



EMİRDAĞ-KARAAĞAÇ YERALTI SUYU POTANSİYELİNİN ELEKTRİK ÖZDİRENÇ YÖNTEMLER İLE ARAŞTIRILMASI

Sedat YILMAZ^{1*}, Emine YILDIRIM²

¹ Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Isparta, Türkiye

² Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta, Türkiye

Anahtar Kelimeler	Öz
<i>Emirdağ, Yeraltı suyu, Özdirenç, DES, EÖT.</i>	Kayaçların gözenekliliği ve geçirgenliği gibi hidrojeoloji için önemli olan jeolojik oluşum özelliklerinin çoğu elektriksel iletkenlik ile ilişkilidir. Bu sebeple, jeofizik arama tekniklerinden elektrik özdirenç yöntemi yeraltı suyu araştırmaları için etkilidir. Özdirenç yöntemlerinden düşey elektrik sondajı (DES) yöntemi, su taşıyan oluşumun kalınlığını ve derinliğini belirlemek için kullanılmaktadır. Diğer bir özdirenç yöntem ise daha geniş alanlarda daha hızlı ve sağlıklı ölçüm almayı sağlayan çok-elektrotlu sistemleri kullanan elektrik özdirenç tomografidir (EÖT). Bu çalışmada, Afyonkarahisar-Emirdağ (Karaağaç) bölgesindeki muhtemel yeraltı suyu bulunduran akifer yapılar, DES ve EÖT yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. 7 istasyonda DES verilerinin ve 4 profilde EÖT verilerinin değerlendirilmesi ile, çalışma alanındaki muhtemel yeraltı suyu içeren akifer yapıların dağılımı belirlenmiştir. Yeraltı suyu sağlamada farklı derinliklerdeki çakıllı birimler ve kireçtaşı iyi akifer özellik göstermektedir.

INVESTIGATION OF EMİRDAĞ-KARAAĞAÇ UNDERGROUND WATER POTENTIAL WITH ELECTRICAL RESISTIVITY METHODS

Keywords	Abstract
<i>Emirdağ, Groundwater, Resistivity, VES, ERT.</i>	Many of the geological formation properties important to hydrogeology, such as the porosity and permeability of rocks, are related to electrical conductivity. Therefore, one of the geophysical exploration techniques, the electrical resistivity method is effective for groundwater exploration. One of the resistivity methods, the vertical electrical sounding (VES) method is used to determine the thickness and depth of the water-bearing formation. Another resistivity method is electrical resistivity tomography (ERT), which uses multi-electrode systems that provide faster and more reliable measurements over larger areas. In this study, aquifer structures that contain possible groundwater in Afyonkarahisar-Emirdağ (Karaağaç) region were investigated using VES and ERT methods. By evaluating VES data in 7 stations and ERT data in 4 profiles, the distribution of aquifer structures containing possible groundwater in the study area was determined. Gravel units at different depths and limestone show good aquifer properties in providing groundwater.

Alıntı / Cite

Yılmaz, S., Yıldırım, E., (2021). Emirdağ-Karaağaç Yeraltı Suyu Potansiyelinin Elektrik Özdirenç Yöntemler İle Araştırılması, Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi, 9(4), 1267-1275.

Yazar Kimliği / Author ID (ORCID Number)	Makale Süreci / Article Process
S. Yılmaz, 0000-0002-9841-4900	Başvuru Tarihi / Submission Date 29.04.2021
E. Yıldırım, 0000-0003-3654-6594	Revizyon Tarihi / Revision Date 20.05.2021
	Kabul Tarihi / Accepted Date 02.08.2021
	Yayın Tarihi / Published Date 20.12.2021

* İlgili yazar / Corresponding author: sedatyilmaz@sdu.edu.tr, +90-246-211-1349

1. Giriş (Introduction)

Göller ve nehirler gibi yüzey suları, kolay kirlenmeleri nedeniyle güvenli değildir. En güvenli su kaynağı olan yeraltı suyunun dünyadaki dağılımı da eşit değildir. Yeraltı suyu hakkında veri sağlamanın en doğrudan yöntemi, gözlem ve su sağlama kuyuları açmaktır, ancak bu işlemler pahalıdır ve bu yüzden çoğu zaman verimsizdir. Nispeten ucuz olan jeofizik yöntemlerin kullanılması, gerekli sondaj sayısını azaltarak ve onların konumlarını iyileştirerek, yeraltı suyu araştırmalarının maliyetini büyük ölçüde azaltabilmektedir. Bu sebeple, yeraltı suları ile ilgili olarak, nerede, ne kadarı var ve kalitesi gibi bazı temel soruların cevabını bulmada jeofizik yöntemler yardımcı olmaktadır (Fitterman ve Stewart, 1986).

Yeraltı suyu çalışmalarında jeofizik yöntemlerin kullanılmasının ana nedenleri, su sondajı açma risklerini azaltmak ve zayıf yeraltı suyu üretimiyle ilişkili maliyeti düşürmektir (Stampolidis vd., 2005; Kalisperi vd., 2009). Jeofizik yöntemler, genellikle zamandan ve maliyetten tasarruf sağladıkları için yeraltı suyu araştırmalarında başarıyla kullanılmıştır. Tüm jeofizik araştırmaların ve tabii ki yeraltı suyu araştırmalarının önemli bir kısmı, yeraltı jeolojik koşulları belirleme amacına yöneliktir. Jeofiziğin özellikle yer elektrik öz direnç yöntemi, genellikle yeraltı suyu aramaları için en umut verici ve en uygun yöntem olarak kabul edilir. Yeraltı suyu aramalarında jeofizik araştırmaların hedefi, yeraltı suyunun kendisi değil suyun var olduğu jeolojik durumdur (Anon, 1997). Bunlar arasında akiferlerin derinliği ve kalınlığının haritalanması, sınırlayıcı birimlerin haritalanması, çatlaklar ve fay bölgeleri gibi suyun geçiş yollarının bulunması ve tuzlu su girişinden kaynaklanan yeraltı suyunun kirlenmesinin haritalandırılması yer almaktadır (Anon, 1997).

Su içeren akiferlerin elektrik öz direnci büyük ölçüde değişebildiğinden ve mutlak öz direnç değerleri nadiren belirli bir litolojiye karşılık geldiğinden su arama genellikle dolaylı olarak yapılır. Bu, suyu doğrudan aramak yerine yer elektrik hedeflerin belirli litolojik kontrastları veya ortamları temsil eden uygun öz direnç yapıları olduğu anlamına gelmektedir. Örneğin, su akiferi olan alüvyondaki gözenekli çakıl bölgelerinin tespit edilmesi için, yüzeyden temel kayaya kadar olan bölümün haritalanması önemli bir araştırma sorunudur (Fitterman ve Stewart, 1986).

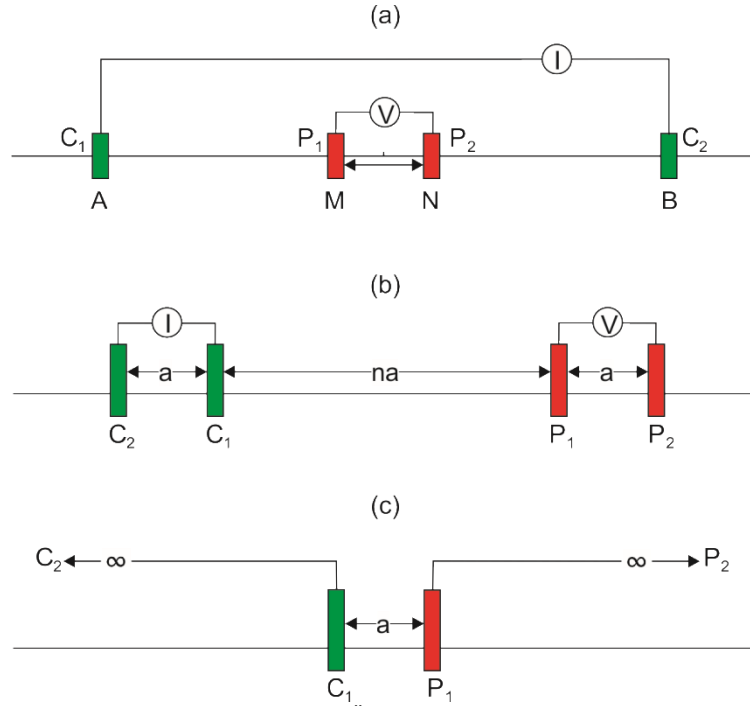
Düşey elektrik sondajı (DES) ve elektrik öz direnç tomografi (EÖT), yeraltı suyu araştırmalarında yaygın olarak kullanılan başlıca tamamlayıcı jeofizik yöntemlerdir. Bu yöntemler, temel katmanlarının tanımlanmasında ve çatlaklı ortamların ve tortul oluşumlardaki çatlaklar, kırıklar ve faylar gibi ilişkili akifer bölgelerinin konumlandırılmasında kullanılırlar. DES yönteminin saha uygulaması kolay ve verilerin analizi diğer yöntemlere kıyasla basittir (Zohdy vd., 1974; Stampolidis vd., 2005; Souplos vd., 2007; Kalisperi vd., 2009). DES araştırma tekniği, yeraltı suyu koşullarının incelenmesi, su taşıyan oluşumun kalınlığını ve derinliğini belirlemek için etkili bir şekilde kullanılmıştır (Shankar, 1994; Lashkaripour, 2003; Lashkaripour vd., 2005; Oseji vd., 2006; Sahu ve Sahoo, 2006). Elektrik öz direncin DES tekniği dışında, EÖT yöntemi, daha geniş alanlarda daha hızlı ve sağlıklı ölçüm almayı sağlamaktadır. Yöntemin teorisi, pratik uygulama ve yorumlama teknikleri açısından oldukça iyi bir şekilde oluşturulmuştur (örn. Barker 1981; Dahlin 1993; Loke ve Barker 1996a, b).

Afyonkarahisar-Emirdağ (Karaağaç), Ege Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında geçiş noktasında ve aynı zamanda Yukarı Sakarya kesiminde yer almaktadır. Emirdağ Ovası'nda bölgenin en önemli yüzey suyu olan Sakarya Nehri dışında çok sayıda mevsimlik dere bulunmaktadır. Bu dereler üzerindeki birkaç gölet Emirdağ ilçesinin içme suyu ihtiyacının bir bölümünü karşılamaktadır. Yüzey suları ihtiyacı karşılamadığından, yeraltı suyundan yararlanma için Devlet Su İşleri (DSİ) tarafından bölgede su sondajları açmak için farklı projeler yürütülmüştür. Bu çalışmanın ana amacı, Emirdağ ilçesi Karaağaç köyü civarında muhtemel yeraltı suyu bulunduran jeolojik yapıların dağılımını belirlemektir. Bu amaçla DSİ 18. Bölge Müdürlüğü mühendisleri tarafından sağlanan saha verileri yeniden değerlendirilmiş ve elektrik öz direnç araştırma sonuçları yeraltı suyu açısından yorumlanmıştır.

2. Araştırma Yöntemleri (Research Methods)

DES, yeraltının yatay veya yaklaşık olarak yatay tabakalardan oluştuğu kabulü esasına dayanmaktadır. Bir DES araştırmasının sonucunda, yerin bir-boyutlu öz direnç dağılımı yani yatay konumlanmış tabakaların sayısı, kalınlıkları ve öz dirençleri belirlenir. DES yönteminde yoğunlukla, pratik oluşu ve metodik avantajlarından dolayı, potansiyel elektrotlarının yakın aralıklarla yerleştirilip dizilimin merkezine sabitlendiği ve akım elektrotlarının dışarı doğru hareket ettirildiği simetrik Schlumberger elektrot dizilimi (Şekil 1a) kullanılır. Schlumberger DES verilerinin yorumunda genellikle ters çözüm algoritmalarından birisi kullanılır. Bu çalışmadaki saha DES eğrilerini değerlendirmek için IPI2Win (Moscow State University) yazılımı kullanılmıştır. Ancak bu yöntemde uygun başlangıç modellerini kurmak için, Zohdy tekniğinden (Zohdy, 1989) elde edilen çok-tabakalı çözüm modellerinden yararlanılmıştır. Ters çözüm işlemi sonucunda, yatay tabakalara ait öz direnç ve kalınlık parametreleri hesaplanmıştır.

EÖT, öz direncin düşey yönde ve ayrıca araştırma hattı boyunca yatay yönde değiştiği ancak araştırma hattına dik olan yönde öz direncin değişmediği varsayımına dayanmaktadır. EÖT, yeraltı karmaşık jeolojisinin yüksek çözünürlüklü iki- veya üç-boyutlu görüntüsünü sağlar (Griffiths ve Barker, 1993). EÖT araştırmaları, çoklu bir kabloya bağlı 25 veya daha fazla sayıda elektrotla yapılır. Dolayısıyla bu tür araştırmalar genellikle çok-elektrotlu sistemler kullanılarak gerçekleştirilir. Günümüzde, EÖT araştırmalarını gerçekleştirmek için saha teknikleri ve ekipmanlar oldukça fazla gelişmiştir. Bu çalışmada dipol-dipol (Şekil 1b) ve pol-pol (Şekil 1c) elektrot dizilimleri kullanılmıştır. Saha EÖT verilerinin değerlendirilmesinde Res2Dinv (Geotomo Software) yazılımı kullanılmıştır. Bu programda, yeraltının birçok dörtgen bloklara bölüdüğü iki-boyutlu model kullanılır. Ters çözüm algoritması, model yeraltı bloklarının öz direncini değiştirerek hesaplanan ve ölçülen görünür öz direnç değerleri arasındaki farkı en aza indirmeye çalışır. Bu farkın bir ölçüsü genellikle 3 ile 5 yinelemeden sonra karekök ortalama (RMS) hatasıyla verilir (Loke, 2020).



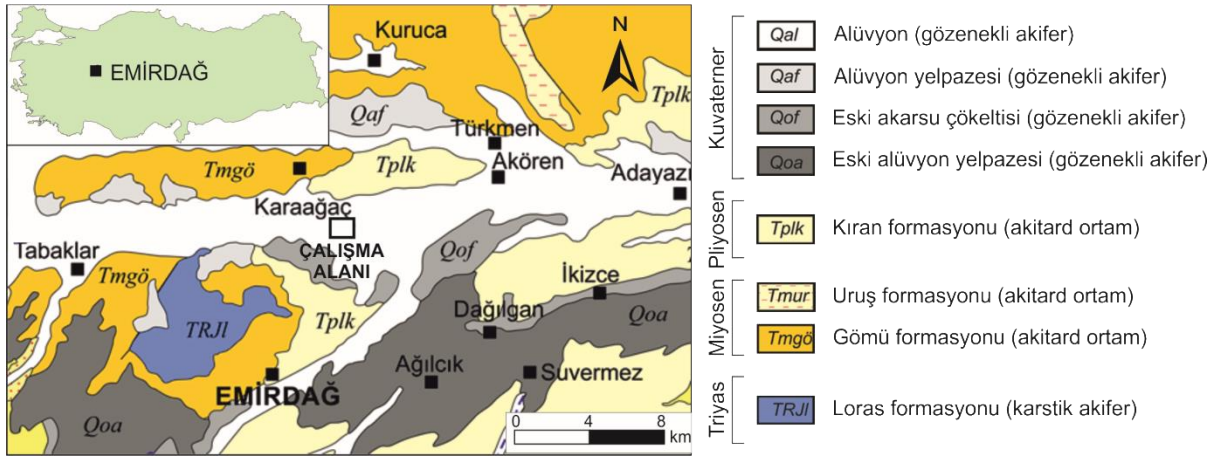
Şekil 1. DES ölçümleri için Schlumberger (a) ve EÖT ölçümleri için dipol-dipol (b) ve pol-pol (c) elektrot dizilimleri (Schlumberger electrode array (a) used for VES measurements, dipole-dipole (b) and pole-pole (c) electrode arrays for ERT measurements)

3. Çalışma Alanı Ve Jeolojisi (Study Area and Geology)

Çalışma alanını içinde bulunduran Emirdağ ilçesi, Ege Bölgesi ile İç Anadolu Bölgesi arasında geçiş noktasındadır (Şekil 2). Topoğrafik olarak hemen hemen düz bir yapıya sahip olan yerleşim alanının kuzey ve doğusunda oldukça geniş ovalar ve güneyinde ise Emirdağı vardır.

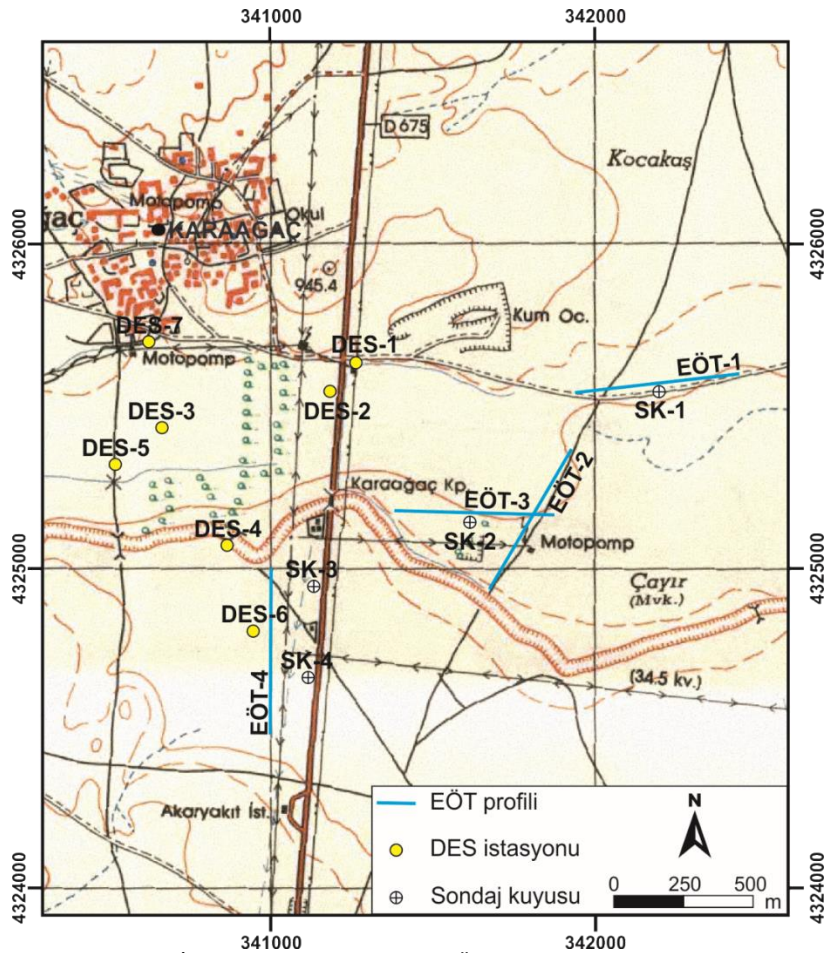
Çalışma alanı çevresinin jeolojisi Şekil 2' de verilmektedir. Buradaki birimlere ait tanımlamalar Aksever (2019)'den özetlenmiştir. KB-GD yönünde uzanan Emirdağ ovasının büyük bölümü genç birim olan Kuvaterner yaşlı alüvyondan oluşmaktadır. Çalışma alanı temelini kireçtaşı ve dolomitlerden oluşan Mesozoyik yaşlı Loras formasyonu oluşturmaktadır. Formasyon havzası Orta-Üst Triyas yaşlı dolomit ve kristalize kireçtaşları ile başlar. Birim, Orta Triyas-Üst Jura yaşlı, oolitik, alglı kireçtaşları ve dolomitlerle yukarı doğru devam etmektedir. Formasyon Jura-Kretase yaşlı kristalize kireçtaşı ve çörtlü kristalize kireçtaşları ile sonlanmaktadır. Formasyon mikritik kireçtaşı, killi kireçtaşı, çamurtaşı, çört ve şeylden oluşur. Kumtaşı, kiltası ve konglomera gibi sağlam kayalardan oluşan Üst Miyosen yaşlı Gömü formasyonu, volkaniklerin üzerine uyumsuz olarak gelir. Kalker, marn, jips, kumtaşı, kiltası ve konglomeradan oluşan Uruş formasyonu, Gömü formasyonu ile geçişlidir. Baskın litolojinin çakıl taşlarından oluştuğu Kıran formasyonu, kumtaşı, kiltası, siltaşı ve killi kireçtaşı gibi sağlam kayalardan oluşur. Çalışma alanındaki gevşek çakıl, kil, kum, çamur gibi malzemelerin oluşturduğu Kuvaterner birimler, eski alüvyon yelpaze, eski akarsu çökelleri, alüvyon yelpazesi ve alüvyon olarak ayırt edilmektedir (Aksever, 2019).

Çalışma alanında bulunan alüvyon, kireçtaşı, çakıltaşı seviyeleri su alınabilen akifer özelliği göstermektedir. Bölgede bulunan gösel çökeller alüvyon ile benzer özellik göstererek geçirimli birimleri oluşturmaktadır. Çalışma alanında bulunan kireçtaşı birimleri karstik geçirimli birimlerdir ancak, bölgede bulunan marn geçirimsizliği sınırlamıştır. Yeraltı suyu çakıltaşı ve kireçtaşı birimlerinden alınmaktadır (Aksever, 2019).



4. Saha Ölçümleri ve Değerlendirme (Field Measurements and Evaluation)

Bu araştırma kapsamında, Emirdağ ilçesi Karaağaç köyünde 7 noktada DES ölçümü ve 4 profilde EÖT ölçümü ve 4 lokasyonda açılmış sondajlar kullanılmıştır (Şekil 3).



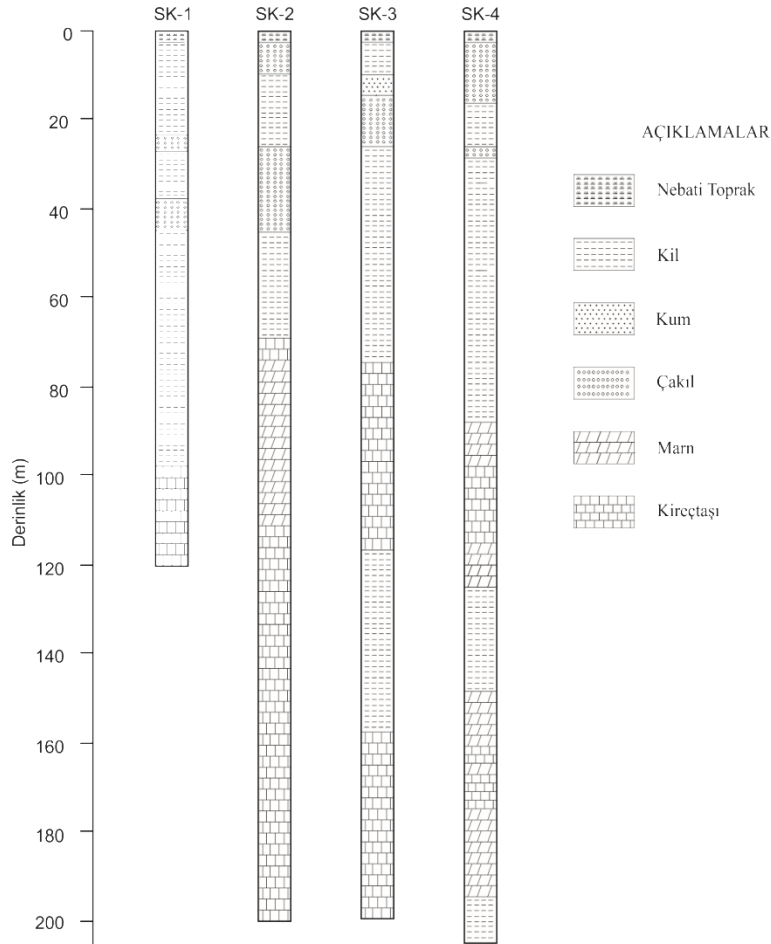
Sondajlara ait litolojik bilgiler (Şekil 4) şöyledir. SK-1 sondajı 120 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 23 m derinliğe kadar kil tabakası (10 m'lik kısmı az siltli çakıllı ve kalan kısmı ise çakıllı) vardır. Bu tabakanın altında 3 m kalınlığında çakıl tabakası ve altında 37 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası gözlenmiştir. Bu derinlikten sonra 6 m kalınlığında bir çakıl (killi kumlu) tabakası altında 98 m derinliğine kadar kil tabakası (53 m derinliğe kadar olan kısmı az çakıllı, geri kalan kısmı ise yer yer az çakıllı) vardır. Bu tabakanın altında 120

m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 35,39 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 59.2 m) ve çakıllı kil ve killi kumlu çakıl sınırına karşılık gelmektedir.

SK-2 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 10 m derinliğe kadar kumlu çakıl tabakası vardır. Bu tabakanın altında 26 m derinliğe kadar kil tabakası ve onun altında 44 m derinliğe kadar uzanan killi çakıl tabakası gözlenmiştir. Bu derinlikten 68 m derinliğine kadar kil tabakası (yer yer az çakıllı) mevcuttur. Bu tabakanın altında 4 m kalınlığında kireçtaşı tabakası altında ise 112 m derinliğine kadar uzanan marn tabakası (83 m derinliğine kadar olan kısmı kireçtaşı bantlı) vardır. Bu tabakanın altında 200 m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası (son 20 m olan kısmı marn ardalanmalı) görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 35,12 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 58.3 m) ve killi çakıl tabakasına karşılık gelmektedir.

SK-3 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 3 m kalınlığında kil altında 14 m derinliğe kadar uzanan kum tabakası (üstte 3 m'lik kısmı az çakıllı, geri kalanı killi) vardır. Bu tabakanın altında 26 m derinliğe kadar çakıl tabakası (kireçtaşı, kuvars, volkanik elemanlı) altında 75 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası (yer yer kireçtaşı, kiltası ardalanmalı) gözlenmiştir. Bu derinlikten 117 m derinliğine kadar kireçtaşı tabakası mevcuttur. Bu tabakanın altında 158 m derinliğe kadar yer yer kireçtaşı bantlı kil tabakası vardır. Bu tabakanın altında 200 m derinliğe kadar kireçtaşı tabakası (2 m kalınlığında marn bantlı) görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 27,1 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 73.8 m) ve çakıl-kil sınırına karşılık gelmektedir.

SK-4 sondajı 200 m derinliğinde olup, 2 m kalınlığında yüzey toprağı altında 14 m kalınlığında çakıl tabakası altında 84 m derinliğe kadar uzanan kil tabakası vardır. Bu tabaka, 24 m derinliğe kadar çakıllı veya az çakıllı olup, 24-26 m derinlik aralığında killi çakıl tabakasından sonra 84 m derinliğe kadar çakıllı, az çakıllı, yer yer çakıllıdır. Bu tabakanın altında 124 m derinliğe kadar marn-kireçtaşı ardalanması gözlenmiştir. Bu derinlikten sonra kil tabakası 147 m derinliğine kadar uzanmaktadır. Bu tabakanın altında 194 m derinliğe kadar yine marn-kireçtaşı ardalanması gözlenmiştir. Onun altında ise 204 m derinliğe kadar kil tabakası görülmektedir. Yeraltı suyu seviyesi 37,5 m derinliğindedir (kuyu geliştirme sonunda 82.1 m) ve çakıllı kil tabakasına karşılık gelmektedir.

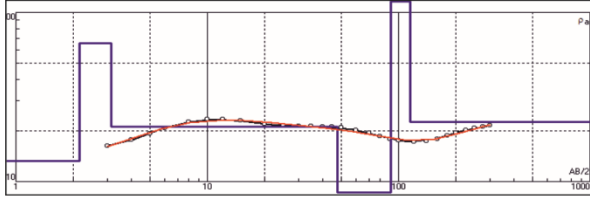


Şekil 4. Sondajlara ait litolojik bilgiler (Lithological information of the drillings)

Şekil 5, saha DES verilerinin değerlendirme sonuçlarını ve bir-boyutlu yer modellerine ait sayısal bilgileri göstermektedir. DES verileri için en büyük AB/2 değerleri, DES-1 için 350 m, DES-2, DES-6 ve DES-7 için 250 m,

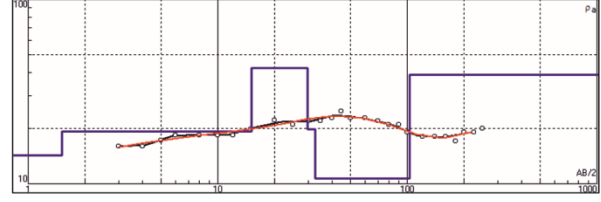
DES-3 ve DES-5 için 275 m ve DES-4 için ise 300 m'dir. Burada siyah çizgi ile birleştirilmiş içi boş daireler saha verilerini, kırmızı renkli eğriler modelden elde edilen sentetik verileri göstermektedir. Tabakalı yer modelleri ise mavi renkli düz çizgilerden oluşmaktadır. Modellere ait sayısal bilgiler (ρ : tabaka öz direnci, h: tabaka kalınlığı) şekillerin altında verilmiştir.

DES-1



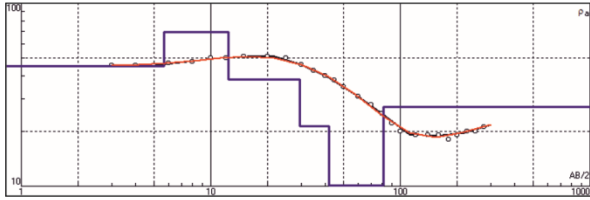
ρ	13	66	21	8	130	23
h	2.1	1	44.5	43.8	22.9	

DES-2



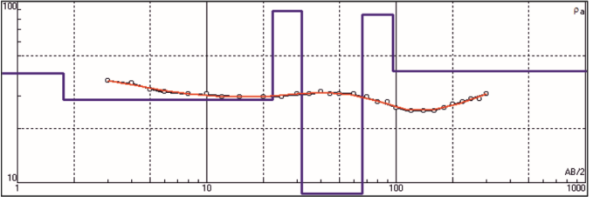
ρ	14	19	42	20	11	39
h	1.5	13.5	14.7	2.8	70.3	

DES-3



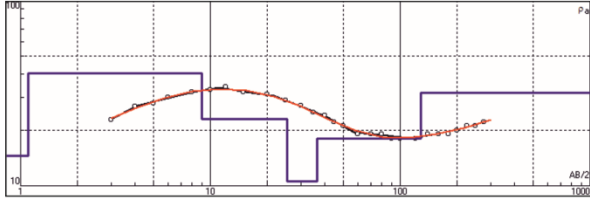
ρ	45	69	38	21	10	27
h	5.7	6.7	17.2	12.3	39.4	

DES-4



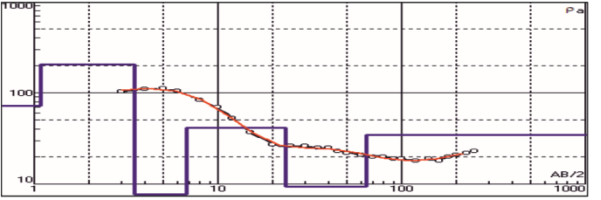
ρ	40	29	88	9	84	41
h	1.7	20.4	9.5	34.7	30.1	

DES-5



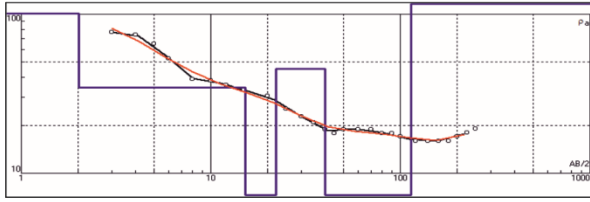
ρ	14	41	23	10	18	32
h	1.1	7.9	16.3	11.3	91.6	

DES-6



ρ	72	204	7	41	9	35
h	1	2.4	3.3	17	41	

DES-7



ρ	101	34	5	45	7	423
h	2	13.2	6.8	18	73.9	

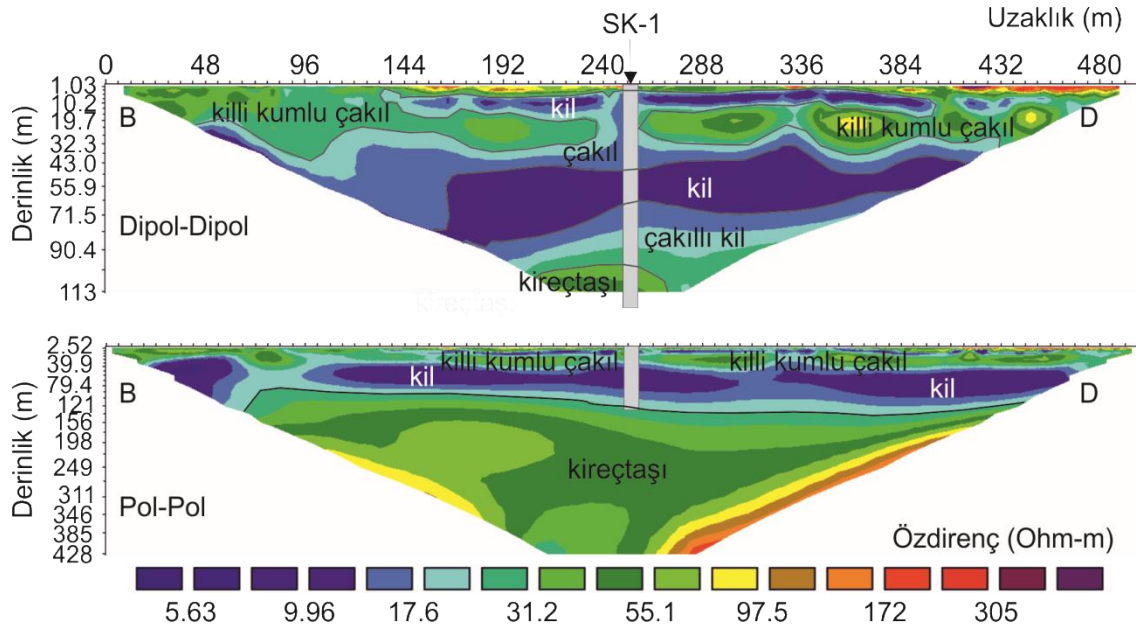
—○— Ölçülen veri
 — Tabaka modeli
 — Sentetik veri

Şekil 5. DES verilerinin değerlendirme sonuçları, Burada, ρ , tabaka öz direncini, h ise kalınlığı ifade etmektedir (Evaluation results of DES data. Here, ρ represents the layer resistivity and h represents the layer thickness)

Şekil 6-9, EÖT verilerinin değerlendirme sonuçlarını göstermektedir. EÖT-1 ve EÖT-2 profillerinde saha ölçümleri hem dipol-dipol hem de pol-pol elektrot dizilimlerine göre yapılmıştır. EÖT-3 ve EÖT-4 profillerinde ise saha ölçümleri sadece dipol-dipol elektrot dizilimine göredir. Dizilimlerdeki birim elektrot aralığı 6 m'dir ve 84 elektrotlu çoklu-kablo öz direnç sistemi için profil uzunlukları $83 \times 6 = 498$ m'dir. EÖT kesitlerinde en yüksek derinlik, dipol-dipol için 113 m ve pol-pol dizilimi için 428 m'dir. Tüm saha verilerinin ters çözümleri, 3-7 iterasyon aralığında ve %1.37 ile %14.20 karekök ortalama (RMS) hata ile gerçekleşmiştir. Ters çözüm modellerinde hesaplanan öz dirençler $2.89 \Omega\text{m}$ ile $1083.70 \Omega\text{m}$ arasında değişmektedir. Ancak, EÖT kesitlerinin birbiriyile karşılaştırmasını yapmak amacıyla aynı öz direnç aralıklarında çizilmiştir.

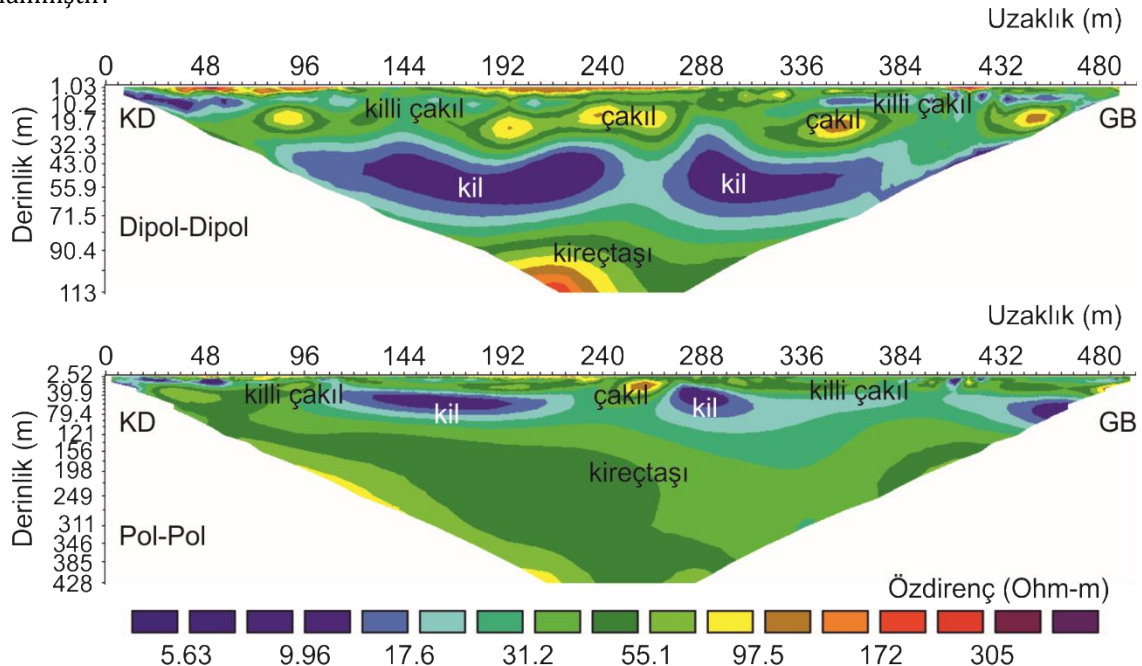
EÖT-1 profiline ilişkin EÖT kesitleri Şekil 6'da görülmektedir. Dipol-dipol EÖT kesiti, 4 iterasyon ve %10.73 RMS hatası ile elde edilmiştir. Öz direnç ters çözüm modelinde en düşük öz direnç $2.89 \Omega\text{m}$ ve en yüksek öz direnç ise $808,16 \Omega\text{m}$ olarak hesaplanmıştır. Pol-pol EÖT kesiti ise, 4 iterasyon ve %2.69 RMS hatası ile elde edilmiştir. Öz direnç ters çözüm modelinde en düşük öz direnç $6.22 \Omega\text{m}$ ve en yüksek öz direnç ise $302,53 \Omega\text{m}$ olarak

hesaplanmıştır. B-D doğrultulu EÖT-1 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölgeler kil, kum, çakıl istifine, altında sarı-yeşil renkli bölgeler çakıl ve yer yer çakıllı kile, onun altında yaklaşık 90 m derinliğe kadar uzanan geniş bir alanı kapsayan mavi renkli bölge kil tabakasına, onun altında ince bir çakıllı kil tabakasına ve kesitlerde en alttaki yeşil-kırmızı bölge kireçtaşı karşılık gelmektedir. SK-1 sondajına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşıdan gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliği sahiptir.



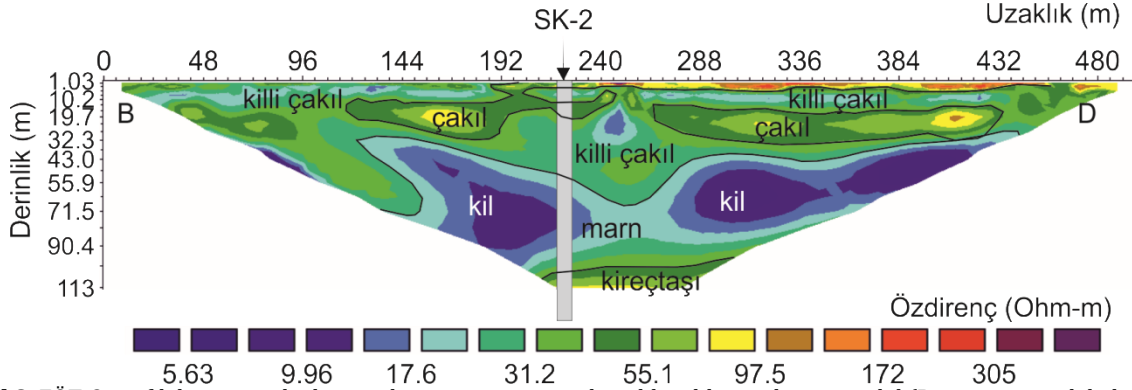
Şekil 6. EÖT-1 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç modeller (Kesitlerin düşey eksen derinliklerinin farklı olduğuna dikkat ediniz) (Resistivity models obtained from the inversion of the data measured along the ERT-1 profile (Note that the vertical axis depths in the sections are different))

EÖT-2 profiline ilişkin EÖT kesitleri Şekil 7’de görülmektedir. Dipol-dipol EÖT kesiti, 3 iterasyon ve %14.20 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 5.99 Ω m ve en yüksek özdirenç ise 1083,70 Ω m olarak hesaplanmıştır. Pol-pol EÖT kesiti ise, 7 iterasyon ve %1.75 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 3.09 Ω m ve en yüksek özdirenç ise 202,35 Ω m olarak hesaplanmıştır.



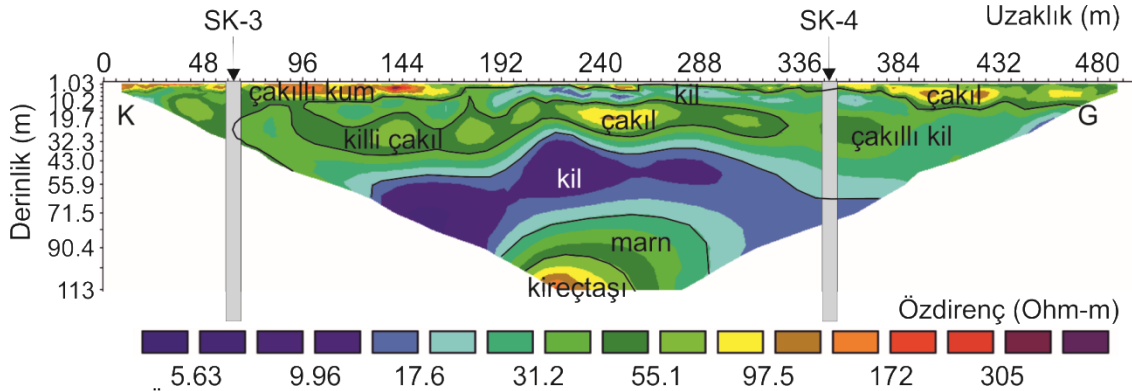
Şekil 7. EÖT-2 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç modeller (Kesitlerin düşey eksen derinliklerinin farklı olduğuna dikkat ediniz) (Resistivity models obtained from the inversion of the data measured along the ERT-2 profile (Note that the vertical axis depths in the sections are different))

EÖT-3 profiline ilişkin EÖT kesiti Şekil 8'de görülmektedir. Ters çözüm modeli, 5 iterasyon ve %4.96 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 4.49 Ωm ve en yüksek özdirenç ise 896 Ωm olarak hesaplanmıştır. B-D doğrultulu EÖT-3 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölge çakıl, kil istifine, kesitin sol ve sağ bölümlerinde yüzeye yakın sarı-yeşil renkli bölgeler killi çakıla, onun altında mercer şeklinde yeşil renkli bölgeler çakıl tabakasına, onun altında 70 m derinliğe kadar uzanan mavi-yeşil renkli bölge killi çakıl tabakasına, kesitin orta kısmında mercer şeklindeki mavi renkli bölgeler kil tabakasına ve onun altında kesitlerde en altta gözlenen yeşil bölge marn-kireçtaşı araldanmasına karşılık gelmektedir. SK-2 sondajına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.



Şekil 8. EÖT-3 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model (Resistivity model obtained from the inversion of the data measured along the ERT-3 profile)

EÖT-4 profiline ilişkin EÖT kesiti Şekil 9'da görülmektedir. Ters çözüm modeli, 3 iterasyon ve %12.06 RMS hatası ile elde edilmiştir. Özdirenç ters çözüm modelinde en düşük özdirenç 6.65 Ωm ve en yüksek özdirenç ise 423.91 Ωm olarak hesaplanmıştır. K-G doğrultulu EÖT-4 kesitine göre; yüzeyin altında sarı-kırmızı renkli bölgeler kum, çakıl, kil istifine, altında geniş bir alanı kapsayan mavi-yeşil renkli bölgeler kil ve yer yer çakıllı kile, kesitin orta bölgesinde yeşil-sarı bölgeler çakıl ve killi çakıl tabakasına, altında yaklaşık 85 m derinliğe kadar uzanan mavi renkli bölge kalın bir kil tabakasına ve kesitlerde en alttaki yeşil-kırmızı bölge kireçtaşına karşılık gelmektedir. SK-3 ve SK-4 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve marn-kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, bu kesitte gözlenen çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.



Şekil 9. EÖT-4 profili boyunca ölçülen verilerin ters çözümünden elde edilen özdirenç model (Resistivity model obtained from the inversion of the data measured along the ERT-4 profile)

4. Sonuç ve Öneriler (Conclusions and Recommendations)

Saha DES ve EÖT araştırma sonuçları, sondajlardan elde edilen litolojik bilgiler ışığında yorumlanmıştır. DES verilerinden, 20 Ωm özdirençine kadar olan birimin kil tabakasına, 20-50 Ωm aralığının killi kumlu çakıllı birimlere karşılık geldiği ve bunların yeraltı suyu bulundurmada birlikte daha derindeki kireçtaşı birimlerinin (özdirenç $>50 \Omega\text{m}$) akifer özellikte olduğu açıktır. Sondajlardan statik yeraltı suyu seviyesi 27-38 m derinlik aralığında yer alan çakıl-kil tabakaları sınırına karşılık gelmektedir. Kuyu geliştirme sonunda dinamik su seviyesi 74-82 m derinliklerinde ve dolayısıyla kireçtaşı birimlerine karşılık gelmektedir.

Pol-pol EÖT kesitleri dipol-dipol kesitlerine göre daha derinden bilgi sağladı ve dolayısıyla derin akifer oluşturabilecek jeolojik yapılar gözlenmiş oldu. Dipol-dipol kesitlerinde orta bölgede yaklaşık 30 m ile 85 m derinlik aralığında gözlenen düşük özdirençli bölge (kil tabakası), pol-pol kesitlerinde de açıkça görülmüştür. Pol-

pol kesitlerinde bu derinlikten sonra nispeten daha yüksek özdirençli akifer özellikteki kireçtaşı gözlenmiştir. B-D doğrultulu EÖT-1 kesitine göre, yüzeyden derine doğru kil, kum, çakıl ar dalanması yaklaşık olarak 90 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında kireçtaşı bulunmaktadır. B-D doğrultulu EÖT-3 kesitine göre, çakıl, kil ar dalanması yaklaşık olarak 70 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında marn-kireçtaşı ar dalanması vardır. SK-1 ve SK-2 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve kireçtaşından gelmektedir. K-G doğrultulu EÖT-4 kesitine göre, kum, çakıl, kil ar dalanması yaklaşık olarak 85 m derinliğe kadar uzanmakta olup, altında kireçtaşı devam etmektedir. SK-3 ve SK-4 sondajlarına göre yeraltı suyu çakıllı birimlerden ve marn-kireçtaşından gelmektedir. Dolayısıyla, tüm bu EÖT kesitlerinde gözlenmiş çakıllı birimler ve özellikle kireçtaşı, yeraltı suyu sağlamada iyi bir akifer özelliğe sahiptir.

Çıkar Çatışması (Conflict of Interest)

Yazarlar tarafından herhangi bir çıkar çatışması beyan edilmemiştir. No conflict of interest was declared by the authors.

Kaynaklar (References)

- Aksever F., 2019. Hydrogeochemical characterization and water quality assessment of springs in the Emirdağ (Afyonkarahisar) basin, Turkey. *Arabian Journal of Geosciences*, 12: 780, <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4942-7>.
- Anon, 1997. Groundwater Storage. co. portage.wi.us, p.1. Available at: <http://www.co.portage.wi.us/groundwater/undrstnd/aquifer.htm>.
- Barker R., 1981. The offset system of electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable. *Geophys Prospect* 29:128-143.
- Dahlin, T., 1993. On the automation of 2D resistivity surveying for engineering and environmental applications. PhD Thesis. Department of Engineering Geology, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden. ISRN: LUTVDG/TVTG1007SE. ISBN 9162810324, 187 pp
- Fitterman, D.V., Stewart, M.T., 1986. Transient electromagnetic sounding for groundwater. *Geophysics*, 51(4), pp.995-1005.
- Griffiths, D. H., Barker, R. D., 1993. Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology, *Journal of Applied Geophysics*, 29, 211-226.
- Kalisperi D., Soupios P., Kouli M., Barsukov P., Kershaw S., Collins P., Vallianatos F., 2009. Coastal aquifer assessment using geophysical methods (TEM, VES), case study: Northern Crete, Greece, 3rd IASME/WSEAS international conference on geology and seismology (GES '09) Cambridge, UK, 24-26 February 2009
- Lashkaripour, G.R., 2003. An investigation of groundwater condition by geoelectric resistivity method: a case study in Korin aquifer, Southeast Iran. *J. Spatial Hydrol.* 3(1), 1-5.
- Lashkaripour G.R., Ghafoori M., Dehghani A., 2005. Electrical resistivity survey for predicting Samsor aquifer properties, Southeast Iran. *Geophysical Research Abstracts*, European Geosciences Union 7, 1-5.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996a. Rapid least squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi Newton method. *Geophys Prospect* 44, 131-152.
- Loke M.H., Barker R.D., 1996b. Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion. *Geophys Prospect* 44, 499-523.
- Loke, M.H., 2020. Tutorial : 2-D and 3-D electrical imaging surveys. www.geotomosoft.com.
- Oseji J.O., Asokhia M.B., Okolie E.C., 2006. Determination of groundwater potential in Obiaruku and environs using surface geoelectric sounding. *Environmentalist* 26, 301-308
- Sahu P.C., Sahoo H., 2006. Targeting groundwater in tribal dominated Bonai area of drought-prone Sundargarh District, Orissa, India. A combined geophysical and remote sensing approach. *J Hum Ecol*, 20, 109-115.
- Shankar K.R., 1994. Affordable water supply and sanitation. In: *Groundwater exploration 20th WEDC Conference Colombo, Sri Lanka*, 1994, 225-228.
- Soupios P., Kouli M., Vallianatos F., Vafidis A., Stavroulakis G., 2007. Estimation of aquifer parameters from surficial geophysical methods. A case study of Keritis Basin in Crete. *J Hydrol* 338, 122-131
- Stamplididis A., Tsourlos P., Soupios P., Mimides T.H., Tsokas G., Vargemezis G., Vafidis A., 2005. Integrated geophysical investigation around the brackish spring of Rina, Kalimnos Isl, SW Greece. *J Balk Geophys Soc* 8(3), 63-73.
- Zohdy, A.A., Eaton, C.P., Mabey, D.R., 1974. Application of surface geophysics to groundwater investigation. *Tech. Water Resources Investigation*, Washington, U.S Geological Survey, pp. 2401-2543.
- Zohdy, A. A. R., 1989. A new method for the automatic interpretation of Schlumberger and Wenner sounding curves, *Geophysics*, 54, 2, 245-253.