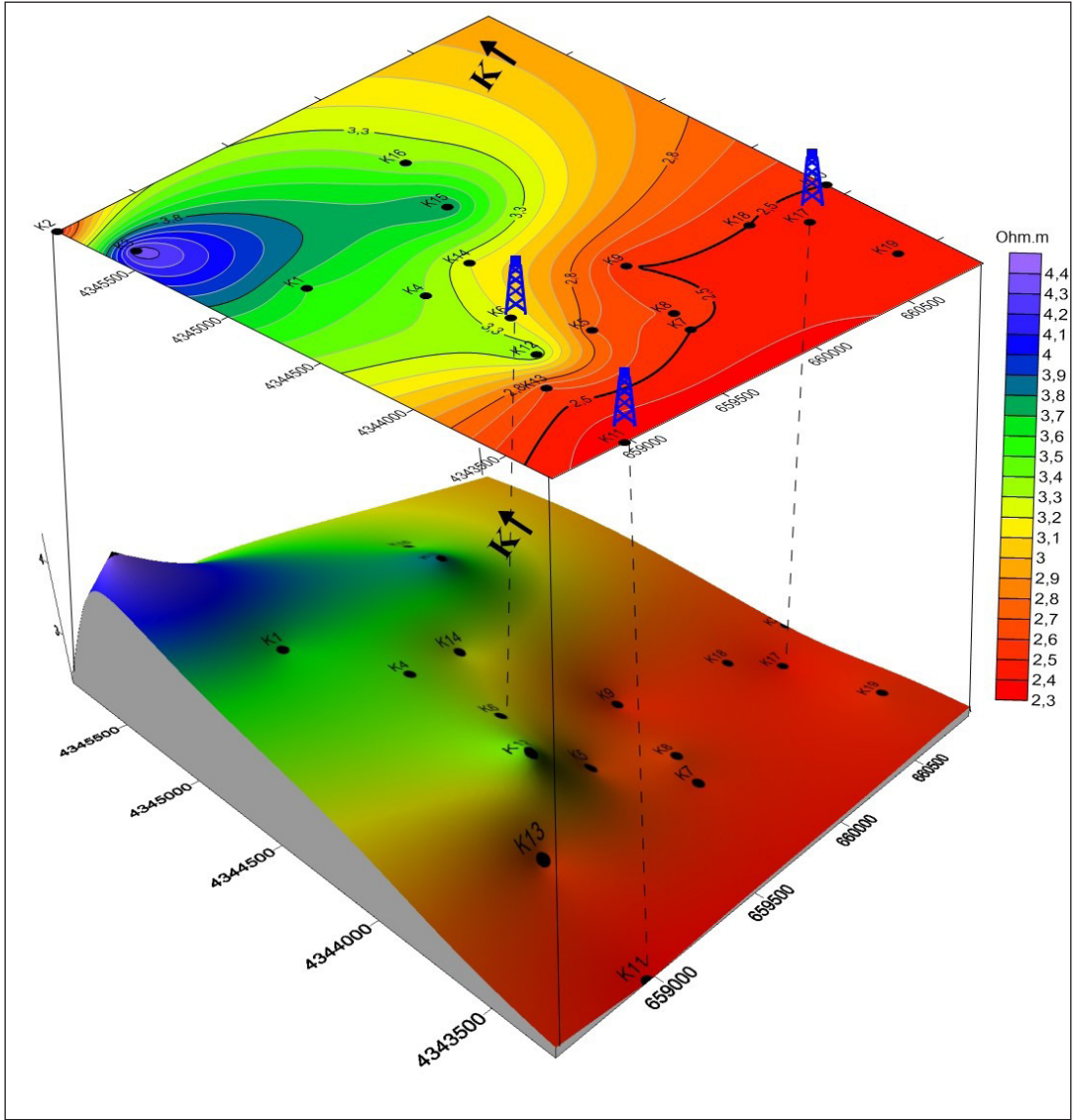
Jeotermal akışkan içerebilecek tektonik yapıların tespitine yönelik olarak DES profilleri belirlenmiştir. Alınan ölçümler ve jeolojik veriler neticesinde ruhsat



Şekil 11- Nevşehir-Kozaklı sahası B profili jeoelektrik yapı kesiti.



Şekil 12- Nevşehir-Kozaklı sahası temel derinlik haritası.

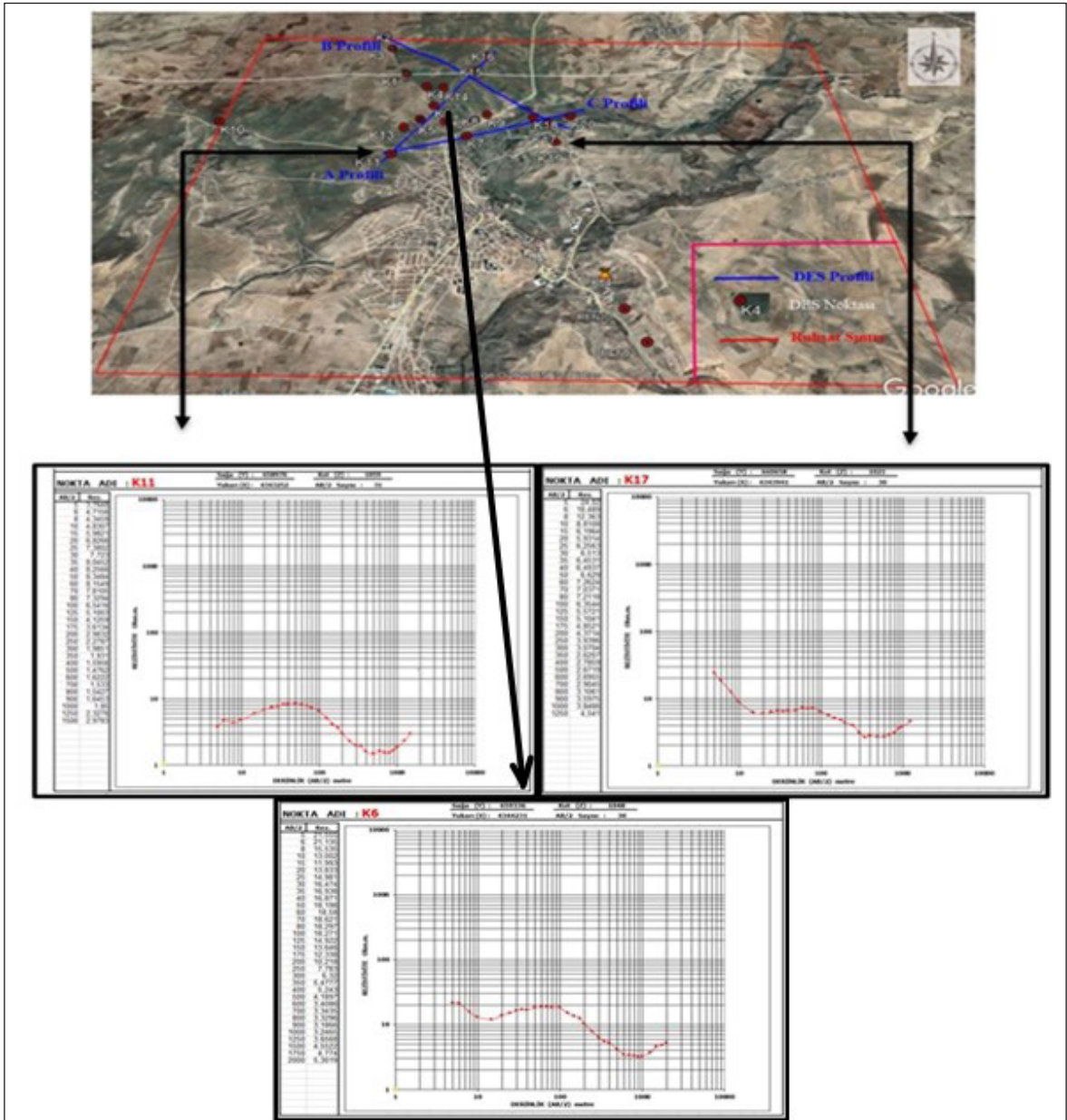


Şekil 13- Nevşehir-Kozaklı sahası temel derinlikteki özdirenç değişim haritası.

sahasının kuzeybatı bölümünde yoğunlaşmıştır. Elde edilen tüm verilerin ışığında K17, K11 ve K6 DES noktalarında (800-900-1200 ±200 m) 3 adet üretim sondajı yapılmasının uygun olabileceğine karar verilmiştir (Şekil 12, 13) .

Kozaklı jeotermal alınındaki gerek otellerin düzensiz fazla sıcak su kullanması gerekse de kışın ısıtma için fazla sıcak su kullanımı rezervuarın azalmasına ve obrukların oluşmasına neden

olmaktadır. Bu nedenle ana rezervuar kapasitesinin azalmaması için rezervuar dışında reenjeksiyon kuyuları açılması büyük önem arz etmektedir. Kozaklı'da beslenmenin fazla değişmeyeceği düşünüldüğünde yeraltı su seviyesinin korunması için reenjeksiyon kuyuları mutlaka açılmalıdır. Bu amaçla ruhsat sahasının kuzeydoğusunda 3 adet sondaj yeri tespit edilmiştir (Şekil 13, 14). Ayrıca otellerin sıcak su kullanımı kontrol altına alınmalı, sıcak su miktarını gösteren sayaç bağlanması gibi tedbirler alınmalıdır.



Şekil 14- Nevşehir-Kozaklı K11, K17 ve K6 DES noktalarının sondaj eğrileri.

Değerlenen Belgeler

- Arslan, G. 2009. Türkiye Rejyonel Jeoelektrik Haritalarının Çıkarılması Projesi Nevşehir ve Çevresi Jeofizik Etüt Raporu.
- Ergin, H. 1985. Schlumberger Elektrot Dizilimin Formülü. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor No: 1149, Ankara (yayımlanmamış).

Kara, İ. 2007. Nevşehir Kozaklı K-4 sondajı kuyu raporu, Ankara.

Öztürk, S., 2005. Türkiye Isı Akısı Haritaları Hazırlanması Raporu.