

# HAYDARLI BARAJ ALANININ ELEKTRİK ÖZDİRENÇ VE JEOLJİK ÖZELLİKLERİ

## Properties of the Electrical Resistivity and Geology of the Haydarli Dam Area

Osman UYANIK<sup>1a</sup>, Olcay ÇAKMAK<sup>2</sup>, Elif ALGÜL<sup>1</sup>, Mustafa GÜRBÜZ<sup>3</sup>, Ali OKUMUŞ<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, MMF Jeofizik M. Bl. Isparta (a osmanuyanik@sdu.edu.tr)

<sup>2</sup>Süleyman Demirel Üniversitesi, Deprem ve Jeoteknik Arş. Merkezi Isparta

<sup>3</sup>Devlet Su İşleri XVIII. Bölge Müdürlüğü Isparta

### ÖZET

Jeofizik yöntemler bir baraj alanındaki jeolojik yapının araştırılması gibi jeolojik, jeoteknik, mühendislik ve çevre problemlerinin çözümünde yaygın olarak kullanılır. Bu çalışmada, Haydarlı Baraj Alanında (Dinar/Afyonkarahisar) yeralan aglomera, pekişmiş kil ardalanmaları ve Kvarterner alüvyondan oluşan Pliyosen depozitlerinin yan ve düşey yöndeki yayılımlarının araştırılması için bir elektrik öz direnç tomografi çalışması gerçekleştirilmiştir. Elektrik öz direnç verisi, 14 profilde Wenner-Schlumberger elektrot dizilimi ile toplanmış ve tomografik ters çözüm tekniği ile değerlendirilmiştir. 40 m derinliğe kadar jeolojik birimlerin ayrımlılığı elektrik öz direnç görüntüleri ile açıkça ortaya konmuş ve sonuçlar mekanik sondaj çalışmalarıyla da karşılaştırılmıştır. Ayrıca, KD-GB ve K-G yönelimli iki fay belirlenmiştir. KD-GB yönünde belirlenen fayın güneyinde kalan aglomera biriminde geçirgenlik problemi vardır. Sonuç olarak, söz konusu aglomera biriminin geçirgenlik özelliklerinin basınçlı su testleriyle belirlenmesi önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Baraj, Jeoloji, Doğru akım öz direnç, Mekanik sondaj, Aglomera, Dinar

### ABSTRACT

Geophysical methods are commonly used to solve geological, geotechnical, engineering and environmental problems such as investigation of the geological setting in the area of a dam foundation. In this study, an electrical resistivity tomography survey was performed to investigate extensions in the vertical and lateral directions of Pliocene deposits consisted of alternating Agglomerate, consolidated clay and Quaternary alluvium of Haydarlı Dam area (Dinar/Afyonkarahisar). The resistivity data were acquired along 14 profiles by a Wenner-Schlumberger electrode array and were processed by a tomographic inversion technique. Geologic units up to a depth of 40 m were clearly revealed by the electrical resistivity imaging and the results were also compared to the data from several wells. In addition, two faults oriented NE-SW and N-S, respectively were determined. There is a permeability problem in the agglomerate unit located at south of the NE-SW-trending fault. It is therefore suggested that permeability properties of the so-called agglomerate unit should be determined using pressure water tests.

**Key Words:** Dam, Geology, Direct Current Resistivity, Wells, Agglomerate, Dinar

## GİRİŞ

Son yıllarda hızla artan su ihtiyacının karşılanması ve sellemeler sonucunda meydana gelen zararların önlenmesi amacı ile yapay göl alanları önem kazanmıştır. Ülkemizde büyük rezervuar alanı olan barajların yanı sıra düşük debili dere ve çaylar üzerine kurulan bentler ile oluşan göl alanları hem taşkın önleme hem de sulama amaçlı olarak ekonomiye katkı sağlamaktadırlar (Uyanık vd. 2004; 2007). Ayrıca yeterli debi ve düşünün olması durumunda elektrik enerjisi de üretilebilmektedir. Bozcu vd. (2007)'de nehir santrallerinin, daha ucuz ve kısa sürede elektrik enerjisi elde etmeye uygun olması ve doğal çevreyi bozmadan üretime katılmaları gibi nedenlerle tercih edildiklerini vurgulamışlardır.

Elektrik özdirenç yöntemi baraj alanlarında jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımını belirlemede etkili bir yöntemdir. Ayrıca yer altındaki yapıların konumlarını, uzanımlarını, kırık çatlak sistemlerini belirlemede kullanışlı bir yöntem olup baraj alanlarında araştırmacılar tarafından etkin bir şekilde kullanılmaktadır (Johanson ve Dahlin 1996; Savvadis vd. 1999; Titov vd. 2000; Uyanık vd. 2004; Song vd. 2005; Sjödaahl vd. 2005; Uyanık ve Türker 2007; Bozcu vd. 2007; Johanson vd. 2007; Al-Zoubi, vd. 2007; Uyanık vd. 2007). Savvadis vd. (1999), Yunanistan da Krousovitis baraj alanının jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek için sismik kırılma ve elektrik özdirenç yöntemlerini kullanmışlardır. Elektrik özdirenç çalışmaları sonucunda barajın sol sahilinde yüzeyde gözlenemeyen bir fay ortaya çıkarmışlardır. Sismik ve elektrik çalışmalar ile baraj alanındaki yamaç molozunun kalınlığını ve fay sınırını başarıyla tespit etmişlerdir. Bu çalışmaları 4 adet mekanik sondaj yaparak denetlemişlerdir (Algül, 2011). Kiremitçiöğlü (1998), Cine barajında rezervuar alanı, enerji tünel güzergahı ve cebri boru güzergahında elektrik özdirenç yöntemi kullanarak çalışmıştır. Sonuçta Kiremitçiöğlü'nun uyguladığı elektrik özdirenç yöntemi kazı çalışması boyunca karşılaşılabilecek zorlukları önceden kestirmede yardımcı olmuştur. Zemin veya kaya ortamlarda özdirenç değerleri, bu ortamların içerisindeki kil, gözeneklilik ve doygunluk gibi özelliklere bağlıdır (Palacky 1987; Ward 1990). Düşey elektrik sondaj araştırmaları için çok elektrotlu ölçü sistemi Barker (1981) tarafından yayınlanmıştır. Daha sonra 1985 yılında Griffiths ve Turnbull tarafından çok elektrotlu dizilimin ayrıntıları üretilmiştir (Griffiths vd. 1990). Çok elektrotlu ölçü sistemi Van Overmeeren ve Ritsema (1988) tarafından hidrojeolojik uygulamalar ve Noel ve Walker (1990) da arkeolojik araştırmalar için geliştirilmiştir. Çok elektrotlu ölçü sistemi ile Griffiths vd. (1996) ve Dahlin (1996) de çalışmalar yapmıştır.

Afyonkarahisar ili Dinar ilçesine bağlı Haydarlı Kasabası arazisinden geçen Avşar Çayı üzerinde DSİ tarafından Haydarlı Barajının yapılması düşünülmektedir. Avşar Çayı bent alanının yakınlarında 1325m kotundadır. Bent alanının yüksekliği yaklaşık olarak 25-30m düşünülmektedir. Gölalanı su tutmaya

başladığında su 1350m kotundaki jeolojik birimlere temas edecektir. Haydarlı barajının amacı, ani yağışlar ile sele neden olan Avşar çayının feyezan sularını bir göl alanında toplayarak hem taşkını önleme hem de biriken suyu sulama ve elektrik üretimi için kullanmaktır. Bu amaç ile bölgenin 1/25.000 ölçekli jeoloji haritası Okumuş (2009) tarafından hazırlanmıştır (Şekil 1). Buna ek olarak Haydarlı barajının genel özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Bu çalışmada Haydarlı Baraj sahasındaki jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımının ortaya konulması amacıyla jeofizik yöntemlerden elektrik özdirenç profil çalışmaları uygulanarak, alüvyon kalınlığı ve bununla birlikte aglomera ve türevlerinin yanal ve düşey yöndeki değişimi, yeraltı suyunun durumu ve örtülü fayların yerlerinin belirlenmesi bunlara bağlı olarak yeraltı yapısının aydınlatılmasına çalışılmıştır. Baraj gövdesinin oturacağı alanda ve göl alanında yapılan jeofizik yöntemlerden elde edilen 2 boyutlu elektrik özdirenç kesitlerin yorumlanması ve denetlenmesi amacıyla mekanik sondajlar yapılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki değişimi çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışması ile ortaya konmuştur. Ek olarak KD-GB doğrultusunda bir fay belirlenmiştir.

## GENEL JEOLJİ

Çalışma alanında allokton, otokton, Pliyosen depozitleri ve Kuvaterner alüvyon birimlerin yüzeylenmesi vardır (Şekil 1).

### Allokton birimler

Çalışma sahasında Alıçlı sırtı ile Kaya sivrisi tepede geniş yüzeylenmesi olan ince, orta tabakalı, çoğu breşik yapılı, yer yer erime boşluklu, kalsit dolgulu ve bol kırılmalı, şeker dokulu kireçtaşı boz, bejimsi olup çok az dolomitleşme gözlenmektedir (gaz kokuludur). Bu kristalize ve dolomitize kireçtaşı Triyas yaşındadır. Tektonizma etkisi ile çoğu kristalize olan bu birimin üstüne Üst Kretase kireçtaşı ve Paleosen-Eosen konglomera şarye (bindirme) ile ve Pliyosen depozitleri uyumsuz olarak gelmektedir. Triyas yaşlı birimin altında ofiyolitik oluşuklar vardır. Bu birimin altında bölgeye geliş yaşlı Miyosen olan ofiyolit ve radyolaritler gözlenmemektedir. Üst birimlerinde ise yukarıda da bahsedildiği gibi Pliyosen oluşukları (uyumsuz olarak) vardır (Okumuş 2009).

**Ofiyolit- radyolarit ( Of- rd ):** Tektonizma sonucu derin denizel oluşuk olan bazik, ultra bazik magmatik kayalar olup içerisinde değişik boyutta kaya birimlerini bulundurur. Genelde yeşil, bordo ve siyahımsı rengin hakim olduğu bazik, ultra bazik kayaların karışımından meydana gelmiştir. Ofiyolit, şiddetli tektonik hareketlerle melanaj topluluğu haline dönüşmüştür. Ofiyolit ve radyolaritler Miyosen sonunda bölgeye gelip

yerleşmiştir. Fakat bölgeye gelmeden önce oluşmuştur. Kendilerinden yaşlı bütün birimleri hem ötelemişler hem de örtmüşlerdir. Bu karmaşığın içinde irili ufaklı pembemsi rengin hakim olduğu kireçtaşı blokları vardır (Okumuş 2009).

### Otokton birimler

**Üst Kretase (Kriü) :** Çörtlü, tabakalı, bol kırıklı kireçtaşları, çalışma sahasında Karacan ve Kızılınüstü tepelerinde ve Camkayaları ile Uzunyayla sırtlarında gözlenmektedir. Sarımsı, grimsi, bej, beyaz renkli olup ince, orta tabakalı, bazı seviyelerinde yoğun çört bantlı, kırığan, pelajik kireçtaşının kalınlığı değişkenlik sunmaktadır (Okumuş 2009).

**Paleosen- Eosen (Pa-e) :** Kıltaşı, kumtaşı, marn, konglomera araldanması olan birim, altta bozumsu, sarı kıltaşı ile başlar. Çoğu Üst Kretase çakıllı, seyrek olarak ofiyolit – radyolarit materyelli kumtaşı ve yeşil marn ile devam eder. Üst seviyelerde ise iyi yuvarlanmış, sıkı karbonat çimentolu konglomeralar ile son bulur. Kıltaşı, kumtaşı, marnların en iyi gözlemlendiği yer İn pınarının kuzeyindeki yol kenarıdır. Konglomera ise Sandıklı–Haydarlı yolu üzerindeki Soğuk pınarın kuzeyinde doğu-batı uzanımlıdır. Paleosen-Eosenin en üst birimini Pembemsi, bejimsi kireçtaşı oluşturmuştur. Bu birim yer yer tabakalı, az erime boşluklu, tektonizma etkisiyle kırılğan ve fosillidir (Okumuş 2009).

**Miyosen (m) :** Silisifiye, killi kireçtaşı, marn ve kil araldanması olan birim, çalışma sahasında yerel olarak (çok az) Kürtini tepe ile Sakızlı sırtında gözlenen gölsel çökeller, beyazımsı, bejimsi, gözenekli killi kireçtaşı ile bol kırılğan ve keskin silisifiye kireçtaşı tabakaları arasında kalınlığı değişkenlik gösteren kil, marn ve tuf, tüfit, aglomera şeklinde araldanmalı yapı sunmaktadır. Çalışma sahasında tabanı gözlenmemekle beraber Mesozoik oluşukları üzerine uyumsuz olarak gelmektedir. Hakim eğimler yataya yakın olup 12° derece civarındadır. Miyosenin üzerine Pliyosenin volkanikleri uyumsuz olarak gelmektedir. Kalınlığı 30 metre civarındadır (Okumuş 2009).

### Pliyosen depozitleri (Pl)

Tuf, tüfit, aglomera, pekişmiş kil araldanmasından oluşan birim, çalışma sahasında gözlenen tuf, tüfit ve aglomeralar çoğu asidik orijinli olup depolanma durumuna ve o andaki volkanizma aktivitesine bağlı olarak şekillenmişlerdir. Göl alanında sedimantasyona bağlı olarak depolanan pekişmiş kil, tüfit ve aglomeralar tabakalı yapıdadırlar. Baraj rezervuarının sağ sahilinde killi, marnlı seviyelerin arasında ekonomik değere haiz

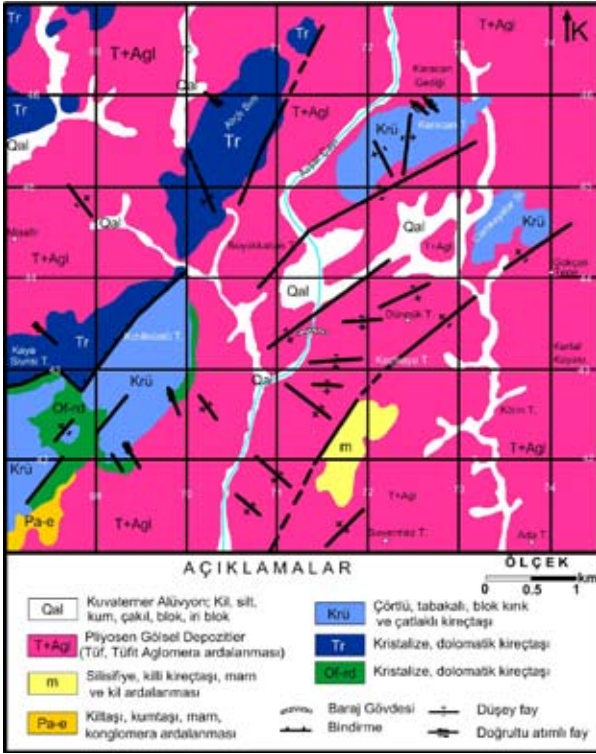
olmayan 3-5 cm kalınlığında kömür merceği mevcuttur. Mevsimlerin kuraklık durumuna bağlı olarak göl alanına ince tanelilerin gelişi yoğundur. Sellenmenin fazla olduğu mevsimlerde ise iri taneliler birikmiştir. İri tanelilerin boyutu blok, iri bloklar şeklindedir. Aglomera içindeki kum, çakıl ve bloklar çevredeki kayalardan türemişlerdir. Blokların çoğunluğu yuvarlak, yarı yuvarlak olup volkanik kökenlidirler. Bazı seviyelerde kireçtaşı blokları da gözlenmektedir. Volkanizmaya bağlı olan tüfler ise masifimsi yapıdadırlar. Tuf ve tüfitler yeşilimsi çok az olarak ta kahverengimsidirler. Tüfler ise beyaz, grimsi, yeşilimsidirler. Etüt sahasındaki volkanik çökeller kendisinden yaşlı olan litolojileri diskordan olarak örtmektedir (Okumuş 2009).

### Kuvaterner alüvyon (Qal)

Kil, silt, kum, çakıl ve bloklardan meydana gelen alüvyonal oluşuklar dere yataklarında çoğu inceden kaba taneliye doğru düzensiz derecelenme göstermektedir. Bloklar çoğunlukla volkanik kökenlidir. Düzlüklerde ise kumlu çakıllı kil ve siltten oluşmuştur. Killer çevredeki kayalardan türedikleri için çok az kil ve inorganik silt karakterindedirler. Alüvyonal oluşukların kalınlıkları konumlarına göre değişiklik sunmaktadır. Dere yataklarında daha az düzlüklerde ise epeyce kalındırlar. Kum, çakıl ve blokların çoğu volkanik orijinli olup yuvarlak yarı yuvaraktırlar. Alüvyonal oluşuklar kendilerinden yaşlı olan bütün litolojik birimleri uyumsuz olarak örtmektedirler (Okumuş 2009).

### Yapısal Jeoloji

İnceleme alanında yüzeylenen birimlerden Triyas yaşlı kristalize kireçtaşı ve Üst kretase çört yumru lu kireçtaşında ve Paleosen-Eosen konglomera ile kireçtaşında da belirli bir tabakalanma gözlenmiştir. Miyosen gölsel çökelleriyle, Pliyosen depozitlerinde tabakalanma gözlenmektedir. Tabakalar konumlarına göre ince, orta ve kalın yapı göstermektedirler. Tabakalanma doğrultusu ve eğimleri farklı değerler vermektedir. Miyosen oluşuklarındaki tabakalar yataya yakındır. Pliyosen depozitlerindeki tuf, tüfit ve aglomeralardaki tabakalanmalar değişik kalınlıklar sunmakla beraber genel hakim eğimler güneydoğuya olup bazı seviyelerde dike yakındırlar. Tabakalanmaya ek olarak etüt sahasındaki Üst kretase kireçtaşı biriminde kıvrımlanma mevcuttur. Triyas ve üst Kretase kireçtaşı ile Pliyosen depozitlerinde gelişi güzel yönlerde oluşan faylar gözlenmektedir. Fakat Pliyosen depozitlerinde oluşan fayların hakim yönü kuzeydoğu- güneybatıya yakındırlar. Altteki Triyas ve Üst Kretase kireçtaşlarında oluşan tektonik hareketlere bağlı olarak gelişmişlerdir. Ayrıca çalışma sahasındaki bütün litolojik birimler birbirleri üzerine diskordan–uyumsuz olarak gelmektedir.



**Şekil 1.** Haydarlı Baraj Alanı ve Çevresinin Jeoloji Haritası (Okumuş 2009'dan düzenlenmiştir)

**Figure 1.** Geological map of the Haydarlı dam area and its vicinity (modified from Okumuş, 2009).

## UYGULANAN YÖNTEM

### Elektrik Özdirenç Yöntemi

Elektrik özdirenç yöntemi çalışılan ortamın iletkenlik ve özdirenç özelliklerini, yer altı yapısının geometrisini belirlemede kullanıldığı gibi, aynı zamanda yeraltındaki jeolojik birimlerin ayırt edilmesinde de yardımcı olmaktadır. Özdirenç yönteminde yere iki noktadan yapay bir akım verilir ve bu akımın yer altında oluşturduğu elektrik alanının gerilimi diğer iki nokta arasında gerilim farkı olarak ölçülür. Elektrik alanının uygulandığı elektrotlar

akım elektrotları ve gerilim farkının ölçüldüğü elektrotlar gerilim elektrotları olarak adlandırılır (Başokur 1984). Eşitlik 1 kullanılarak yeraltındaki birimlerin görünür özdirençleri ve modelleme sonucunda gerçek özdirenç ve kalınlık değerleri belirlenir.

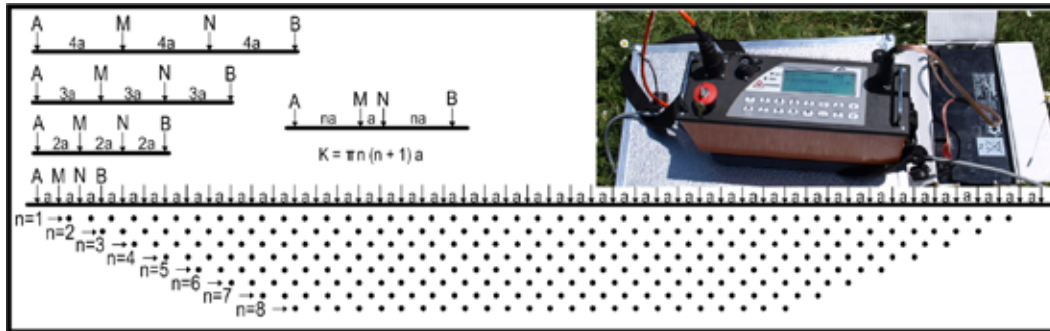
$$\rho = (\Delta V / I) K \quad (1)$$

Burada ;  $\rho$  = Görünür özdirenç (ohm-m),  $\Delta V$  = Ölçülen gerilim farkı (mV),  $I$  = Yere verilen akım (mA) ve  $K$  = Geometrik katsayısıdır.

Çok elektrotlu sistem ile hızlı ve kolay ölçü alınabilmektedir. Bir profil boyunca eşit aralıklar ile dizilen elektrotlar yere çakılırlar. Çakılan her bir elektroda çok kanallı kablunun bir ucu bağlanır. Tüm elektrotlar ve bunlara bağlanan kablo uçları kanal sayısına bağlı numaralandırılır ve elektrotlardan gelen akım ve gerilim değerleri çok kanallı kablo aracılığı ile aygıtta aktarılır. Daha sonra ölçüler değerlendirilirken hataları en küçüğe indirebilmek için her bir kazığın kot ve koordinatları belirlenir. Belirlenen kot değerleri topografya etkisini kaldırmak için ölçüm dosyasına eklenir. Aygıt kendisine bağlı olan kablo yardımıyla bağlı olamayan veya hatalı elektrotları otomatik olarak tespit eder ve kullanıcıyı uyarır. Bu uyarıdan sonra hatalı elektrotlar kontrol edilir, düzeltilir ve aygıtta elektrotlar tekrar kontrol ettirilir. Eğer bir hata yoksa aygıtta daha önceden tanımlanan ölçü diziliminde ölçü alınır. Elektrotların ölçüm sırasındaki çeşitli konumlarına göre geliştirilen ölçü alım teknikleri, elektrot dizilimi olarak adlandırılır. Bu çalışmada yan ve düşey yönde veri toplamak amacı ile wenschlumberger dizilimi kullanılmıştır (Şekil 2). Şekil 2 de A ve B akım elektrotları M ve N gerilim elektrotlarıdır. MN elektrotları arası mesafe a ise AM ve BN elektrotları arası mesafe n\*a kadardır. Bu dizilimde geometrik faktör K, eşitlik 2'den hesaplanır.

$$K = \Pi n (n + 1) a \quad (2)$$

Burada a = MN, n a = AM = BN, n = 1, 2, 3, 4, 5, ... ve  $\Pi = 3.14159$



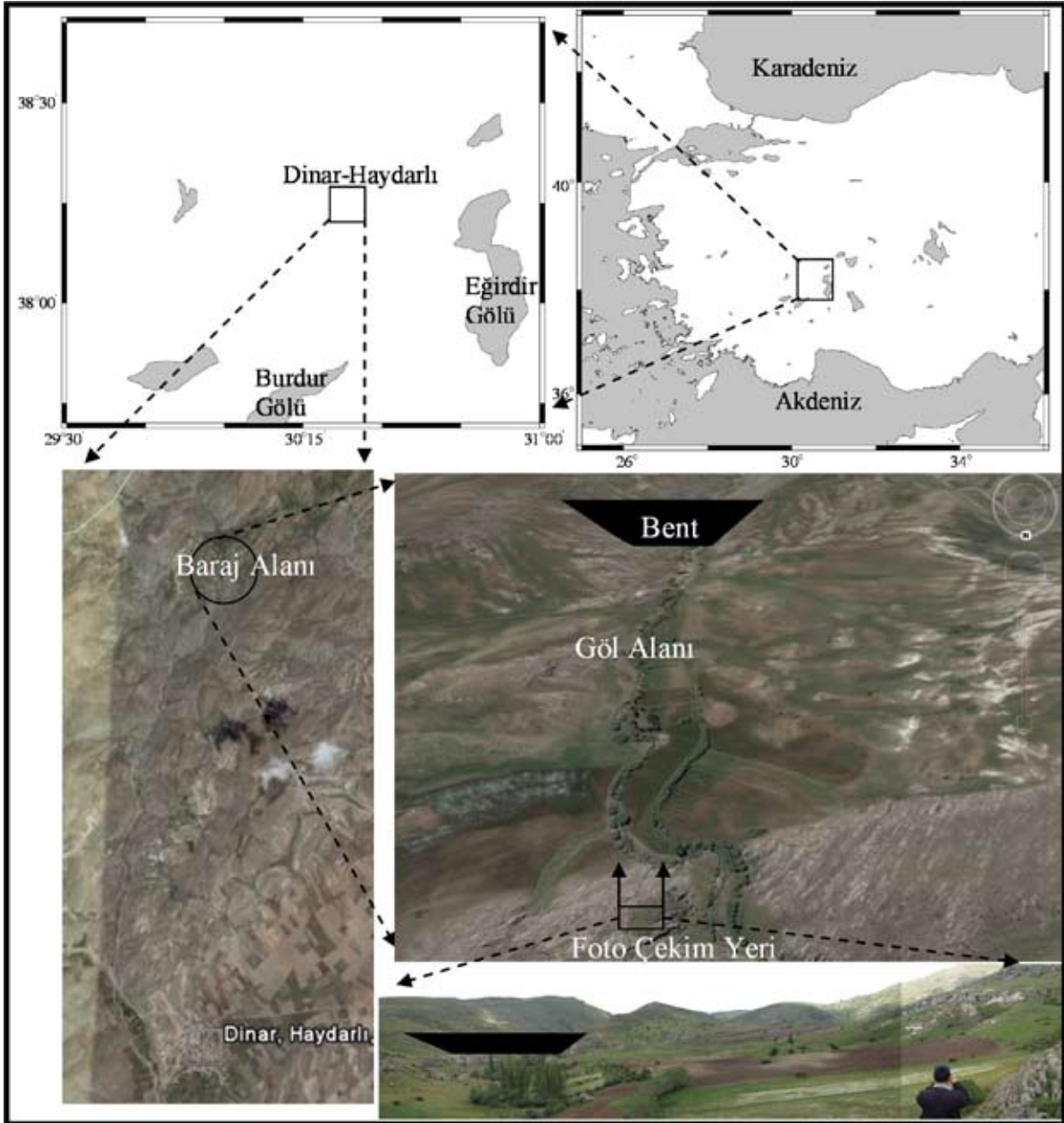
**Şekil 2.** 48 Elektrotlu Wenner-Schlumberger Elektrot Dizilimi ve Kullanılan Aygıtın Görünümü.

**Figure 2.** Wenner-Schlumberger electrode array and a view of used device

## SAHA ÇALIŞMALARINI ve DEĞERLENDİRMELER

Haydarlı Baraj Projesinin yeri, Afyonkarahisar ilinin Dinar ilçesinden yaklaşık 30km doğusundaki Haydarlı kasabasında bulunan Avşar çayı üzerindedir (Şekil 3). Haydarlı barajına ait genel özellikler Tablo 1'de verilmiştir. Buna göre Avşar çayının kotu (Bent yakınlarında) 1325m civarındadır. Göl alanında birikecek olan suyun kotu 1350m civarlarında olacaktır. Haydarlı Baraj sahasındaki yapısal bozuklukların ve jeolojik birimlerin yanal ve düşey yöndeki yayılımının ortaya konulması amacıyla jeofizik yöntemlerden elektrik öz direnç profil çalışması yapılmıştır. Elektrotlar arası

$a=5m$  ve toplam profil boyu 240m olacak şekilde 14 profilde toplam 3360 m'lik öz direnç tomografi kesitleri elde edilmiştir. Profiller rezervuar sahası ve baraj aksında yüzeylenen aglomera ve killi birimleri kesecek şekilde seçilmiştir. Rezervuar alanında yapılan 14 adet elektrik öz direnç profilleri ve 15 adet mekanik sondaj noktaları Şekil 4'de gösterilmiştir. Şekil 4 de görülen elektrik öz direnç profillerinin başındaki içi boş daireler kesitlerdeki (Şekil 5a, 5b) 5m yani 1.elektrotu, içi dolu daireler ise 240m yani 48.elektrotu tanımlamaktadır. Ayrıca çalışma alanında yapılan mekanik sondaj çalışmalarına ait özet bilgiler Tablo 2 de ve Şekil 7'de sunulmuştur.



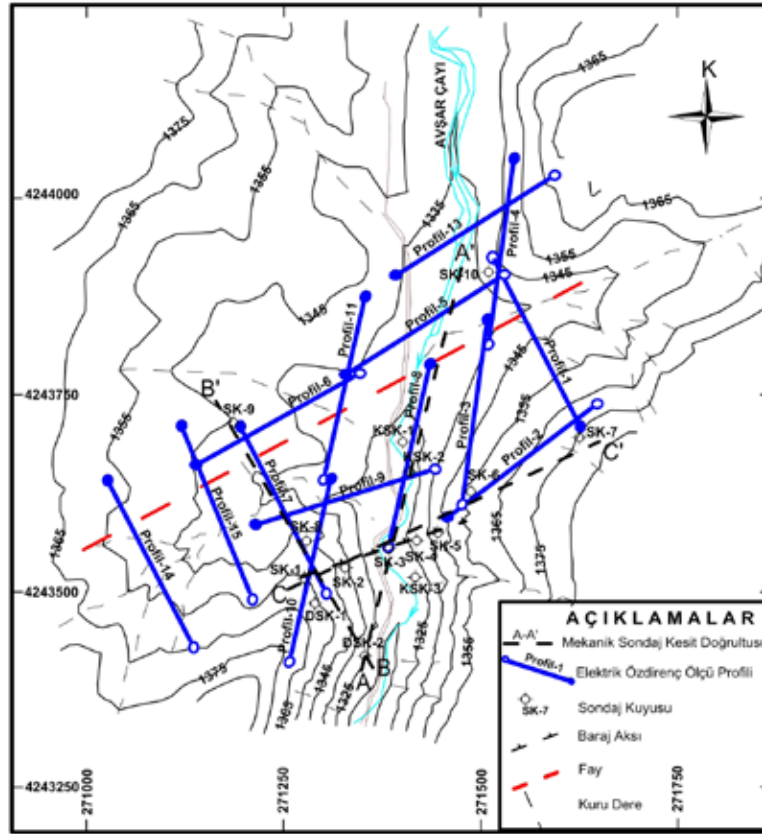
Şekil 3. Çalışma alanının google görüntülerini gösterir Yer Bulduru Haritası

Figure 3. The location map of study area together with google images



**Tablo 1.** Haydarlı Barajının Genel Özellikleri (Okumuş 2009'dan düzenlenmiştir)**Table 1.** General properties of Haydarlı dam (modified from Okumuş, 2009).

|  |                       |                              |                          |
|--|-----------------------|------------------------------|--------------------------|
| Yağış Alanı                            | 47.23 km <sup>2</sup> | Nehrin ortalama debisi       | 3.63hm <sup>3</sup> /yıl |
| Ortalama Yıllık Akım                   | 2.7hm <sup>3</sup>    | Nehrin en fazla debisi       | 5.38hm <sup>3</sup> /yıl |
| Bent'in tipi                           | Homojen dolgu         | Baraj gölü en fazla su hacmi | 2.1hm <sup>3</sup>       |
| Bent'in Talvegten yüksekliği           | 30.4m                 | En düşük işletme seviyesi    | 1333.2m                  |
| Nehir tabanının kot değeri             | 1319m                 | Aktif Göl hacmi              | 1.83hm <sup>3</sup>      |
| Suyun çıkabileceği en fazla kot değeri | 1347.4m               | Bent'in Uzunluğu             | 165m                     |

**Şekil 4.** Jeoteknik Çalışmaları Gösterir Yer Bulduru Haritası (Uyanık vd. 2009'dan düzenlenmiştir)**Figure 4.** Location map of the study area, showing the locations of Geotechnical studies (modified from Uyanık et al., 2009)

## Elektrik Özdirenç Profillerinin Değerlendirilmesi

Haydarlı barajında yapılan 14 adet elektrik özdirenç profillerden elde edilen görünür özdirenç verilerinin 2 boyutlu ters çözüm sonuçları Res2dinv paket programı (Geotomo 2006) ile üretilmiş ve modeller Şekil 5a ve 5b de verilmiştir. Profil boyunca topografya değişimleri ters çözüm işlemi esnasında hesaplamaya katılmıştır. Bu modellerin RMS hataları %5 den azdır ve sahadan elde edilen özdirenç verilerinin az hatalı olmasından dolayı Res2dinv paket programı aracılığı ile elde edilen modeller, 3 iterasyon (yineleme) ile jeolojik yapıya uyumlu olarak bulunmuştur. Sahadan elde edilen

özdirenç verilerinin çok hatalı olması durumunda RMS hatasının %5 den az olması için daha çok iterasyon yapmak gerekecek ve elde edilen modellerin jeolojik yapıyla uyumu tartışılır olacaktır. Tüm modellerde 40-50m derinliğe kadar jeolojik birimler belirlenmiştir. Ayrıca çalışma sahasında yapılan mekanik sondaj çalışmalarından elde edilen jeolojik birimler kalınlık ve derinlikleri Şekil 7 de verilmiştir. 2 boyutlu özdirenç modelleri ile mekanik sondaj sonuçlarından bulunan jeolojik birimler birbiriyle iyi uyum içerisindedir (Şekil 5a, 5b ve Şekil 7).

Elektrik özdirenç profil verilerinin 2 boyutlu ters çözümü sonucunda yeraltına ait birimler gerçek özdirenç değerlerine göre ayırt edilmiştir. Gerçek özdirenç

değerleri 3-122 ohm-m arasında değişmektedir. Buna göre öz direnci 30ohm-m den küçük olan değerler ve koyu mavi ile gösterilen alanlar kil birimleri, 30-60ohm-m arasındaki değerler ve açık mavi-açık yeşil ile gösterilen alanlar killeşmiş altere aglomera birimleri, 60-80ohm-m kil dolgu aglomera birimleri, 80-94ohm-m killeşmiş altere aglomera+tüfit birimlerini ve 94ohm-m'den büyük öz dirençler kırıklı çatlaklı aglomera birimini temsil etmektedir (Şekil 5a, 5b).

Koyu mavi renk ile gösterilen kil birimin kalınlıkları kesitlerin yatay uzaklığı boyunca değişmektedir. Bazı kesitlerde yüzeyden 5-10m derinliğe kadar kil birimi ve bu birimin altında aglomera ve türevleri yer alır ( Örnek Profil 1'de 140-240m yatay uzaklık, Profil 14'de 110-180m yatay uzaklık, Profil 15'de 50-120m yatay uzaklık). Bazı kesitlerde kil birimin kalınlığı araştırma derinliğinin yeterli gelmemesinden dolayı belirlenmemiştir (Örnek Profil 1 ve 7'de 5-80m yatay uzaklık, Profil 6, 11, 13, 14 ve 15'de farklı yatay uzaklıklarda).

Profil 5 ve 13 Avşar çayını keserken profil 8 Avşar çayına paraleldir ve bu profillerin yüzeyinde elde edilen yüksek öz direnç değerleri Avşar çayının doldurduğu killi kumlu çakıl birimlerdir. Avşar çayını kesen Profil 5 ve 13'de Aglomera ve türevlerini alüvyonal kil biriminden ayıran Avşar çayına paralel ve bu çayın altında K-G doğrultulu gömülü bir fay olduğu düşünülmektedir. Ek olarak profil 1, 3, 11, 7, 15 ve 14'de kil zemin ile aglomera ve türevleri yer yer yüzeyde gözlenen fay ile ayrılmıştır. Bu fayın yeri ve eğimi belirlenirken öz direnç renk dağılımı ve yüzeyde gözlenen fayın konumundan yararlanılmıştır. Bu fay profillerde belirtilmiş ve Şekil 4'de kalın kesikli çizgi ile gösterilmiştir. Algül (2011) yüksek lisans tez çalışmasında çok elektrotlu öz direnç çalışmaları yanı sıra yaptığı çok atışlı sismik kırılma çalışmaları ile de yukarıda belirtilen fayı belirlemiştir. Bu fayın güneyinde kalan kesimlerde (fay-bent arası) belirlenen aglomeralar kırıklı çatlaklı ve kil içeriği daha azdır. Dolayısı ile bu bölgedeki aglomeralar su ile temas etmesi sonucunda su kaçağı olacağı düşünülmektedir.

Çalışılan alanda öz direnç değerlendirme sonuçlarının dağılımı daha iyi anlaşılması açısından 3 blok diyagram şeklinde hazırlanmıştır (Şekil 6 a ve b). Şekil 6a da yüzeyden derine doğru öz direnç dağılımı sunulurken Şekil 6b de çözüm üretilebilen en derindeki (taban)

öz direnç dağılımı verilmiştir. Şekil 6 a ve b de K-G doğrultulu olarak belirlenen fay, 3 boyutlu diyagram (Şekil 6 a ve b) ve topografik durum (Şekil 4) göz önüne alındığında Avşar çayı boyunca devam ettiği düşünülmektedir. Ancak çalışma gününe doğru devam eden Avşar çayını kesen öz direnç profilleri (Gölalanı dışında olmasından dolayı) yapılmadığı için düşünce boyutunda kalmıştır.

Avşar çayına paralel profil 8 de yüzeye yakın derinliklerde elde edilen yüksek öz direnç değerleri (K-G doğrultulu fayın batısında kalan kırmızı renkli alan) alüvyonal çakıl zeminden kaynaklanmaktadır (Şekil 6a). Bu durum Şekil 6b ye bakıldığında tabanda alüvyonal kil zemin olduğu (öz direnç 30 ohm-m den küçük) öz direnç değerlerinden anlaşılmaktadır. Sonuç olarak profil 8 de yüzeye yakın olan yüksek öz dirençli değerler aglomera kaynaklı değildir. Şekil 6 a ve b yi incelediğimizde aglomera kaynaklı yüksek öz direnç değerleri yüzeyden derinlere doğru devam etmektedir. Öz direnç değerlendirmelerinden belirlenen K-G ve KD-GB doğrultulu fay Şekil 6 a ve b de aglomera ve türevlerini kil zeminden çok net ayırmaktadır. Bu ayırım yüzeyden tabana doğru devam ettiği Şekil 6 a ve b den net olarak görülmektedir.

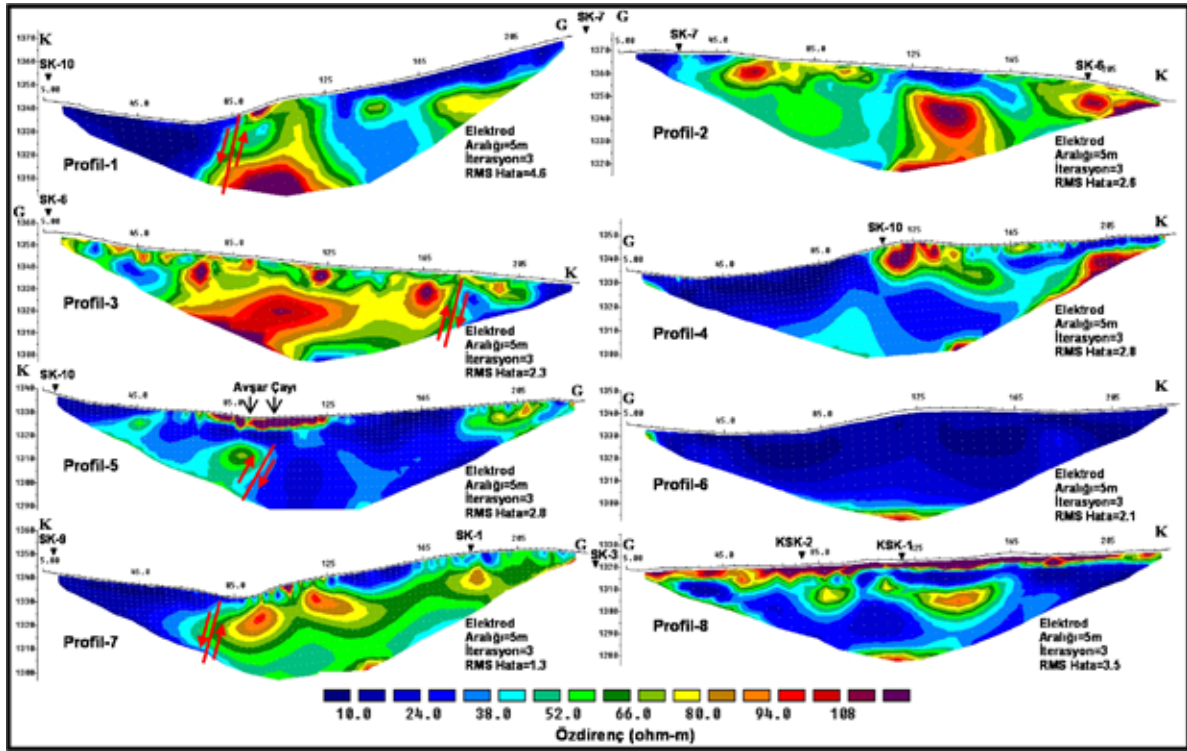
## Mekanik Sondaj Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çalışma alanı içerisinde 16m-58m arasında değişen derinliklerde 15 adet mekanik sondaj çalışması yapılmıştır (Şekil 4). Bu sondajlara ait özet bilgiler Tablo 2 de verilmiştir. 15 adet sondaj logları kullanılarak 3 adet kesit oluşturulmuştur (Şekil 7). Bu kesitlerin doğrultuları Şekil 4 de verilmiştir. Öz direnç çalışmalarından belirlenen fayın (Şekil 6a, 6b ve Şekil 4) güneyinde kalan kesimlerinde yapılan sondajlarda (SK-1, 2, 3, 4, 5, 6) yeraltı su seviyeleri (Tablo 2) irdelendiğinde nehir taban kotunun (1319m) altında olduğu görülmektedir. Bu durum suyun kaçabileceğini göstermektedir. Bu fayın kuzey kesimlerinde kalan sondajlara (SK-9, 10) bakıldığında ise yeraltı su seviyeleri nehir taban kotunda yada nehir taban kotunun yukarısında bir kottadır. Bu durum fayın kuzey kesimlerinden su kaçağının olmayacağı düşüncesini doğurmaktadır.

**Tablo 2.** Mekanik Sondaja Ait Özet Bilgiler(Okumuş 2009'dan düzenlenmiştir)

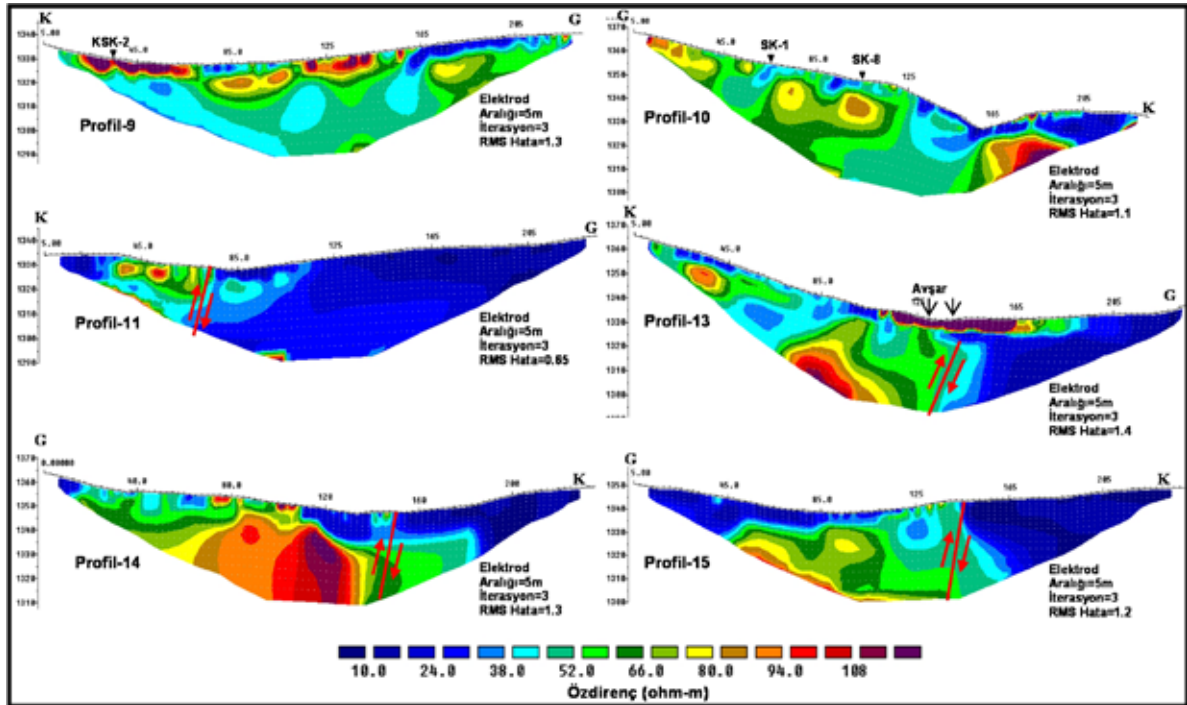
**Table 2.** Summary information of the mechanical drillings (modified from Okumuş, 2009)

| Sondaj No                            | SK-1   | SK-2   | SK-3   | SK-4   | SK-5   | SK-6   | SK-7   |        |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| <b>Derinlik (m)</b>                  | 58     | 45     | 32     | 22     | 40     | 60     | 40     |        |
| <b>Kot (m)</b>                       | 1354.8 | 1339   | 1320.2 | 1328.5 | 1339.1 | 1354.7 | 1374.9 |        |
| <b>Yeraltı Suyu Derinlikleri (m)</b> | 49.83  | 37.01  | 7.89   | 16.9   | 24.1   | 50.9   | Kuru   |        |
| Sondaj No                            | SK-8   | SK-9   | SK-10  | DSK-1  | DSK-2  | KSK-1  | KSK-2  | KSK-3  |
| <b>Derinlik (m)</b>                  | 30     | 30     | 30     | 24     | 22     | 19     | 26     | 16     |
| <b>Kot (m)</b>                       | 1348.8 | 1342.9 | 1339.2 | 1356.4 | 1325.2 | 1324   | 1322.6 | 1319.9 |
| <b>Yeraltı Suyu Derinlikleri (m)</b> | Kuru   | 5.19   | 20.88  | 20.41  | 12.34  | 2.48   | 5.03   | 13.84  |



Şekil 5a. Elektrik Rezistivite Tomografi hattı boyunca öz direnç modelleri (Uyanık vd., 2009'dan düzenlenmiştir)

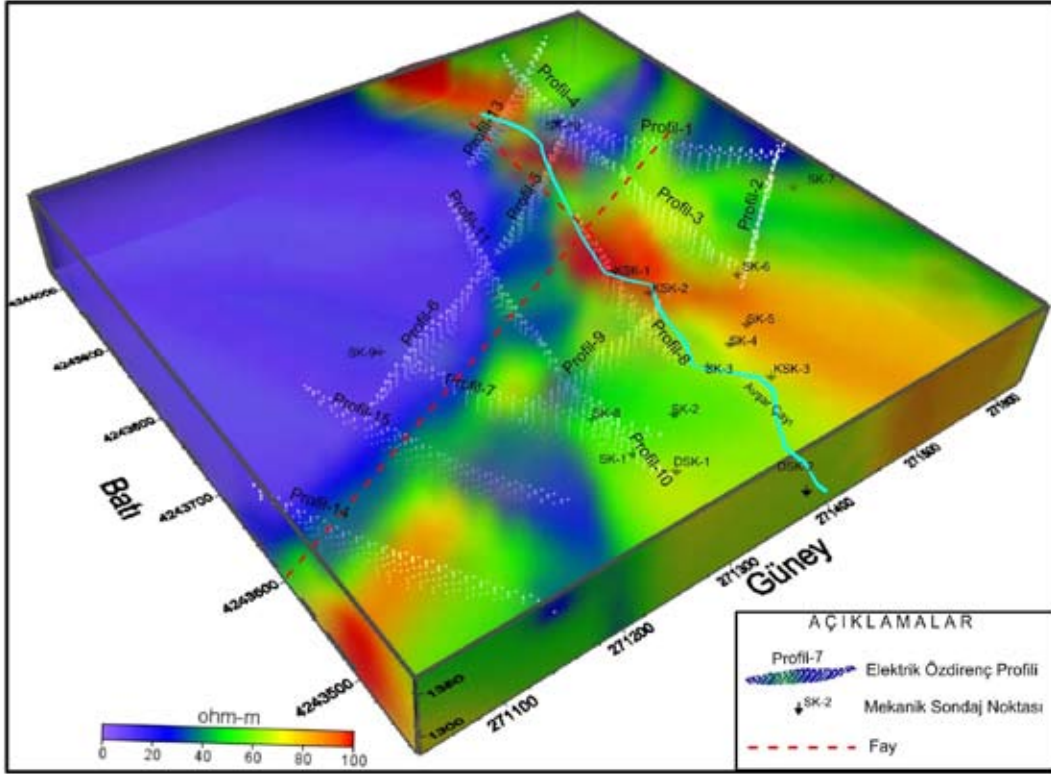
Figure 5a. Modeled resistivity sections along the Electrical Resistivity Tomography line (modified from Uyanık et al., 2009)



Şekil 5b. Elektrik Rezistivite Tomografi hattı boyunca öz direnç modelleri (Uyanık vd., 2009'dan düzenlenmiştir)

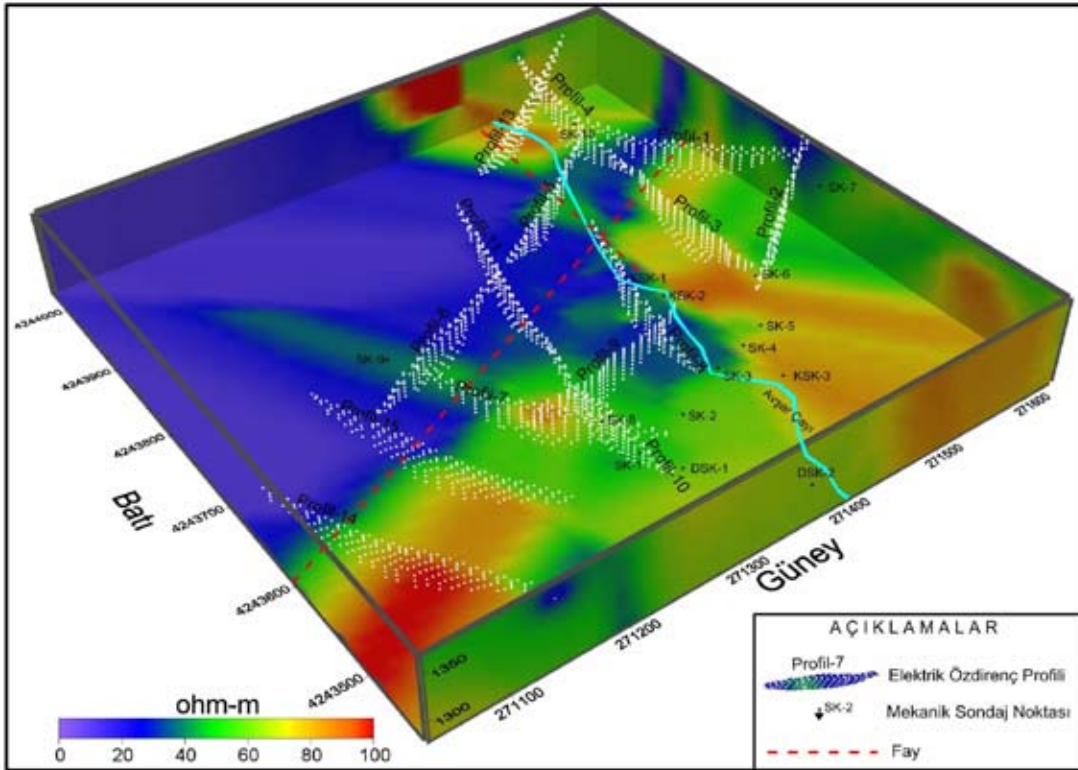
Figure 5b. Modeled resistivity sections along the Electrical Resistivity Tomography line (modified from Uyanık et al., 2009)





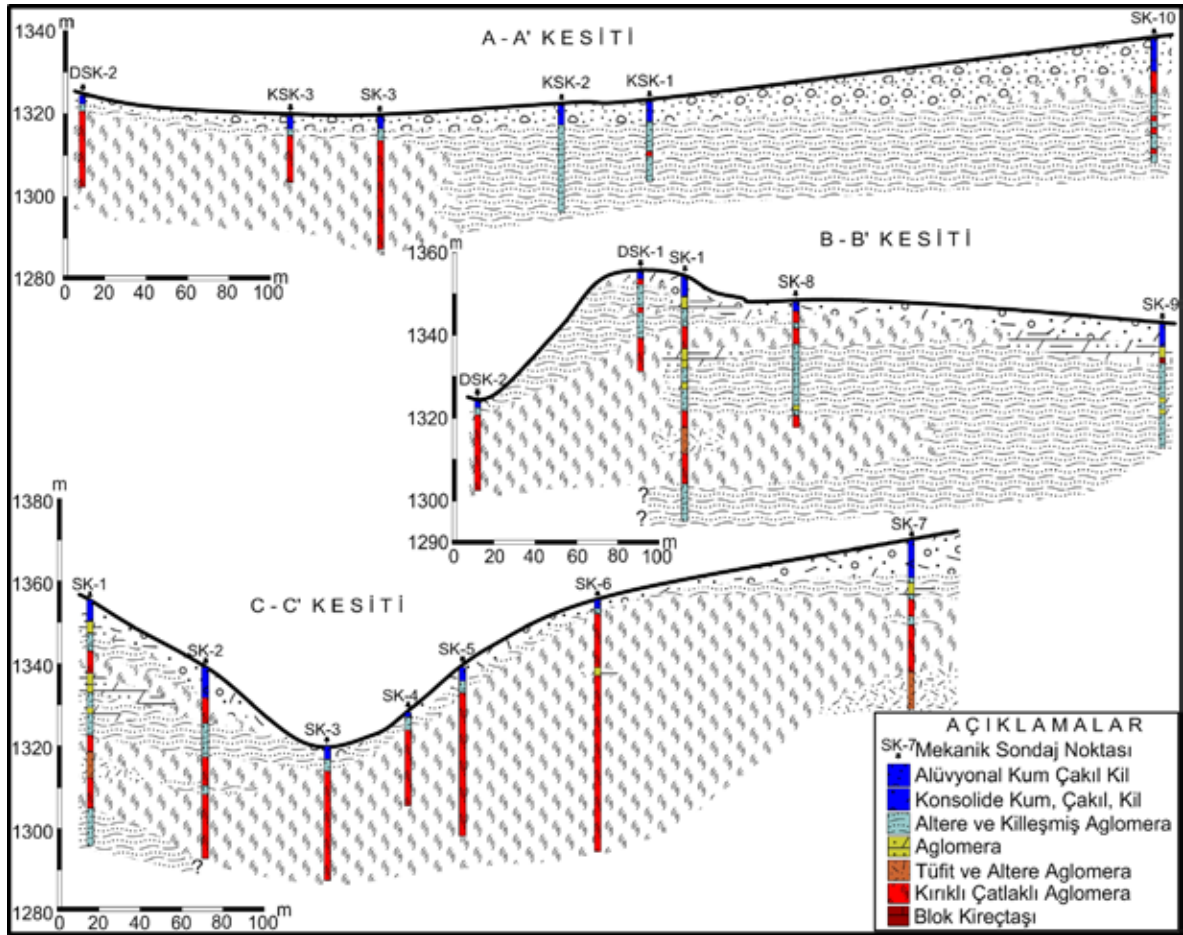
Şekil 6a. Elektrik özdirenç ters çözüm sonuçlarının 3 boyutlu görüntü haritası (Yüzeyden derine doğru)

Figure 6a 3D image map of electric resistivity inversion results (the image towards the base from surface)



Şekil 6b. Elektrik özdirenç ters çözüm sonuçlarının 3 boyutlu görüntü haritası (Taban görüntüsü)

Figure 6b 3D image map of electric resistivity inversion results (the base image)



Şekil 7. Mekanik Sondaj Loglarından Hazırlanan Kesitler.

Figure 7. Cross-sections prepared by mechanical drilling logs.

## SONUÇLAR

Çalışma alanında yapılan çok elektrotlu elektrik özdirenç çalışmalarının 2 boyutlu ters çözüm ile elde edilen modellerde alüvyon, pliyosen kil, aglomera ve türevleri ayırt edilmiş, sondaj çalışmaları ile denetlenmiştir.

Özdirenç 30 ohm-m den küçük olan değerler kil birimleri, 30-60 ohm-m arasındaki değerler killeşmiş altere aglomera birimleri, 60-80 ohm-m altere aglomera birimleri, 80-94 ohm-m altere aglomera+tüfit birimlerini ve 94'den büyük özdirençler kırıklı çatlaklı aglomera birimini temsil etmektedir. Ayrıca çalışma alanında bulunan alüvyon birimlerde kendi içerisinde; özdirenç 100 ohm-m den büyük olan değerler az killi siltli kumlu çakıl birimleri, 60-100 ohm-m arasındaki değerler killi çakıllı kum birimleri, 30-60 ohm-m arasındaki değerler az çakıllı killi siltli kum zeminleri ve 30ohm-m den küçük değerler kumlu siltli kil birimleri temsil etmektedir.

Yapılan özdirenç çalışmasında Profil 13 ve 5'de K-G, Profil 1, 3, 7, 11, 14 ve 15'de KD-GB doğrultusunda bir fay belirlenmiştir. Bu fayın güneyinde kalan aglomera

biriminde su kaçırma problemlerinin olabileceği tespit edilmiştir. Bu yüzden aglomera biriminde basınçlı su testlerinin yapılarak geçirgenlik özelliklerinin belirlenmesi gereklidir.

## KATKI BELİRTME

Yazarlar, desteklerinden dolayı DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğüne ve Haydarlı Belediye başkanına ve belediye çalışanlarına, eleştirileri ile makaleyi zenginleştiren Dr Ziya Öncü ve Dr Çağlayan Balkaya'ya ve makaleye görüşleri ile katkı koyan hakemler Dr. Emin U. Uluggerli, Dr. Derman Dondurur ve Dr Hakan Karlı'ya teşekkür ederler. Bu çalışma SDÜ Bilimsel Araştırma Projeleri 2114 YL-10 projesi ile desteklenmiş ve Elif Algül'ün Yüksek Lisans tezinin bir kısmını içermektedir.

## KAYNAKLAR

Algül, E. 2011, Haydarlı Baraj Alanının Jeoteknik Özellikleri. SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeofizik Mühendisliği Anabilim dalı, Yüksek Lisans Tezi s:113.

- Al-Zoubi, A.S. 2007, Use of Multi Electrodes Resistivity Imagining for Sinkholes Hazard Assessment along the Eastern Part of the Dead Sea, Jordan, American Journal of Environmental Sciences 3(4), 229-233.
- Barker, R.D. 1981, Offsetsystemof electrical resistivity sounding and its use with a multicore cable, Geophysical Prospecting 29 (1), 128-143.
- Başokur, A.T. 1984, Düşey elektrik sondajı, TPAO, Ankara.
- Bozcu, M., Uyanık, O., Çakmak, O. ve Türker, A.E. 2007, Eşen I HES Projesi Alanının Jeoteknik Özellikleri, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 11(1), 75-83.
- Candansayar, E. 1997, Doğru akım öz direnç yönteminde modelleme ve iki-boyutlu sığ yapıların aranmasında elektrod dizilimlerinin ayrımlılıklarının karşılaştırılması, A.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Y.lisans tezi, 154s, Ankara.
- Dahlin, T. 1996, 2D resistivity surveying for environmental and engineering applications, First Break 14(7), 275-283.
- Geotomo, 2006, Geotomo software 2006 RES2DINV version 3.55-Manual, www.goelectrical.com.
- Griffiths, D.H., Turnbull, J. and Olayinka, A.I. 1990, Two-dimensional resistivity mapping with a computer-controlled array, First Break 8(4), 121-129.
- Johansson, S. and Dahlin, T. 1996, Seepage Monitoring in an Earth Embankment Dam by Repeated Resistivity Measurements, European Journal of Engineering of Environmental Geophysics 1(3), 229-247.
- Johansson, B., Jones, S. and Flyhammar, F. 2007, Comparisons of 2D- and 3D-Inverted Resistivity Data As Well As of Resistivity- and IP-Surveys on a Landfill, Near Surface, 13th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, Istanbul, Turkey, 3-5 September 2007, p. 42.
- Kiremitçioğlu, H., 1998. Geophysical Survey Along Energy Tunnel and Pen – Stock Route of Cine Dam. Second Balkan Geophysical Congress and Exhibition, s:55
- Noel, M. and Walker, R. 1990, Development of an electrical resistivity tomography system for imaging archaeological structures, In: Pernicka, E. And Wagner, G.A. (eds), Archaeometry 90. Birkhauser, Basel, pp.767-776.
- Palacky, G.J. 1987, Resistivity characteristics of geologic targets, In: M.N. Nabighian, Editor, Electromagnetic Methods in Applied Geophysics Investigations in Geophysics vol. 3, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, OK, pp. 53-129.
- Okumuş A. 2009, Afyonkarahisar-Dinar İlçesi Haydarlı Göleti Jeoteknik Planlama Raporu, DSİ XVIII. Bölge Müdürlüğü, Isparta.
- Savvaidis, A. S., Tsokas, G. N., Soupios, P. and Vargemezis, G. 1999, Geophysical prospecting in the Krousovitis dam (N. Greece) by seismic and resistivity methods, Journal Of The Balkan Geophysical Society 2(4), 128-138.
- Sjödahl, P., Dahlin, T. and Johansson, P. 2005, Using resistivity measurements for dam safety evaluation at Enemossen tailings dam in southern Sweden, Environmental Geology 49, 267-273.
- Song, S., Song, Y. and Kwon, Y. 2005, Application of hydrogeological and geophysical methods to delineate leakage pathways in an earth fill dam, Exploration Geophysics 36, 92-96.
- Titov, K., Loukhmanov, V. and Potapov, A. 2000, Monitoring of water seepage from a reservoir using resistivity and self polarization methods, case history of the Petergoph foundation water supply system. Frist Break Technical Article, 431-435.
- Uyanık, O., Bozcu, M., Çakmak, O. and Türker, E. 2004, Preliminary Results of Geological and Geophysical Studies in Eşen I HPP Dam, The 16th International Geophysical Congress and Exhibition of Turkey, Ankara/Turkey.
- Uyanık, O. ve Türker, E. 2007, Fethiye-Eşen II HES Şalt ve Santral Sahasındaki Potansiyel Heyelanının Yerteknik Özellikleri ve Yorumu Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 11(1), 84-90.
- Uyanık, O., Bozcu, M., Çakmak, O. ve Türker, A.E. 2007, Eşen-I Hidroelektrik Santral Bent Yeri Ve Göl Alanının (Fethiye-Muğla) Jeolojik-Jeofizik ve Jeoteknik Özellikleri, Ekolojiya ve Su Teserrüfatı, Elmi-TeXniki ve istehsalat Jurnalı No:4, 17-28, Su Teserrüfatı ve Mühendis Kommunikasiya Sistemleri Fakultesi, Azırbaycan.
- Uyanık O., Çakmak O. ve Gürbüz M. 2009, Afyonkarahisar-Dinar-Haydarlı Köyü Haydarlı Baraj Yerine Ait Jeofizik Rezistivite Etüt Raporu, SDÜ Deprem ve Jeoteknik Araştırma Merkezi, Haziran 2009, Isparta.
- Van Overmeeren, R.A. and Ritsema, I.L. 1988, Continuous vertical electrical sounding, First Break 6(10), 313-324.
- Ward, S. H. 1990, Resistivity and Induced Polarization Methods, Investigations in Geophysics no. 5: Geotechnical and Environmental Geophysics, vol I, ed. S. Ward, Society of Exploration Geophysicists, Tulsa, 147-189.