



## Kozaklı (Nevşehir) jeotermal alanındaki obrukların jeofizik yöntemler kullanılarak belirlenmesi

### Investigation of sinkholes in Kozaklı (Nevşehir) geothermal field using geophysical methods

Halil Bölük<sup>1,\*</sup> , Mustafa Afşin<sup>2</sup> , Murat Kavurmacı<sup>3</sup> , Mutluhan Akın<sup>4</sup> 

<sup>1,2,3</sup>Aksaray Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 68100, Aksaray

<sup>4</sup>Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 50300, Nevşehir

#### Öz

Bu makalede, Orta Anadolu'da radon gazları ve çamurla tedavinin gerçekleşebildiği en önemli termal turizm merkezlerinden birisi olan Kozaklı (Nevşehir) jeotermal alanında 2007 ve 2018 yıllarında meydana gelmiş iki obruğun bulunduğu sahada olası diğer obruklar çok elektrotlu öz direnç yöntemi ve yapılan karotlu sondajlarla araştırılmıştır. Jeotermal suların birincil akiferi Paleozoyik yaşlı mermerler, ikincil akiferi Eosen yaşlı kireçtaşları; örtü kayaları ise alandaki geçirimsiz birimlerdir. Jeotermal sular, jeotermal gradyan, granitik sokulumlar ve radyojenik yollarla ısınmaktadır. Jeotermal su kaynaklarına ait kuyuların derinlikleri, sıcaklıkları ve pH değerleri sırası ile 60 – 1493 m, 45 – 96°C ve 6.22 – 6.61 arasında değişim gösterir. Çöküntü yapılarının boyutlarını belirleyebilmek için iki boyutlu elektrik öz direnç yöntemi ile 15 – 30 m derinliklerin incelendiği jeofizik çalışmalarda, obrukların çevresinde yüzey kırıkları, yaklaşık 20 m doğudaki aktif karayolunda bir çökme yapısı ve obruğun etrafında özellikle doğusunda ve kuzeyinde boşluklu yapıda traverten tespit edilmiştir. Karotlu sondajlarla elde edilen loglarla bu veriler doğrulanmıştır. Bu bulgular bölgede karstlaşma sürecinin devam ettiğinin bir göstergesidir.

**Anahtar kelimeler:** Jeofizik, Jeotermal alan, Karstlaşma, Kozaklı, Obruk

#### 1 Giriş

Obruklar, hipojenik karstlaşmanın neden olduğu genellikle dairesel şekilli dev çöküntü yapılarıdır. Çap ve derinlik olarak onlarca metreden yüzlerce metreye kadar farklı boyutta olabilirler. Çoğu karstik alanlara özgü olan obruklar ve buna bağlı olarak gelişen jeomorfolojik yapılar Türkiye'de oldukça sık gözlenir. Konya Kapalı Havzası (KKH) Obruk Platosu'nda, sayıları güncel olarak artmaya devam eden yüzlerce obruk mevcuttur [1]. Obruk oluşum süreci, bölgenin özellikle jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak gelişir. Bu tür karstik yapılar daha çok kireçtaşı, mermer, dolomit, traverten gibi çözünebilen

#### Abstract

In this article, the temporal and spatial development of probable sinkholes in the close vicinity of a couple of sinkholes that occurred in 2007 and 2018 in the Kozaklı (Nevşehir) geothermal field, which is one of the most important thermal tourism centers where treatment with radon gases and mud can be carried out in Central Anatolia, was investigated using the multi-electrode resistivity method and core drilling data. The primary geothermal water aquifer consists of Palaeozoic aged marbles, the secondary Eocene aged limestone aquifer and cover rocks are the impermeable units of the area. Geothermal waters gain heat by geothermal gradient, granitic intrusions, and radiogenic ways. The depths, temperatures, and pH values of the wells belonging to geothermal water resources vary between 60 and 1493 m, 45 and 96 °C, as well as 6.22 and 6.61, respectively. Two-dimensional electrical resistivity methods were used to determine the dimensions of the collapse structures. In the geophysical studies examining the depths of 15-30 meters, surface fractures around the sinkhole, a subsidence structure nearby the active highway approximately 20 meters to the east, travertine was found around the pothole, especially in the east and north of the hollow structure. This data verified with log data obtained from core drilling. These findings are indicators for the ongoing karstification process.

**Keywords:** Geophysicsc, Geothermal field, Karstification, Kozaklı, Sinkhole

karbonatlı kayaçların buldukları alanlarda meydana gelirler.

Karstlaşma, kireçtaşı, mermer ve dolomitin dışında jips, anhidrit, halit ve kuvarsit gibi kayaçlarda da gerçekleşebilmektedir [2]. Çözünebilen ve çözünemeyen kayaçlar arasındaki dokanaklar karst gelişimi için uygun yerlerdir. Yeraltı suyunun kimyası, fiziksel özellikleri ve gaz içeriği de karstik yapıların oluşumunda etkilidir.

Obruklar, hipojenik karstlaşmanın neden olduğu genellikle dairesel şekilli dev çöküntü yapılarıdır. Çap ve derinlik olarak onlarca metreden yüzlerce metreye kadar farklı boyutta olabilirler. Çoğu karstik alanlara özgü olan obruklar ve buna bağlı olarak gelişen jeomorfolojik yapılar Türkiye'de oldukça sık gözlenir. Konya Kapalı Havzası

\* Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: (halilboluk@gmail.com) (H. Bölük)

Geliş / Received: 25.06.2022 Kabul / Accepted: 15.08.2022 Yayınlanma / Published: 14.10.2022

doi: 10.28948/ngumuh.1135619

(KKH) Obruk Platosu'nda, sayıları güncel olarak artmaya devam eden yüzlerce obruk mevcuttur [1]. Obruk oluşum süreci, bölgenin özellikle jeolojik ve hidrojeolojik özelliklerine bağlı olarak gelişir. Bu tür karstik yapılar daha çok kireçtaşı, mermer, dolomit, traverten gibi çözünebilir karbonatlı kayaların buldukları alanlarda meydana gelir.

Karstlaşma, daha çok ana kaya yüzeyinde gerçekleşen asitliği düşük ortamlarda meydana gelen kimyasal süreçler tarafından yönetilmektedir [2, 3]. Çözünürlüğü arttıran faktörler ise suyun hızlı akması ve ortamın çalkantılı olmasıdır. [4]. Ayrıca, karstlaşmanın meydana gelmesinde ve devam etmesinde CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi gazların etkisi de önemlidir. Örneğin, CO<sub>2</sub>, atmosferik sularla karbonik asit meydana getirerek bu suların daha çözücü bir özellik kazanmasını sağlar. [1, 2, 4-6]. Bu sayede yeraltı suyu çözünmeye uygun kayalarda boşluklar oluşturur ya da mevcut boşlukların büyümesine sebep olur. Yeraltı suyunun azalması iç basıncı düşürür ve örtü tabakasının uyguladığı basınç görevi olarak artmış olacağından gevşek tutturulmuş örtünün çökmesine yol açar. Eğer örtü tabakasının kohezyonu yüksek ise, bu sefer örtünün dayanımına bağlı olarak çökme bir anda ve daha geniş bir alanda görülür. Çünkü karstik boşluk zamanla büyüyerek yüzeye yaklaşır ve boşluk tavanının kimyasal reaksiyonlarla erozyona uğrayıp zayıflamasına da sebep olur. Zamanla hem boşluk tavanı hem de örtü iç ve dış etmenler arasında denge bozulduğunda çökerek obruğu meydana getirir [7]. Obruk oluşumunu etkileyen çok sayıda aktif değişkenin olması bölgesel olarak çok farklı boyutlarda obruk oluşumlarının gelişmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı farklı obruk oluşumuna ilişkin çok sayıda kavramsal model bulunmaktadır. En çok kabul gören örtü (overburden) modelinde çözünebilir kayacın kum veya kil ile örtülü olmasına bağlı olarak, çöküntü farklı şekillerde oluşabilmektedir [3,8].

Mekanik özellikleri zayıf olan örtü kayalar bu süreçlerle büyüyen karstik boşlukları uzun süre örtemezler. Eğer örtü kilce zengin bir malzeme ise (kohezyonu yüksek), birimin aniden düşey yönde düşmesi ile örtü çöküntüsü (cover collapse) meydana gelir [3]. Bu tür çöküntüler genellikle zemin-kaya sınırında ve muhtemelen daha önce var olan bir karstik boşlukla (paleokarst) ilişkili olarak gerçekleşir [9]. Üstteki geçirimsiz zengin kohezyonlu zemin, eğer duraylı şartlarda değişim meydana gelmezse, alttaki boşluklu kayanın çatısında denge halinde kalır. Fakat, boşluklar genişlediğinde zemini oluşturan birim yenilir ve aniden obruk oluşur [3].

Kozaklı Jeotermal Alanı'nda (KJA) 14.01.2007 tarihinde Kozaklı'da Kaplıcalar bölgesinde oluşan çökme olayı sonucu yaklaşık 40 m çaplı, 10-12 m derinlikli dairesel bir çukur meydana gelmiş ve içerisinde 7 m sıcak su seviyesi olduğu görülmüştür [10]. Kaplıcalar bölgesinin ortasında meydana gelen obruk, yöre halkını ve termal turizmi olumsuz olarak etkilemekte ve endişelere neden olmaktadır. Afşin vd. [11] çöküntüyü tetikleyen asıl faktörün jeotermal suların aşırı çekimi olduğunu ifade etmişlerdir. Pasvanoğlu vd. [12] aşırı su çekimi, yeraltı suyu seviyesinin hızlı düşümü ve karbonik asidin karstik boşluklara sebep olduğunu ve bunların üzerinde yer alan, marn-kilden içeren örtü biriminin çökmesine neden olduğunu belirtmiştir. 14 Eylül 2018

tarihinde ise bu çöküntünün 175 m GD'sunda ilçede sıkça kullanılan bir yol üzerinde 20 m çapında ve yaklaşık 18 m derinliğinde ikinci bir obruk endişeleri arttırmıştır.

Bu çalışma kapsamında, KJA içerisinde meydana gelebilecek diğer obrukların ve bölgesel karstlaşmanın boyutları jeofizik yöntemler kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır.

### 1.1 Çalışma alanı

İnceleme alanı, İç Anadolu Bölgesi'nde 34° 49' ve 34° 52' doğu boylamları ile 39° 14' ve 39° 11' kuzey enlemleri arasında yer alır (Şekil 1). Bölgenin ortalama yıllık sıcaklığı 11.3 °C, ortalama yıllık yağış miktarı ise 428 mm.'dir. Kozaklı bölgesinde en fazla kar Ocak ayında yağmakta olup, ortalama kar yağışı 79 mm düzeyindedir. KJA, su sıcaklığı 27°C ve 93°C arasında değişen çok sayıda jeotermal kaynağa sahiptir ve ülkemizin en önemli jeotermal turizm alanlarından birisidir.

KJA'da güncel bilgilere göre farklı derinliklerde 30 adet jeotermal kuyu bulunmaktadır. Kuyuların derinlikleri 70 m ile 1493 m, sıcaklıkları 30 °C ile 105 °C ve debileri 1,5 L/s ile 95 L/s arasında değişmektedir [13]. Bu sondajlardan elde edilen akışkanlar konutların ısıtılmasında, seracılıkta ve termal turizm amaçlı olarak kullanılmaktadır. Kozaklı ilçe merkezinde son 15 yılda iki farklı karstik çöküntü (obruk) oluşmuştur. 2018 yılında sonradan oluşan ikinci obruk Kozaklı belediyesi tarafından doldurularak kapatılmış, diğer obruk alanında ise çevre düzenlemesi yapılmıştır (Şekil 2).

## 2 Materyal ve metod

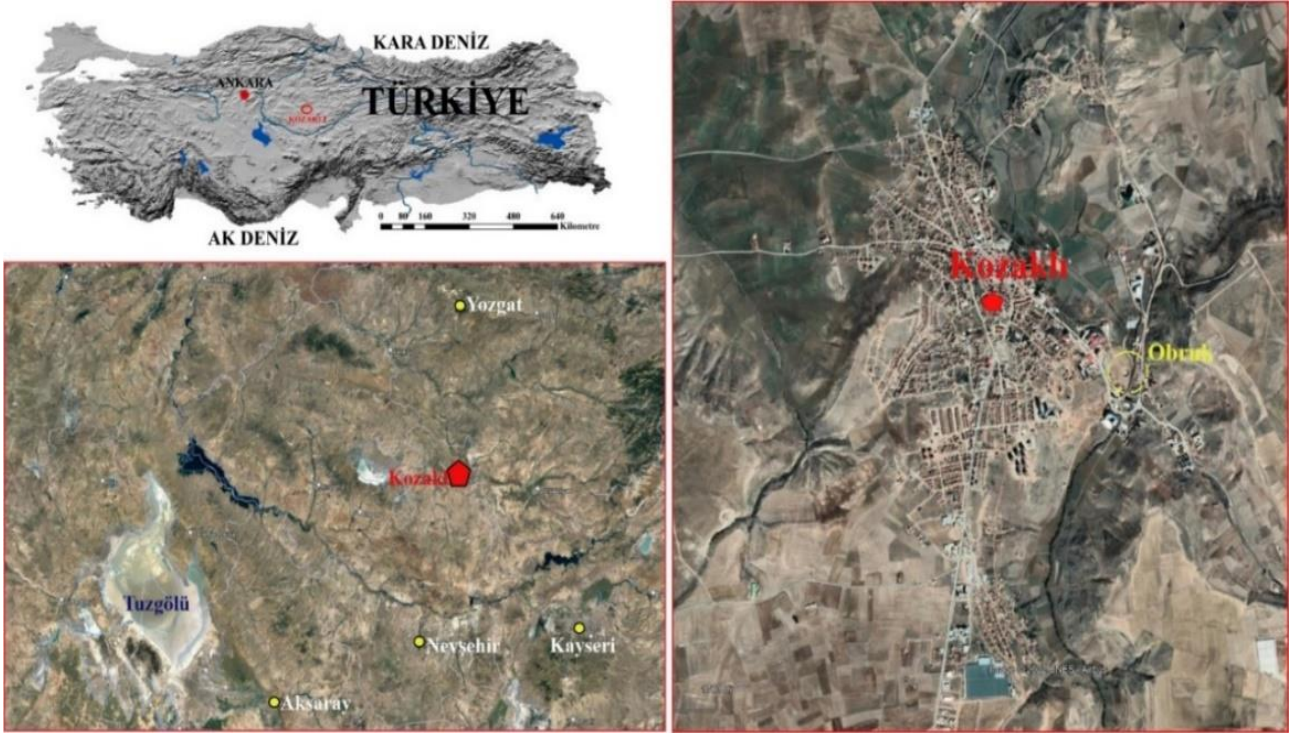
Bu çalışmada obruk çevresindeki karstik boşluklar hem jeofizik yöntemlerle hem de karotlu sondajlarla ortaya konulmuş, karotlu sondajlar elde edilen kesitler üzerine yerleştirilerek, profilin diğer kısımlarının daha anlamlı yorumlanmasına katkı sağlamıştır.

### 2.1 Jeofizik yöntemler

Elektrik özdirenç çalışmaları halen jeofizik araştırmalarda en çok tercih edilen yöntemlerden birisidir [14]. Obruk oluşumları için elektrik özdirenç ya da elektriksel iletkenlik önemli bir parametreyi teşkil etmektedir. Her bir kayacın, hatta aynı kayacın farklı jeoteknik durumlarının farklı elektrik özdirenç değerleri vardır [15].

Bu çalışmaların amacı, yeryüzünden yapılan potansiyel fark ölçümleriyle yeraltındaki katmanların derinlik ve görünür özdirenç bilgilerinin elde edilmesidir. Bu yöntemde, yüzeyde iki farklı noktadan elektrik akımı uygulanır ve seçilen yöntemle göre konumlandırılmış diğer iki nokta arasındaki gerilim farkı ölçülmektedir. Elektrik akımın yere yönlendirildiği noktalar "akım elektrotları" ve potansiyel farkın elde edildiği elektrotlar ise "gerilim elektrotları" olarak adlandırılır. Akım elektrotlarının arasındaki uzaklık incelenmek istenilen derinlikle doğru orantılı olacak şekilde hesaplanır. Bu sayede farklı derinliklerdeki birimlerin özdirenç değerleri ölçülebilir ve anomaliler ortaya konabilir. [16].





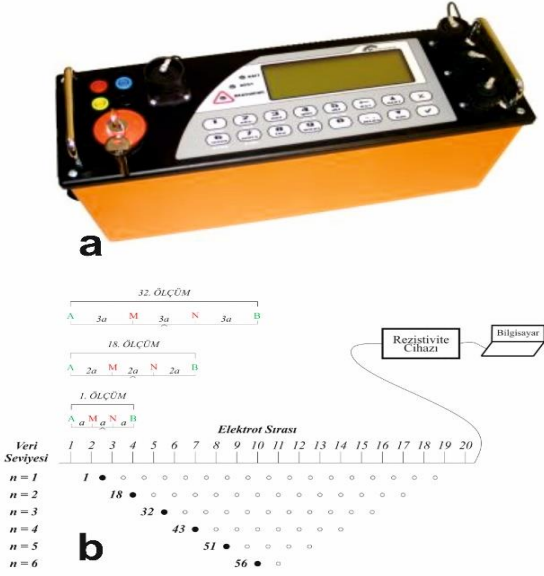
Şekil 1. Çalışma alanının yerbulduru haritası



Şekil 2. İnceleme alanında oluşan obrukların genel görünümü



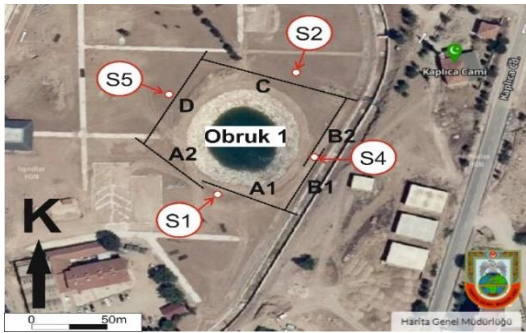
Elektrotların dizilimi yatayda farklı noktalardan ve farklı sıralamalarla uygulanarak, yeraltına ait iki ve üç boyutlu veriler toplanabilmektedir. Bu çalışmada, GF Instruments şirketinin ürettiği ARES model otomatik öz direnç cihazı ile wenner – alfa dizilimi kullanılarak alınan 2 boyutlu ölçümler (Şekil 3a) yine bu şirketin sağladığı RES2DINV programı ile yorumlanmıştır (Şekil 3b). Ölçümler, Obruk -1 çevresinde olası fayları kesebilmek amacıyla GD – KB ve GB – KD gidişli profiller şeklinde alınmıştır (Şekil 4).



Şekil 3. a) ARES çok kanallı öz direnç cihazı b) 2B öz direnç çalışması için elektrotların düzenlenmesi [15].

## 2.2 Karotlu sondajlar

Jeolojik saha gözlemleri ve jeofizik çalışmaların tamamlanmasının ardından belirlenen noktalardan karotlu sondaj çalışması yapılarak jeofizik modelin daha anlamlı yorumlanması sağlanmıştır (Şekil 5a). Bu amaçla Obruk-1 çevresinde 4 noktadan yapılan sondajlardan karotlar alınmıştır (Şekil 5b). Sondajlarda çift tüplü karotiyer ile 22 m – 30 m derinliklerine inilmiş, 2 – 10 m toprak ve organikçe zengin bir zon (eski bataklık) ardından travertene girilmiş, 10 – 20 m arasında değişen kalınlıkta traverten kesildikten sonra tutturulmamış yeşil, kahve renkli çamur, kil, silt, kum boyu malzemeden oluşan bir seviyede sonlandırılmıştır.



Şekil 4. İnceleme alanında yürütülen jeofizik çalışmalar ve sondaj yerleri.

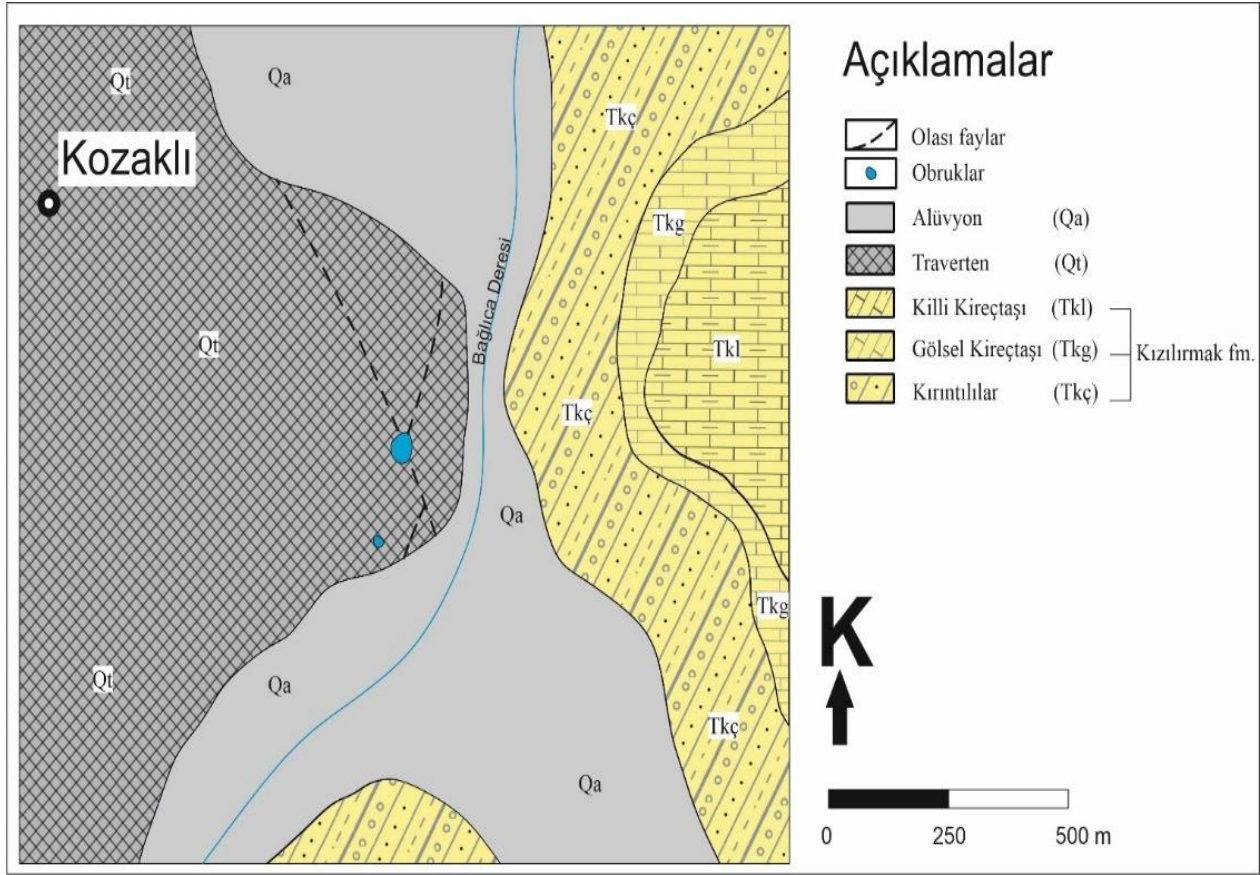


Şekil 5. a) Obruk -1 çevresinde yapılan sondaj çalışması b) Alınan karotların görünümü

## 2.3 Jeolojik özellikler

Çalışma alanında yüzeyde izlenmeyen fakat bölgesel jeoloji ve derin sondajlar incelendiğinde KJA'nın temelinde Kırşehir masifine ait Paleozoyik yaşlı gnays, şist, mermer ardalımalı metamorfik kayalar bulunduğu bilinmektedir [17, 18]. Granit, granodiyorit ve monzonitlerden oluşan granitoyitler bu metamorfikleri kesmiştir [17]. Üst Kampaniyen'den den itibaren günümüze kadar ise temel birimlerinin üzerine farklı dönemlerde karasal ve denizel örtü birimleri çökelmiştir. [18]. Karasal birimler çoğunlukla ardalımalı dereceli geçişli çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası ve marnlardan oluşur. Çalışma alanı ve çevresinde Üst Eosen - Oligosen aralığı görsel kireçtaşları, karasal kırıntılılar ve evaporitlerle temsil edilir [17]. Masifin üst seviyelerinde bulunan mermerler sahip oldukları kırık sistemleri ve boşluklar sebebiyle hazne kaya özelliği gösterir ve KJA'da birinci akiferi oluşturur [19]. İkincil akifer ise Tersiyer yaşlı kireçtaşlarıdır [10,20,21].

İnceleme alanında üç farklı birim yüzeylenmiştir. Bunlar, Çok geniş bir alana yayılım göstermiş olan Kızılırmak formasyonu, traverten ve alüvyondur (Şekil 6). Kızılırmak formasyonu kırmızı, kahve ve gri renk sunan, geçişli tutturulmuş, çakıllı, kumlu, yer yer de mercerler şeklinde tüf, sert kireçtaşı ve kumtaşı içeren çamurtaşlarından meydana gelir. Kumtaşları, genelde kaba taneli, kötü boylanmış, orta kalınlıkta tabakalanma gösteren seviyeler halinde gözlenmektedir. Açık renkli seviyeler düşük dayanıma sahip olup kolay kırılırken, kırmızımsı olanlar ise sert ve yüksek dayanıma sahiptirler.



Şekil 6. İnceleme alanının jeoloji haritası

Çakıltaşları içerisinde mermer ve kireçtaşı çakılları içermekte ve kumtaşlarına nazaran daha kalın tabakalar halinde görülmektedir. Kızılırmak formasyonunun orta seviyeleri bol kırıklı yer yer karstik boşluklu gösel kireçtaşları ile karakteristiktir (Şekil 7). Üst seviyelerinde killi kireçtaşı, marn seviyeleri ile temsil edilen birimin kalınlığı yaklaşık 150 m'dir [22]. Kızılırmak formasyonunun üzerine inceleme alanında geniş yayılım gösteren traverten ve alüvyon birim gelir. Travertenler jeotermal su çıkışlarına bağlı olarak tektonizmaya uyumlu olarak yerleşmiştir. İnceleme alanındaki travertenler birbiriyle kesin sınırlar içermese de iki farklı fasiyese ayrılmıştır. Daha masif halde gözlemlenen kalsit dolgulu travertenler nispeten daha masif yapılı, daha sert ve açık pembe renklidir (Şekil 8a). Boşluklu, daha zayıf dayanıma sahip olan, elle ufalanabilen ve daha koyu renkli olanlar ise aragonit dolgulu ya da boşlukları dolgusuzdur (Şekil 8b). Obrukların olduğu bölge inceleme alanındaki travertenlerin doğu sınırına yakın, travertenlerin üzerinde yer yer 1m'yi bulan, büyük bölümü peyzaj çalışmaları sırasında yerel yönetimler tarafından doldurulmuş örtü tabaka (tur), traverten kalınlığı yaklaşık 15-20m olup içerisindeki boşluklarda ve travertenin altında yeşil, gri renkli tutturulmamış kil, silt ve kum boyu malzeme gözlemlenmiştir [23].

### 3 Bulgular ve tartışma

İnceleme alanında ilk aşamada Selçuk [24]'e ait veriler değerlendirilmiş ve jeofizik ölçüm için hatlar belirlenmiştir.

İkinci aşamada ise belirlenen hatlar boyunca jeofizik ölçümler gerçekleştirilmiştir.

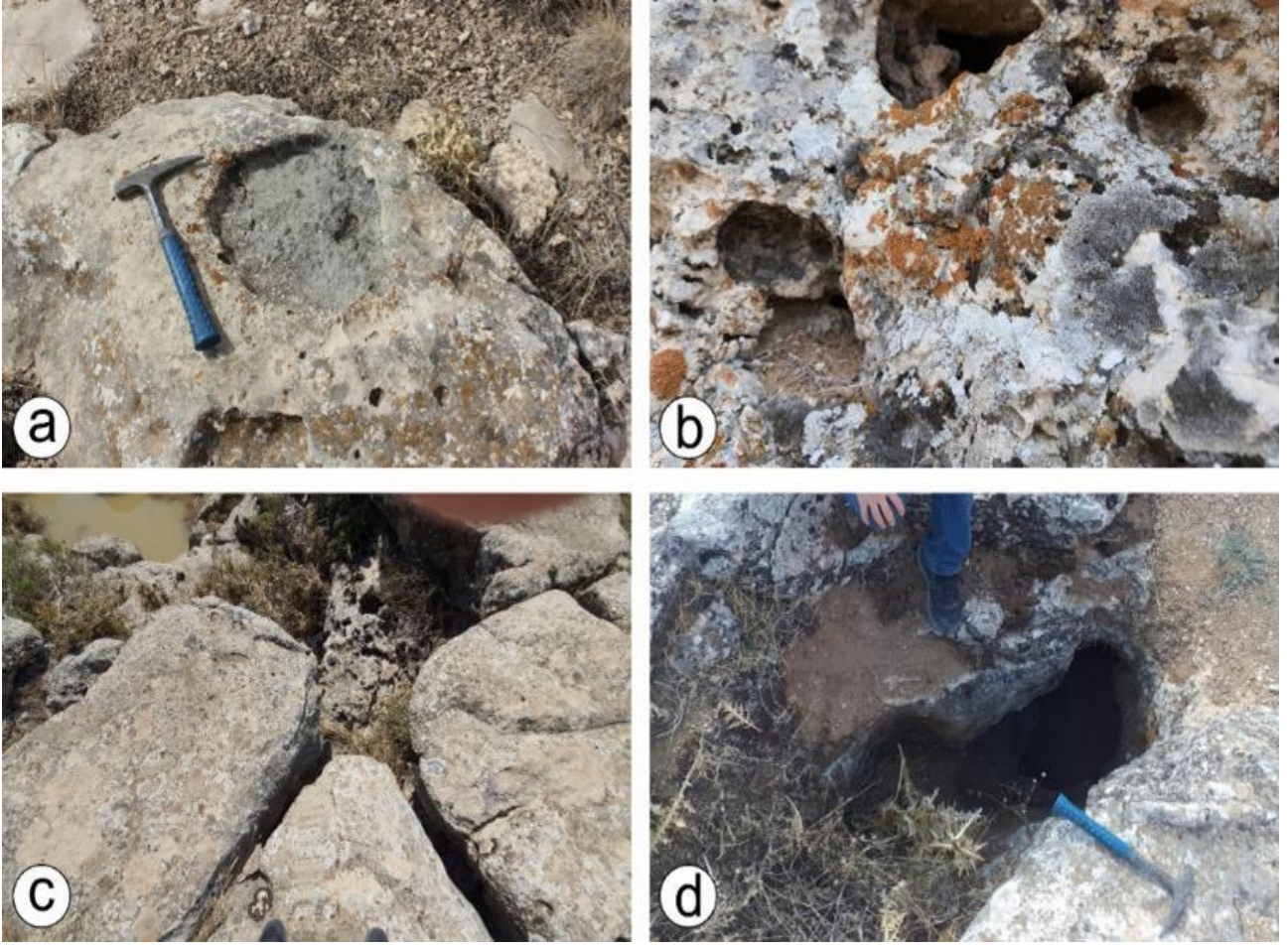
Selçuk [24] inceleme alanında öz direnç profil çalışmaları yapmıştır. Bunlardan öz direnç çalışmaları 3 hat üzerinde yapılmış, 5m elektrot aralığı ile ortalama 33 m derinliğe kadar inilebilmiştir. Üç profildeki anomali doğru konumlandırıldığında, KB-GD ve KD-GB gidişli süreksizlikler Obruk civarında kesişmiştir.

Ayrıca ERT 1 profilinin 120. m'sinde yaklaşık 30 m derinlikteki ve ERT 3 profilinin 80. m'sinde ve yine aynı derinliklerdeki göreceli olarak daha yüksek öz direnç anomalileri mevcuttur.

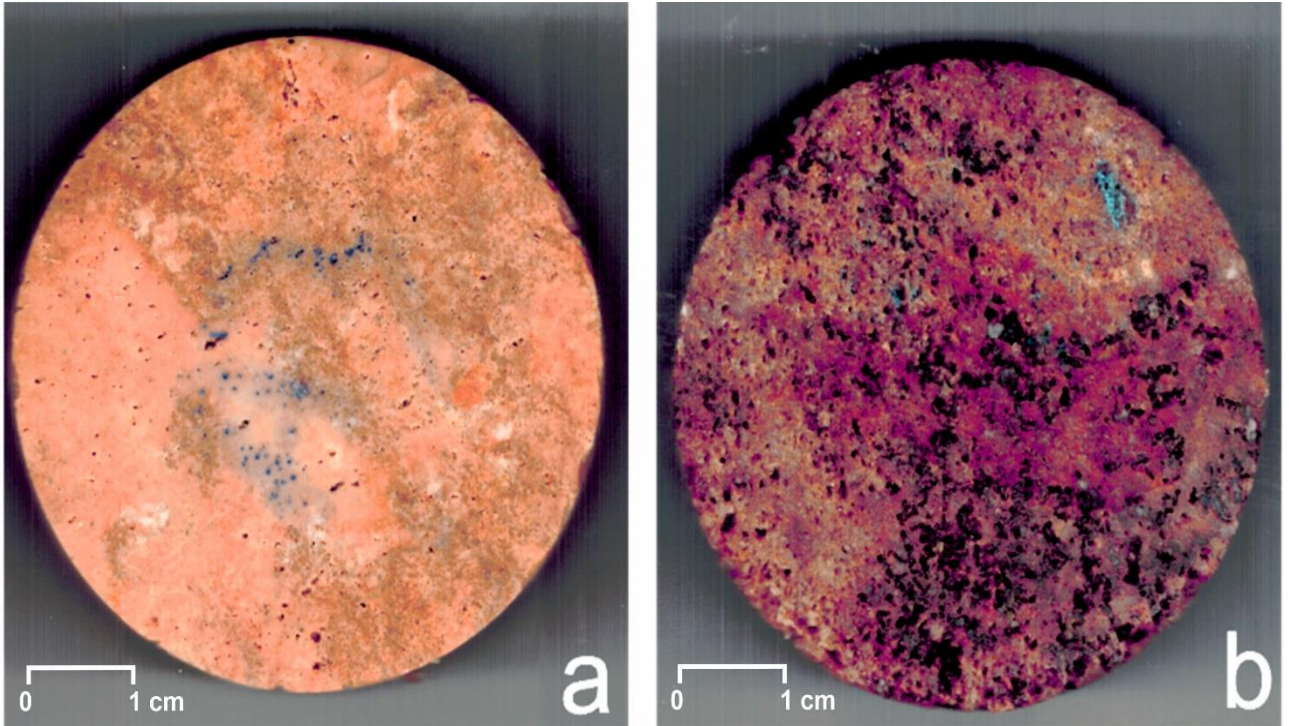
Dolayısıyla, yeraltı suyu seviyesinin 8-12 m olduğu obruk alanındaki beklenmeyen yüksek öz direnç değeri karstik boşluk şeklinde yorumlanabilir (Şekil 9). Jeofizik çalışmalardan beklenildiği gibi obruk K-G yönünde büyüme eğilimindedir. Obruk susuz halinde güney duvarında bir karstik boşluk gözlenmiştir [24].

Bu çalışma kapsamında ise benzer güzergâhlar üzerinde faylara ve kaynakların yönelimine dik olarak bu çalışmalar yenilenerek obruk alanının çevresindeki güncel durum ve değişimi incelenmiştir. Kesitlerin genelinde literatürde boşluk olarak değerlendirilebilecek yüksek öz dirençli zonlar görülmemekle birlikte kesitlerin değerlendirilmesinde jeolojik ve hidrojeolojik koşullar da göz önüne alınmalıdır.



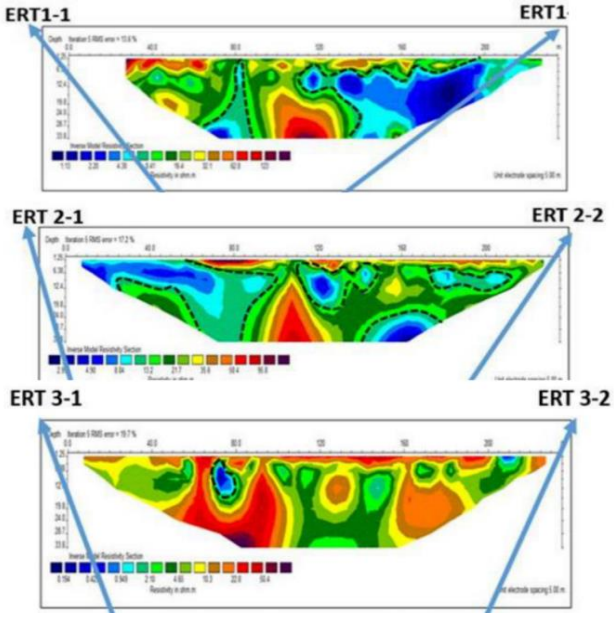


Şekil 7. İnceleme alanı ve çevresindeki karst yapıları: (a) tava, (b) huni, (c) karen ve (d) mağara



Şekil 8. Traverten örneklerinin dokularını gösteren makro fotoğrafları a) A tipi, b) B tipi





Şekil 9. Obruk-1 çevresinde yapılan öz direnç profilleri [24]

Hidrojeolojik saha çalışmalarında yeraltı su seviyesinin obruk çevresinde 4-6 m arasında ölçülmüştür. Jeotermal suların elektriksel iletkenliğinin obruk içerisinde yaklaşık 2000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , obruğa yakın kaynaklarda ise 6000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ 'den fazla olduğu gözlemlenmiştir. İletkenlik ile öz direncin ters orantılı olduğu bilindiğine göre bu değer jeofizik kesitlerde jeotermal suyla boşlukların 5 ohm.m'den daha düşük anomaliler göstermesi beklenir.

Şekil 10'da verilen kesitte (A1), KB'da, en üstte suya doygun ve çok düşük öz dirençli 4 m'ye kadar değişik

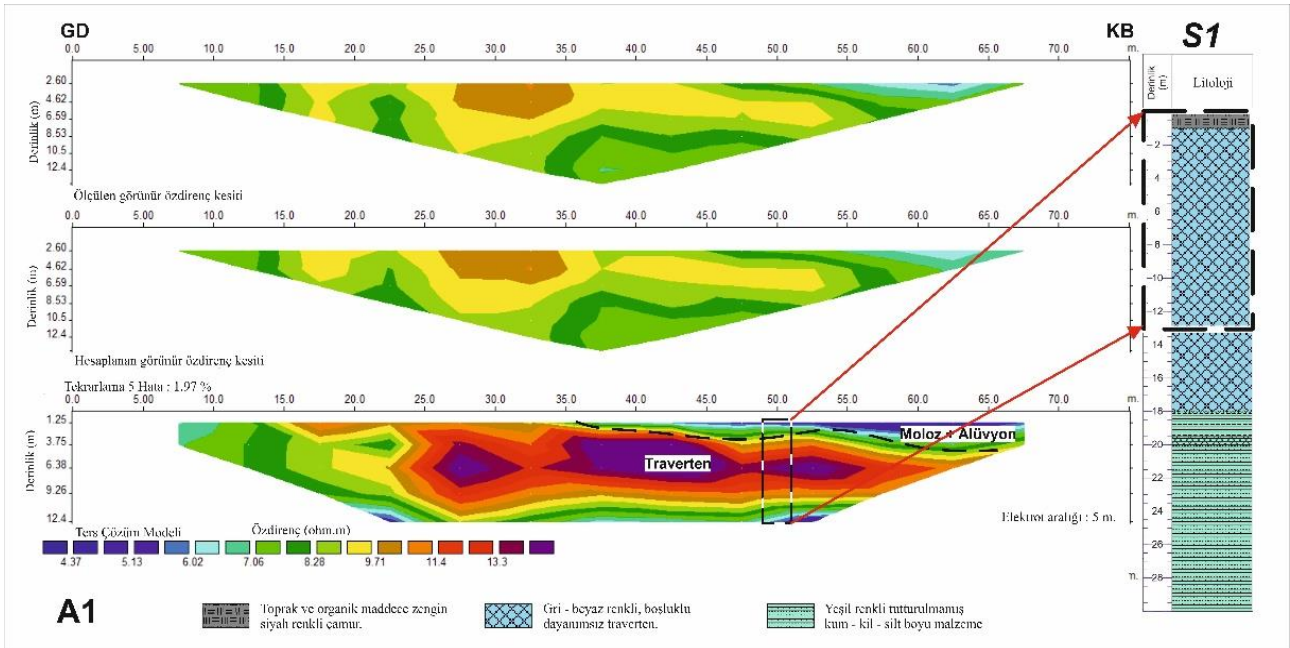
kalınlıkta bir toprak seviyesi, bu seviyenin altında ise az boşluklu (A Tipi) travertenlerin 10 – 12 metrelere kadar indiği, görülmektedir. Nitekim S1 sondajı, bu kesitte 50. metreye denk gelen noktadan yapılmış ve 18 metreye kadar traverten kesildikten sonra yeşil renkli tutturulmamış kum, kil, silt boyu malzemeye geçilmiştir. Jeofizik kesite bu denestirmeden sonra bakıldığında ise arazi gözlemleri ile uyumlu bir şekilde güzergahta travertenin 0 – 35 metre arasında yer yer yüzeyde görüldüğü, bazen de 30 – 40 cm'lik bir örtünün altında olduğu izlenmiştir.

A1 kesitinde en önemli husus 5 ohm.m civarındaki anomalilerin hem GD hem de KB uçlarında 12 m'nin altında yine görülmeye başlanmasıdır. Bu noktalar Selçuk [24]'daki ERT1 profilinde 120 m ile 150 m arasındaki alana düşmektedir ki açıkça bu alanın içi su dolu karstik bir boşluk olarak yorumlanabilir.

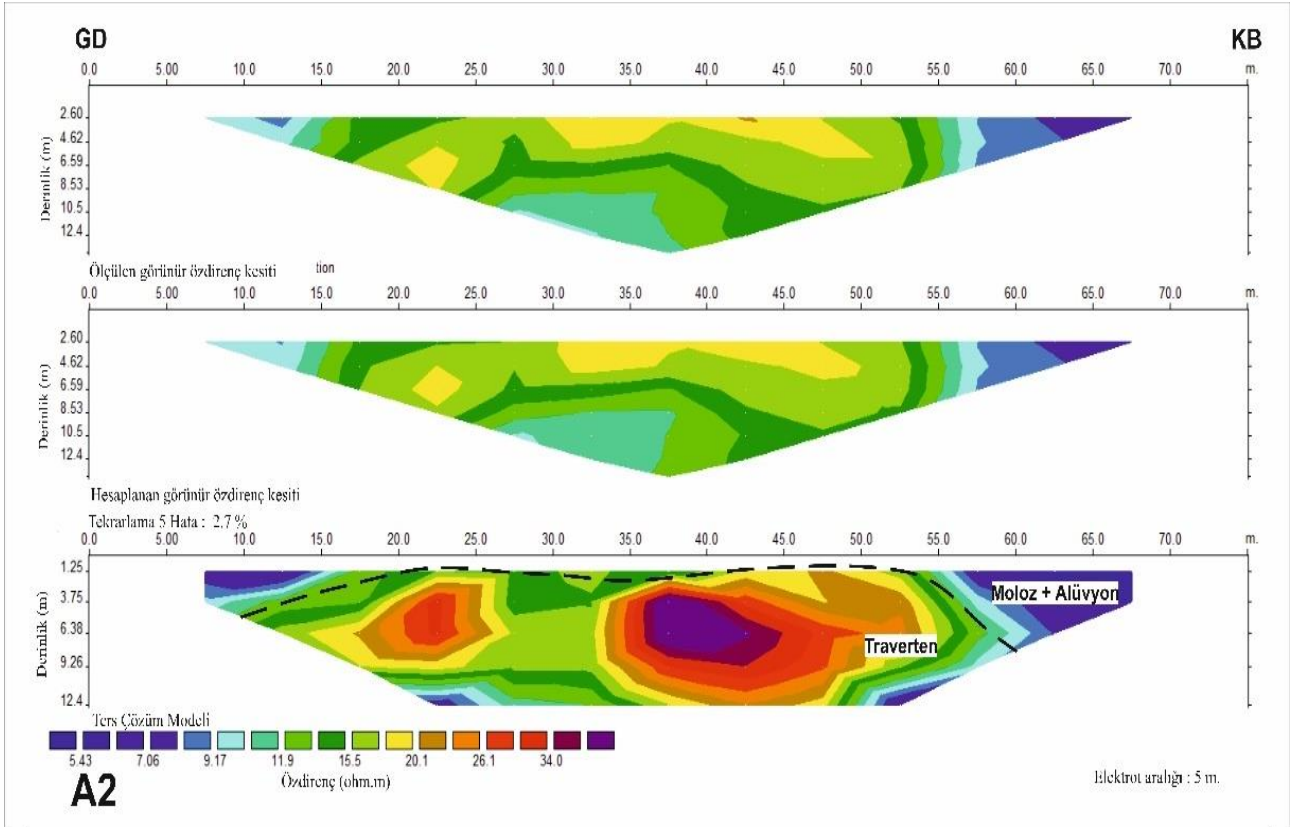
Arazi gözlemlerinde ve çalışmalarında obruk içerisinde profilin KB'sındaki düşük öz dirençli zona doğru bir devam eden bir boşluk olduğu gözlemlenmiş, bölgede çalışan belediye personelleri bu boşluğun içeri doğru (Obruk -2'ye doğru) devam ettiğini beyan etmiştir.

Şekil 11'de verilen kesit (A2) Şekil 10'daki kesitin KB'ya doğru devamı niteliğindedir. A2 kesitinde travertenin yatay devamlılığı 25 – 35 m aralığında kesilmiştir. Burası konum itibari ile de bakıldığında aslında KD- GB gidişli olası fayın izi olmalıdır. Bununla birlikte bir önceki kesitte yapılan 12m altı için düşük öz direnç zonları burada da görülmektedir.

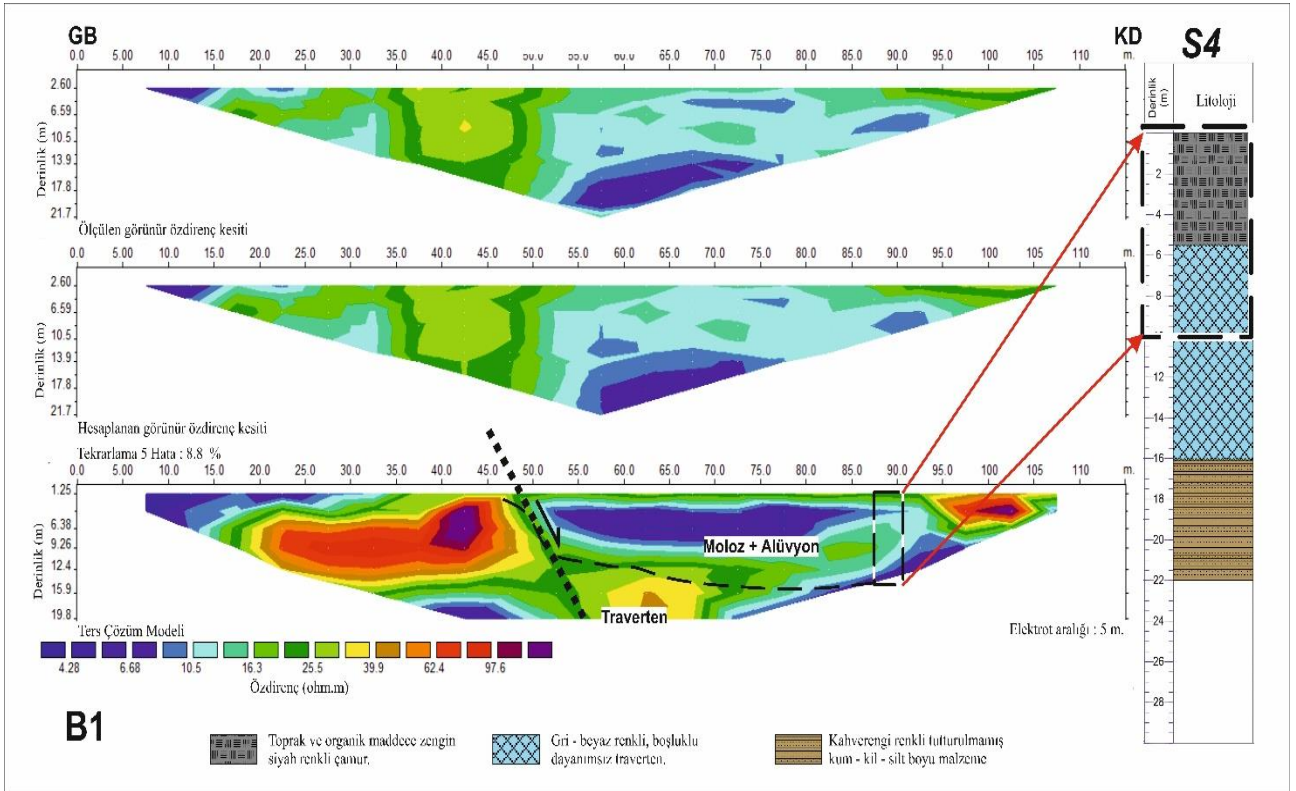
Şekil 12'de B1 profili ve S4 sondajı birlikte verilmiş ve sondajın kesit üzerindeki yeri gösterilmiştir. Anomali ve sınırların yorumu önceki kesitlere benzer olmakla birlikte, kesitin 50. metresinde travertenin bir düzlem boyunca düştüğü görülmektedir.



Şekil 10. A1 hattında ölçülen, hesaplanan ve modellenen görünür öz direnç kesiti ve S1 sondajının kesitteki yeri

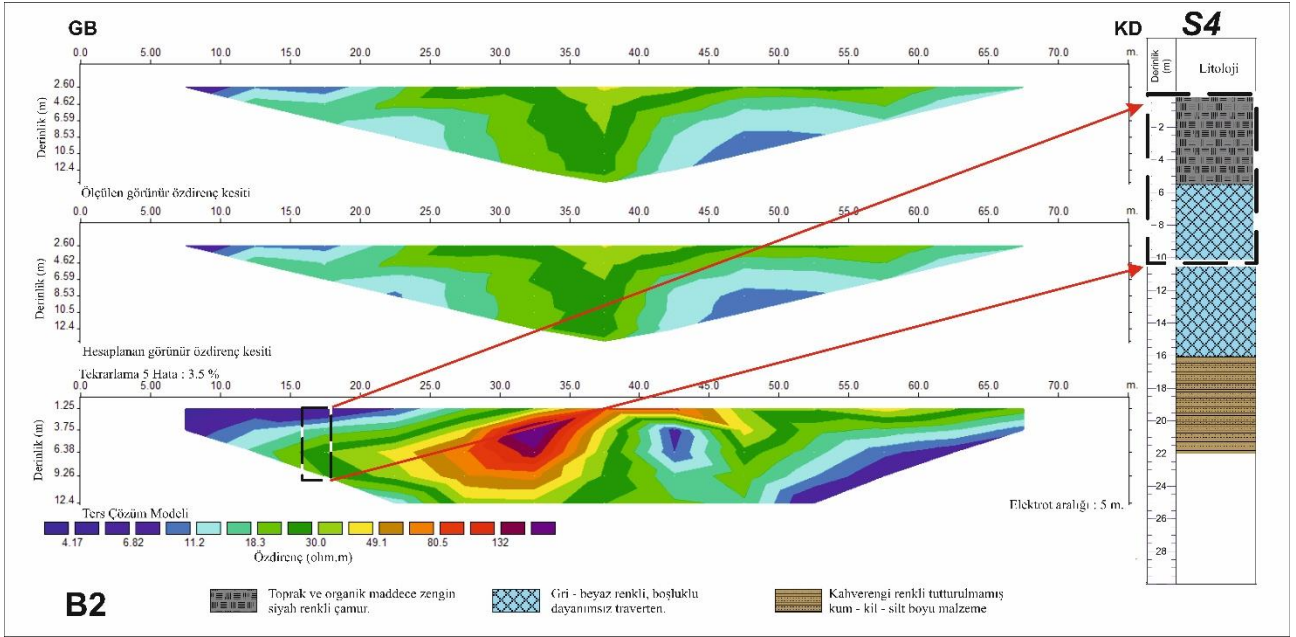


Şekil 11. A2 hattında ölçülen, hesaplanan ve modellenen görünür özdirerç kesiti

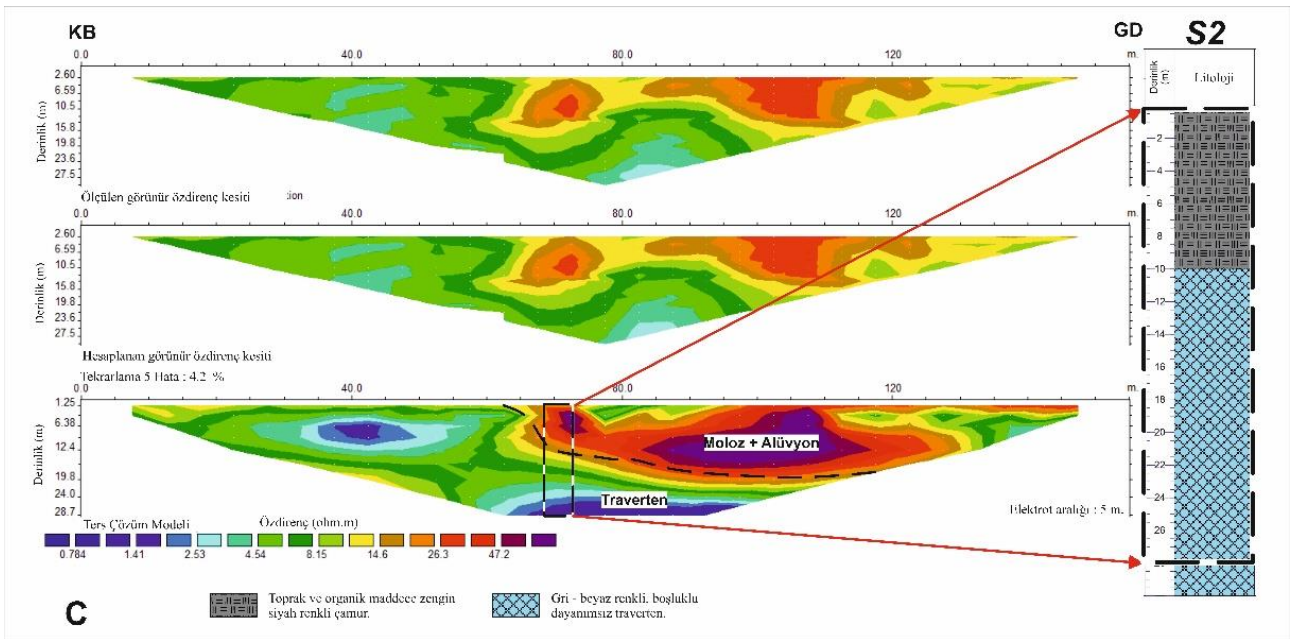


Şekil 12. B1 hattında ölçülen, hesaplanan ve modellenen görünür özdirerç kesiti ve S4 sondajının kesitteki yeri





Şekil 13. B2 hattında ölçülen, hesaplanan ve modellenen görünür öz direnç kesiti ve S4 sondajının kesitteki yeri



Şekil 14. C hattında ölçülen, hesaplanan ve modellenen görünür öz direnç kesiti ve S2 sondajının kesitteki yeri

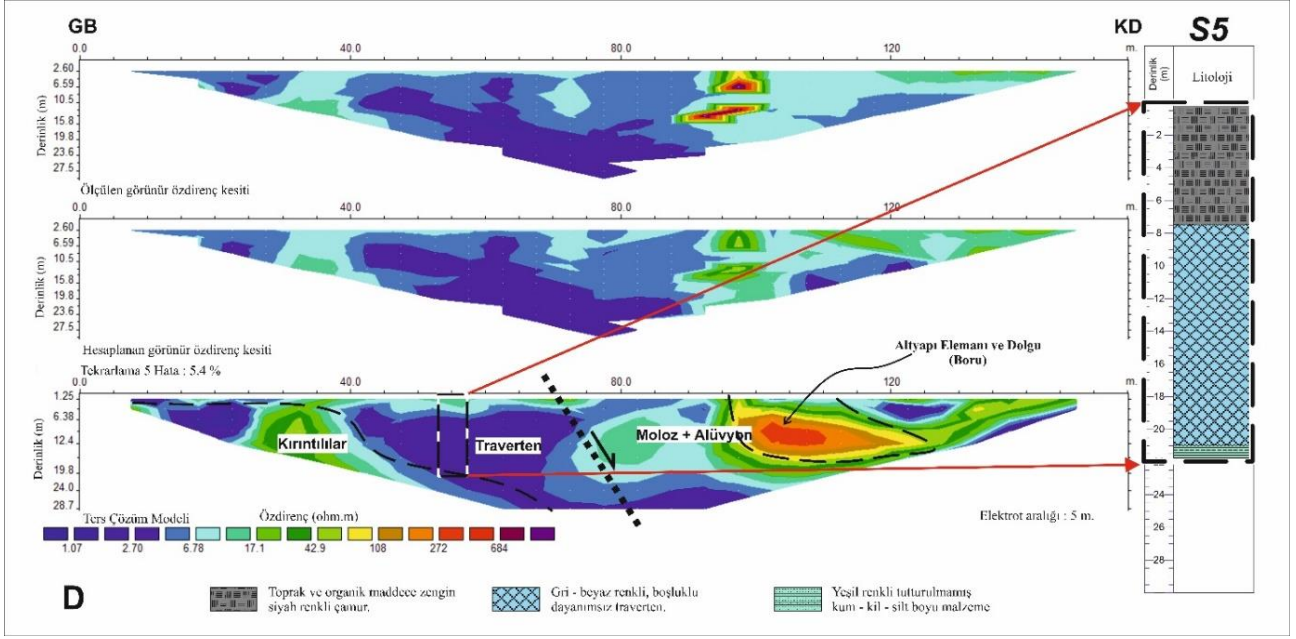
Kesit üzerinden yapılan yorumda normal bileşenli olduğu görülen fayın, jeotermal sistemi ve obruğu oluşturan KB – GD gidişli diğer bir fay sistemi olduğu düşünülmektedir.

Şekil 13'te verilen kesit B1 profilinin KD'ya doğru devamından alınmıştır. B2 Kesitinde 40- 45m arasındaki düşük öz dirençli kapanım yine bir karstik boşluğu işaret etmektedir. Şekil 14'de, K-KD – G-GB gidişli normal bileşenli düşeye yakın bir fay, taban blokta yüzeye yakın travertenler ile ~20 m derinde ise obruktaki su seviyesine denk gelen yeraltı suyu seviyesi açıkça gözlenmektedir.

Şekil 15'te verilen kesitte ise, B1 kesitindeki faya 70-75 m aralığında tekrar rastlanılmakta ve yine aynı karakteri sunmaktadır. Tavan bloğundaki 80-100 m 'de yaklaşık 10 m derinlikte ise gömülü bir altyapı elemanı (boru, kanalizasyon vs) yüksek öz dirençli bir alan oluşturmaktadır.

#### 4 Sonuçlar

Orta Anadolu'da radon gazları ve çamurla tedavinin gerçekleştiği en önemli termal turizm merkezlerinden olan KJA ve çevresinde epijenik ve hipojenik karstlaşma göze çarpmaktadır [25]. Epijenik karstlaşma, daha önce sözü



Şekil 15. D hattında ölçülen, hesaplanan ve modellenen görünür öz direnç kesiti ve S5 sondajının kesitteki yeri

edilen atmosferik ve bitki kök zonundan aldıkları CO<sub>2</sub>'ce zenginleşen yağış sularının H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> oluşturarak süreksizlikler boyunca hareket etmesi sonucu çatlak ve kırıkların yüzeyden itibaren düşey ve yanal yönlerde büyüyerek karstik şekillere dönüşmesidir.

Hipojenik karstlaşma ise, derinlerden gelecek yüzeye doğru fay ve hidrotermal oluklar boyunca yükselen karbonik asit ve /veya sülfürik asitçe zengin çözeltilerin ve jeotermal akışkanların yol açtığı hidrotermal karstlaşmadır [26].

KJA ve çevresinde, travertenler ve altındaki kireçtaşlarında, Çalış civarında mermerlerdeki taş ocaklarında yüzeyde epijenik, derinlerde ise hipojenik karstlaşma gözlenmiştir. Obrukların bulunduğu alanda travertenlerde, iç kökenli CO<sub>2</sub> ve H<sub>2</sub>S gibi gazları içeren hidrotermal akışkanların yükselimleri esnasında daha soğuk olan sularla oluşturdukları karışım korozyonu sonucu karstlaşma ilerlemiştir. Bölgede açılan kuyularda gözlenen kısmî su kaçakları [27], karbonatlı kayalardaki karstlaşmanın derinlerde de etkin olduğunu göstermektedir. Evaporitler, kireçtaşı ve mermerlere göre daha kolay çözündükleri için karstlaşma bunlarda daha fazla gelişebilmektedir.

KJA obruk alanı bir obruk meydana getirebilecek şartların çoğunu taşımaktadır. KJA ve etrafında temel kaya olarak termal suyun birincil akiferini temsil eden mermerler, termal suyun yüzeye ulaştıktan sonra oluşturduğu travertenler, yine yakın çevrede ve yapılan sondajlarda rastlanan jips, anhidrit ve halit gibi evaporitler karstik boşluk oluşumu için en ideal ortamı oluştururken, bunların üstünde kohezyonu yüksek alüvyon bir örtü bulunmaktadır. Ayrıca, CO<sub>2</sub> bakımından oldukça zengin ve az miktarda da olsa H<sub>2</sub>S de içeren termal su, traverten üzerinde eski bir bataklık kalıntısı olarak yaklaşık 50cm kalınlığında gözlemlenen organikçe zengin seviyede yıkanarak karbonik asit özelliği kazanan meteorik su zenginleşerek karstlaşmayı hızlandırmış olabilir [27]. Ayrıca KJA'da yapılan peyzaj

çalışmaları ile örtü basıncının artması, termal suyun kontrolsüz ve aşırı çekimi, obruk oluşumu için düşünülen çöküntü modeli ile uyumludur.

KJA'da tektonik açıdan aktifliğe işaret eden KB-GD, KD-GB ve D-B yönlü normal ve doğrultu atımlı faylar jeotermal suların yüzeye çıkışlarını kolaylaştırmış ancak karstlaşmada da etkili olmuştur. İki obruğun da bu fayların kesişme noktalarında açığa çıkması, koruma-kullanım şartlarına uyulmadığı takdirde KJA'da obruk vb. karstik oluşumların sürebileceğini göstermektedir.

Güncel çevre düzenlemesinden önce Obruk-1'in çevresinde bulunan yüzey kırıkları ve ~20 m doğusunda yer alan aktif karayolunda meydana gelen oturma karstlaşmanın tehlikeli bir boyutta devam ettiğine dair arazi gözlemleridir. Bu çalışmada yapılan 35-40 m derinliklerin incelendiği jeofizik çalışmalarda, Obruk-1'in hizasında, doğusunda ve kuzeyinde boşluklu fakat genellikle suya doygun birimlerin de tespit edilmiş olması, bu alanda karstlaşmanın devam ettiğini jeofizik verilerle de ortaya koymaktadır. Ayrıca yapılan karotlu sondajlarda çıkan numunelerde boşluk miktarının gözle görünür bir şekilde fazla olduğu, sondaj sırasında karstik boşluklarda sondaj dizisinin ani olarak 30 – 50 cm düştüğü görülmüştür.

Jeofizik ölçümlerin alınması sırasında yeraltı suyu seviyesinin ve su kimyasının da dikkate alınması gerektiği ile ilgili önemli bir çıktı da elde edilen bu çalışmada traverten seviyesinin görünür öz direncinin 1.07 ile 25 ohm.m arasında değişmektedir. Bu geniş aralığın sebebi ise traverten içerisinde farklı seviyelerde farklı boşluk oranı olması ve düşük görünür öz dirençli seviyelerin neredeyse tamamen iletkenliği yüksek (>2000 µS/cm) ve dolayısı ile çok düşük öz dirençli termal su ile dolu olması olarak yorumlanmıştır.

#### Teşekkür

Yazarlar, bu çalışmaya 120Y313 numaralı proje ile mali destek sağlayan TÜBİTAK'a, jeofizik saha çalışmalarında



yardımcı olan Dr. Fatih UÇAR ve Dr. Ferdi Demirtaş'a, jeofizik ekipmanların kullanımına izin veren Akdeniz Üniversitesi ve Nevşehir Hacıbektas Veri Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümlerine, sondaj çalışmaları sırasında lojistik destek sağlayan Kozaklı Belediyesi'ne, makalenin son haline gelmesi için değerli görüşlerini paylaştıkları hakemlere teşekkür ederler.

#### Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

**Benzerlik oranı (iThenticate):** %9

#### Kaynaklar

- [1] E. Pekkan, Konya Kapalı Havzası'nda karstik çöküntü yapıları olan obrukların oluşumunu etkileyen hidrojeokimyasal süreçlerin incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2004.
- [2] D.C. Ford, P. Williams, Karst geomorphology and hydrology. Hyman, Winchester, MA, 1989
- [3] W. Zhou, M. Lei, Conceptual site models for sinkhole formation and remediation. Environmental Earth Sciences, 76(818), 1–12, 2017.
- [4] M.M. Sweeting, Karst landforms. Columbia University Press, New York, 1973.
- [5] A. Bögli, Karst hydrology and physical speleology (translated from the German by June C. Schmid). Springer, 1980.
- [6] D.C. Ford, P. Williams, Karst geomorphology and hydrology. Wiley, Chichester, UK, p. 562, 2007.
- [7] İ. Kopar, Kozaklı (Nevşehir) jeotermal sahasında oluşan örtü-çökme dolininin (Cover-Collapse Sinkhole) oluşumu ve sonuçları bakımından bir değerlendirme Türk Coğrafya Dergisi, 49; 73–88, 2007.
- [8] A.B. Tihansky, Sinkholes, west-central Florida. In: Galloway D, Jones DR, Ingebritsen SE (eds) Land subsidence in the United States US Geol Surv Circ, 1182, 121–140, 1999.
- [9] B. Canik, Terme kaplıcası ve çevresinin hidrojeolojik etüdü. AÜFF Jeoloji Mühendisliği Bölümü Yayını. Ankara, 1991.
- [10] M. Akyüz, I. Şeren, S. Sevim, A. Koçak, E. Kocabacak, Bayındırlık ve İskân Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Jeolojik Etüd Raporu. Nevşehir, 2007
- [11] M. Afşin, H. Gürdal, A. Gürel, A. Onak, Ö. Oruç, M. Kavurmacı, G. Durukan, Orta Anadolu'daki sıcak ve mineralli suların ve travertenlerin hidrojeokimyasal ve izotopik incelenmesi ve suların tıbbî ve biyoiklimsel değerlendirilmesi. TÜBİTAK Proje No: ÇAYDAG 104Y197, 2007.
- [12] S. Pasvanoğlu, A. Güner, F. Gültekin, Environmental problems at the Nevşehir (Kozaklı) geothermal field, central Turkey. Environmental Earth Sciences, 66(2); 549–560, 2012.
- [13] KOP, KOP Bölgesi jeotermal kaynakların değerlendirilmesi projesi. Nevşehir ili raporu, 2020.
- [14] A. I. Samouëlian, A.T. Cousin, A. Bruand, G. Richard, Electrical Resistivity Survey in Soil Science: A Review, Soil and Tillage Research 83(2), 173–93, 2005.
- [15] M.H. Loke, 2D and 3D Electrical Imaging Surveys, 2014 [https://sites.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/loke\\_course\\_notes.pdf](https://sites.ualberta.ca/~unsworth/UA-classes/223/loke_course_notes.pdf)
- [16] A.T. Başokur, Düşey elektrik sondajı verilerinin yorumu, Ankara Üniversitesi, 235 s, 2004.
- [17] A. Koçak, Kozaklı (Nevşehir) jeotermal alanının su kimyası ve rezervuar sıcaklığının incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, 1997.
- [18] H. Dağistan, İ. Kara, M. Duru, Nevşehir-Kozaklı jeotermal sahasında yeni bulgular Termal ve Maden Suları Konferansı, 2008.
- [19] B. Canik, I. Çörekçioğlu, The formation of sinkholes (Obruk) between Karapınar and Kızören-Konya. Karst Water Resources, IAHS Publication, 161, 193–205, 1985.
- [20] T. Özbek, Nevşehir Kozaklı kaplıcası hidrojeoloji etüd raporu, Derleme Rapor No:5451, MTA Enstitüsü, Ankara, 1975.
- [21] G. Ok, Kozaklı (Nevşehir) ve Terme (Kırşehir) sıcak ve mineralli sularının su kimyası ve izotopik yöntemlerle karşılaştırılması, tıbbî ve biyoiklimsel değerlendirilmesi. Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, 2007.
- [22] H. Kara, Türkiye Jeoloji Haritaları Yozgat G-19 paftası. MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1997.
- [23] B. Erişen, R. Özgür, Kozaklı (Nevşehir) alanının jeotermal enerji olanaklarına ilişkin değerlendirme raporu. MTA Derleme Rapor No:10376, Ankara, 1999.
- [24] K. Selçuk, Kozaklı (Nevşehir) jeotermal alanındaki çöküntü mekanizmasının hidrojeolojik açıdan incelenmesi. Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, 2018.
- [25] M. Afşin, M. Kavurmacı, G. Doğan, H. Gürdal, N. Erdoğan, A. Gürel, Ö. Oruç, Kozaklı (Nevşehir) ve Terme (Kırşehir) jeotermal sularının hidrojeokimyasal ve tıbbî – biyoiklimsel değerlendirilmesi. III. Jeotermal Kaynaklar Sempozyumu, 339–347, 2015.
- [26] C.S. Bayarı, Yüksek dağlarda karst evriminin bütünleşik jeomorfolojik, hidrojeolojik ve speleolojik analizler ile kurgulanması: Aladağlar (Doğu Toroslar) Örneği. TÜBİTAK Proje No: ÇAYDAG 104Y211, 2008.
- [27] İ. Kara, Nevşehir Kozaklı MTA-K4 jeotermal araştırma sondajı kuyu bitirme raporu. Derleme Rapor No:11182, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 2009.

